



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO BASADO EN EL CICLO DE VIDA ÚTIL DE
MEZCLAS DE ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO EN LA
CAPA DE RODADURA”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

KAREN GIANELLA CONTRERAS CHÓEZ

ANGIE LISSETTE DELGADO FERNÁNDEZ

**GUAYAQUIL-ECUADOR
2017**

DEDICATORIA

A Jehová, por brindarme fuerza y bendiciones en cada nuevo amanecer. A mis padres, mis rocas ante cualquier adversidad, por llenarme de tanto amor y paciencia, son mi motor para no rendirme. A mis hermanos por todo el ánimo, cariño y preocupación. A mis amigos, por las risas, amanecidas y tantos buenos recuerdos. Y todas esas personas que me han brindado su ayuda de una u otra forma, gracias por ese granito de arena.

Karen Gianella Contreras Chóez

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres que han estado pendiente de que el camino hacia mis metas profesionales se cumpla bajo cualquier circunstancia. A mis hermanos, que siempre estaré para ellos. A mi familia, que se mantiene unida y celebra cada triunfo de quienes la conformamos. A mi novio, Héctor, por el apoyo constante junto con mi gran amiga Karen. A Jodie, por ser mi confidente a lo largo de este camino. A mis amigos, que me han brindado alegrías y a esos ayudantes académicos que valen la pena.

Angie Lissette Delgado Fernández

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Ing. Carola Gordillo, quien nos inspiró como un ejemplo a seguir de una profesional de categoría, que nos incentivó a la investigación, a conocer el mundo de las vías y que siempre nos ha motivado a prepararnos académicamente para, en un futuro, aportar con nuestros conocimientos a la mejora del país; muchas gracias por su apoyo incondicional.

Karen Gianella Contreras Chóez

Angie Lissette Delgado Fernández

TRIBUNAL DEL PROYECTO

PhD. Miguel Ángel Chávez Moncayo
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

M.Sc. Alby del Pilar Aguilar Pesantes
MIEMBRO EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

Karen Gianella Contreras Chóez

Angie Lissette Delgado Fernández

RESUMEN

A partir del estado vial a nivel nacional se propone una alternativa frente al bajo desempeño de las carreteras, más que todo la red vial provincial. La red provincial se compone, en su mayoría, de pavimento flexible; también existen vías que no se encuentran pavimentadas.

La alternativa que se recomienda está basada en la modificación del asfalto con el fin de mejorar el rendimiento de la capa de rodadura durante su periodo de diseño. Se demuestra una comparación de las propiedades físicas y reológicas. De las propiedades reológicas, se hace énfasis a la resistencia a la fatiga que es lo que está haciendo falta en las carreteras actualmente.

Frente a esta solución, se plante 3 forma de proceder en base a lo dicho anteriormente. Una de las opciones comprende en la adquisición de una planta de producción que incluya lo necesario para realizar la modificación ahí mismo. También, se sugiere la modificación en las emulsificadoras que existen en el país, ya que son las que tienen mejores posibilidades para poder realizar. Y, por último, continuar con el proceso convencional de mezcla de asfalto.

Las alternativas cuentan con el desarrollo de los costos inicial y mantenimiento.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	IV
TRIBUNAL DEL PROYECTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
CAPÍTULO 1	17
INTRODUCCIÓN.....	17
1. Introducción.	18
1.1 Preámbulo.....	18
1.2 Planteamiento del problema.....	19
1.3 Justificación.....	23
1.4 Antecedentes.	25
1.5 Datos generales del proyecto.	26
1.6 Descripción del proyecto.	28
1.7 Objetivos.	30
1.7.1Objetivo General.	30
1.7.2Objetivos Específicos.	30

CAPÍTULO 2	31
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	31
2. Descripción del área de estudio.....	32
2.1 Pavimentos.....	32
2.1.1 Características principales.	32
2.1.2 Clasificación de pavimentos.	33
2.2 Sistema vial.	38
2.2.1 Clasificación de las vías.	38
2.2.2 Estado actual de las vías en Ecuador.....	45
2.3 Mezclas asfálticas.....	48
2.3.1 Mezcla de asfalto convencional.....	50
2.3.2 Mezcla de asfalto modificado con polvo de caucho.....	61
2.3.3 Mezcla asfáltica modificada.....	65
CAPÍTULO 3	71
METODOLOGÍA.....	71
3. Descripción del área de estudio.....	72
3.1 Comparación: MAC vs. MAMPC.	72
3.1.1 Propiedades físicas.	72
3.1.2 Propiedades reológicas.	75
3.1.3 Ciclo de vida útil.	82
3.1.4 Limitaciones y beneficios adicionales.	88

CAPITULO 4	90
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	90
4. Análisis de resultados.	91
4.1 Restricciones.	91
4.2 Propuestas.	92
4.2.1 Propuesta 1:.....	92
4.2.2 Propuesta 2:.....	100
4.2.3 Propuesta 3:.....	106
4.3 Solución sustentable.....	109
4.4 Costo-beneficio.....	110
CAPÍTULO 5	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
ANEXOS	118
BIBLIOGRAFÍA.....	129

ABREVIATURAS

DTSB	Doble Tratamiento Superficial Bituminoso.
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
MAC	Mezcla de asfalto convencional
MAMC	Mezcla de asfalto modificado con caucho
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
NFU	Neumático Fuera de Uso
SBS	Styrene-butadiene-styrene
RVE	Red Vial Estatal
RVP	Red Vial Provincial
RVN	Red Vial Nacional

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Propuesta de zonificación de asfalto para cada tipo de clima.	22
Figura 2.1. Sección transversal de pavimento rígido.....	34
Figura 2.2. Colocación de superficie de adoquines.....	35
Figura 2.3. Sección transversal de un pavimento flexible.	36
Figura 2.4. Identificación de vías corredores arteriales.	42
Figura 2.5. Identificación de vía colectora	43
Figura 2.6. Estado de Red Estatal a diciembre del 2016.	46
Figura 2.7. Controles de calidad del asfalto.	49
Figura 2.8. Probetas para el ensayo de ductilidad.	52
Figura 2.9. Horno donde se realiza el ensayo de pérdida de masa.....	54
Figura 2.10. Proceso de producción de mezcla asfáltica convencional.....	58
Figura 2.11. Restitución elástica.	64
Figura 2.12. Proceso de residuos sólidos.	65
Figura 2.13. Proceso de trituración de caucho.....	66
Figura 2.14. Proceso de modificación de asfalto por vía seca.	68
Figura 2.15. Proceso de modificación de asfalto por vía húmeda.	69
Figura 3.1. Influencia del caucho y el SBS en las mezclas de asfalto.	77

Figura 3.2. Influencia del caucho y el SBS en las mezclas de asfalto.	78
Figura 3.3. Deformación acumulada vs. Restricciones de carga a MAMPC con diferentes dosificaciones.....	79
Figura 3.4. Resultados de fatiga para mezclas de asfalto convencional.	80
Figura 3.5. Resultados de fatiga para mezcla de asfalto modificado con el 5% de polvo de caucho.....	81
Figura 3.6. Resultados de fatiga para mezcla de asfalto modificado con el 7.5% de polvo de caucho.....	81
Figura 3.7. Alternativas de mantenimiento a una vía típica de pavimento flexible, a nivel de la capa de rodadura.....	83
Figura 3.8. Curva típica de ciclo de vida de un pavimento con mezcla asfáltica convencional y mezcla modificada con caucho (tiempo = 30 años).	84
Figura 3.9. I19 TUCSON 1988, antes de la rehabilitación.....	87
Figura 3.10. I19 TUCSON, 16 años luego de su rehabilitación.	87
Figura 4.1. Esquema de mezclado de asfalto.	93
Figura 4.2. Planta de producción de asfalto convencional en funcionamiento, ubicada en cantera de Durán. Colocación del material pétreo en las tolvas.	99
Figura 4.3. Planta de producción de asfalto convencional en funcionamiento, ubicada en cantera de Durán.....	99
Figura 4.5. Olla de mezclado.	105
Figura 4.4. Olla de mezclado con instrumentos que permitan lograr la temperatura.	105

Figura 4.6. Ingreso del polvo de caucho conectado a la olla105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Composición química de 4 tipos de ligante asfáltico comparados con la composición química del asfalto producido en la refinería de Esmeraldas.	21
Tabla II. Corredores arteriales del Ecuador.	42
Tabla III. Protagonismo de cada provincia en la Red vial provincial.	44
Tabla IV. Estado vial de Red Estatal.	45
Tabla V. Estado de Red Vial Estatal por carpeta de rodadura.	46
Tabla VI. Estado Red Vial Provincial por Km.	47
Tabla VII. Estado de Red Vial Provincial por carpeta de rodadura Red Vial Cantonal.	47
Tabla VIII. Estado Red Vial Cantonal por Km.	48
Tabla IX. Clasificación de cemento asfáltico por viscosidad.	51
Tabla X. Requerimientos para asfalto cemento gradual, viscosidad a 60°C.	52
Tabla XI. Requerimientos para agregados gruesos.	56
Tabla XII. Requerimientos para agregados finos.	56
Tabla XIII. Granulometrías para mezclas asfálticas.	56
Tabla XIV. Requerimientos para la mezcla de asfalto.	60
Tabla XV. Gradaciones típicas utilizadas en California.	60
Tabla XVI. Especificación de asfaltos modificados con polvo de caucho.	62

Tabla XVII. Intervalo de valores característicos recomendados para modificar el ligante con polvo de caucho.....	70
Tabla XVIII. Propiedades mínimas de mezclas de asfalto modificado con polvo de caucho.....	70
Tabla XIX. Propiedades físicas de la mezcla de asfalto convencional. M. Marshall.....	73
Tabla XX. Propiedades físicas de la mezcla de asfalto modificado con caucho. M. Marshall para la oreja de Samborondón-Guayaquil	74
Tabla XXI. Propiedades físicas de la mezcla de asfalto modificado con caucho. M. Marshall (para la prueba piloto Pifo-Papallacta).....	75
Tabla XXII. Módulo de rigidez a 20°C del asfalto sin modificar vs. asfalto modificado a diferentes dosificaciones de caucho. (para la prueba piloto Pifo-Papallacta).....	76
Tabla XXIII. Rúbrica de parámetros a considerar en alternativa 1	100
Tabla XXIV. Rúbrica de parámetros a considerar en alternativa 2.	106
Tabla XXV. Rúbrica de parámetros a considerar en alternativa 3.....	109
Tabla XXVI. Ejemplo de una tabla típica de resultados de costo de ciclo de vida usando caucho-asfalto.....	110

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción.

1.1 Preámbulo.

En los últimos años, el sector de la construcción ha desarrollado *nuevas tecnologías* para mejorar las condiciones de las calzadas, tanto para realizar mantenimiento como para su aplicación en nuevos diseños.

La calidad de la capa de rodadura, que a la vez determinan su vida útil, es la principal meta de las autoridades competentes, para financiar los costos de construcción y el mantenimiento de una vía se debe tener en cuenta las mejoras opciones de tipos de materiales, su producción transporte y dosificación, para lo que se debe observar una alta eficiencia.

En la actualidad, gran parte de la red vial está compuesta de pavimento flexible; lo que conduce a uno de los mayores problemas que afronta el país respecto a la infraestructura vial: *la poca durabilidad de la capa de rodadura*. Este escenario podría llegar a ser desalentador para la ciudadanía, pero, a su vez, se convierte en una oportunidad con alto potencial para introducir nuevas tecnologías que permitan mejorar el desempeño de la capa de rodadura actual. Por esta razón, con el fin de mostrar una propuesta viable y aplicable en el país, se ha desarrollado investigaciones sobre un tipo de mezcla en el cual el asfalto forma parte

de una modificación previa a través de la inclusión de polvo de caucho. Por medio de esta modificación se busca mejorar las propiedades reológicas que inciden en el desempeño de la capa de rodadura.

El enfoque bajo el cual se desenvuelve este trabajo es la comparación de las Mezclas de Asfalto Convencional (MAC) vs. las Mezclas de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho (MAMPC). Como parte de esta comparación, se incluirá: propiedades reológicas de las MAC vs. las MAMPC, el ciclo de vida útil relacionado con la falla más común de la calzada del pavimento flexible (fatiga) y el costo-beneficio. A partir de este análisis, se planteará medidas para lograr la mejora de la calidad de la mezcla a través de la modificación del asfalto.

Las opciones propuestas, se aplican en la provincia del Guayas y como beneficiario directo la red vial provincial y urbana.

1.2 Planteamiento del problema.

Ecuador ha sido testigo de la alta inversión económica en la infraestructura vial durante estos últimos años. A pesar de inaugurar carreteras con elegantes calzadas, se ha notado un declive prematuro de las mismas, debido a que no cumplen con el periodo de diseño establecido. Las situaciones ocurridas por el deterioro prematuro de las calzadas no solo afectan a los usuarios sino también a los costos de

operación, ya que frecuentemente se tienen mantenimientos y rehabilitaciones con altos costos.

El primer paso a seguir es identificar los factores que inciden en el mal desempeño de la calzada y de pavimento. Por un lado, el asfalto producido en refinería presenta en su composición química características que apresuran el fenómeno del envejecimiento; más aún, que existe la limitante de un ligante estandarizado para cualquier clima (Disposición sobre calidad de mezclas asfálticas permitiéndose la incorporación de aditivos, 2013). Y, por otro lado, la necesidad de aumentar el rigor de los controles de las mezclas asfálticas desde la etapa de preparación hasta el transporte y colocación de la misma, por parte de la entidad encargada de la obra vial.

En vista de las condiciones de la red vial, Petroecuador realizó evaluaciones al asfalto de la refinería en Esmeraldas, de las cuales se llegó a distintas conclusiones. En primer lugar, la necesidad de agregar aditivos en la fabricación del asfalto por el alto porcentaje de asfaltenos y saturados (ver tabla I), que son los componentes responsables del envejecimiento prematuro. De igual manera se recomienda aumentar la gama de asfaltos según los requerimientos climáticos del caso.

Tabla I. Composición química de 4 tipos de ligante asfáltico comparados con la composición química del asfalto producido en la refinería de Esmeraldas.

RANGOS	5-20%	40-65%	5-30%	5-25%	<0.60
	Saturados (%)	Aromáticos (%)	Resinas (%)	Asfaltenos (%)	IC
Betún A	7.50	42.10	34.60	15.80	0.30
Bet A + RTFOT	10.15	34.31	35.11	20.42	0.44
Bet A + PAV	5.70	26.30	42.90	23.20	0.41
Betún B					
Betún B	5.40	47.10	28.30	19.30	0.33
Bet A + RTFOT	5.10	44.00	28.70	22.30	0.38
Bet A + PAV	5.80	42.60	34.10	17.50	0.30
Betún C					
Betún C	5.40	48.30	29.00	17.30	0.29
Bet A + RTFOT	5.20	45.50	29.70	19.60	0.33
Bet A + PAV	5.40	45.40	30.50	18.80	0.32
Betún D					
Betún D	6.90	52.80	22.80	17.50	0.32
Bet A + RTFOT	7.30	49.30	23.60	19.80	0.37
Bet A + PAV	6.00	46.20	29.40	18.40	0.32
ESMERALDAS					
E+RTFOT	16.70	9.60	50.20	23.50	0.67
E+PAV	14.30	2.10	56.00	27.60	0.72
E+PAV	7.80	1.70	60.00	30.50	0.62

Fuente: Tecnológico de Monterrey, 2014.

En vista de las condiciones de la red vial, Petroecuador realizó evaluaciones al asfalto de la refinería en Esmeraldas, de las cuales se llegó a distintas conclusiones. En primer lugar, la necesidad de agregar aditivos en la fabricación del asfalto por el alto porcentaje de asfaltenos y saturados (ver tabla I), que son los componentes responsables del envejecimiento prematuro. De igual manera se recomienda aumentar la gama de asfaltos según los requerimientos climáticos del caso.

Sin embargo, se conoce que la refinería trabaja a su máxima capacidad y que la modificación requerida para la mejora del cemento asfáltico deberá esperar aún un tiempo. Dicho lo anterior, la modificación no está exenta a ser sólo en la refinería, ya que existen emulsificadoras en el país que cuentan con mayores herramientas para completar la modificación.

En consecuencia, este tipo de modificación del ligante asfáltico con caucho de llantas en desuso, se convierte en una alternativa interesante para mejorar las características de la mezcla asfáltica.

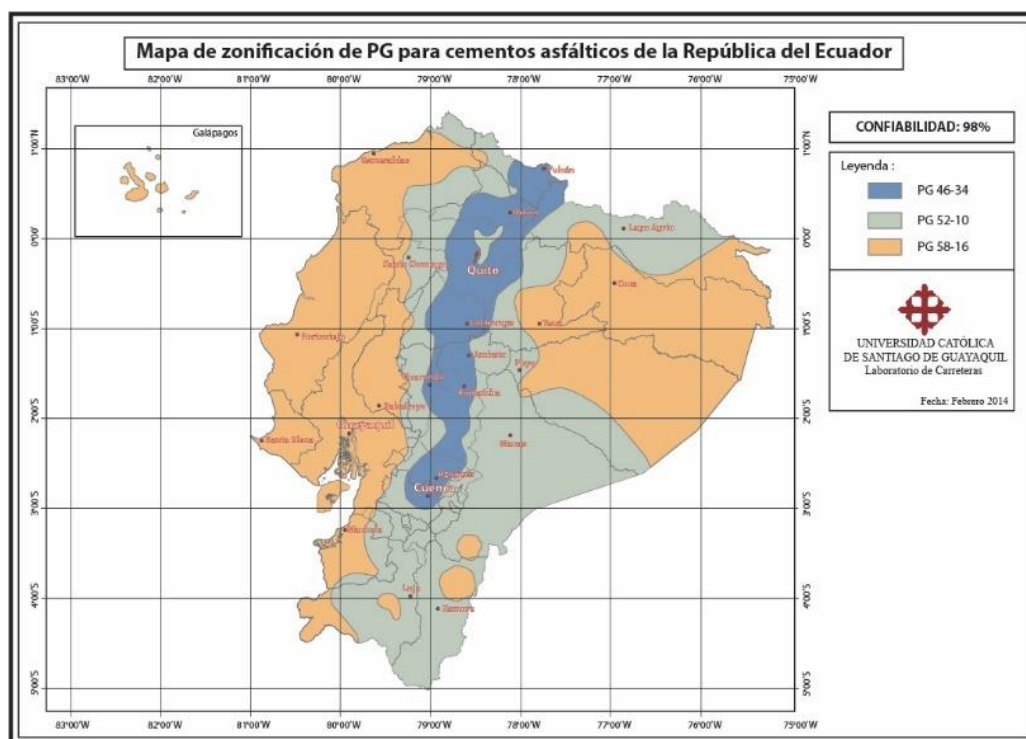


Figura 1.1. Propuesta de zonificación de asfalto para cada tipo de clima.

Fuente: UCSG, 2015.

Sin embargo, se conoce que la refinería trabaja a su máxima capacidad y que la modificación requerida para la mejora del cemento asfáltico deberá esperar aún un tiempo. A su vez, la modificación no está exenta a ser sólo en la refinería, ya que existen emulsificadoras que cuentan con mayores herramientas para completar la modificación.

1.3 Justificación.

El sector de la construcción representa una de las actividades que más inciden en el desarrollo económico del país. Se encuentra en cuarto lugar luego de las industrias de manufactura con un 11.5% del PIB en el Ecuador. Es importante señalar que los proyectos de construcción que más inversión requiere es la infraestructura vial. Según datos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) a octubre del 2016, se ha invertido alrededor de \$ 26.362.133 en las obras viales a nivel nacional.

Si bien es cierto, las redes de comunicación del país han aumentado considerablemente en los últimos años, no se puede inferir que todas hayan tenido el resultado que se esperaba, en particular en las capas de rodadura.

La red vial estatal está conformada, alrededor del 70% de pavimento asfáltico. Un gran porcentaje de la red estatal (60%), acorde al Macro Programa “Construyendo Caminos” del Banco del Estado, se encuentra en buen estado, 40% restante se encuentra en condiciones regulares.

En la red vial provincial, el 35% se encuentra en mal estado y el 28% en estado regular, el 58.25% no cuenta con una capa de rodadura.

Teniendo en cuenta que las vías han sufrido daños en el pavimento, que incluye la capa de rodadura, el presente trabajo se dirige a proponer soluciones para este último elemento, a indagar en los factores que guían a tener un buen desempeño de la vía; no solo el diseño, pero la calidad de los materiales. Esto incentiva a probar con nuevas tendencias que mejoran el desempeño de las mezclas asfálticas, en este caso se promueve la modificación del asfalto con caucho de llantas en desuso.

Por ese motivo, en esta investigación se busca generar interés, presentando resultados que señalan la existencia de una nueva alternativa.

Con el fin de lograr un cambio en la perspectiva de constructores y diseñadores, se demostrará los mayores beneficios a largo plazo que pueden resultar de la aplicación de nuevas tendencias en el campo de las mezclas asfálticas, que ha sido aplicada en otros países.

Es importante señalar que en la actualidad no existe una buena aceptación para adoptar la solución que se propone. La principal causa en el costo inicial que requiere la aplicación de esta nueva tecnología.

1.4 Antecedentes.

La innovación en mezclas asfálticas ha venido desarrollándose en diferentes partes del mundo. Así en estados de Norteamérica como Arizona, California y Florida ya cuentan con capas de rodadura similares a las que se proponen (Greene , Chun, Nash, & Choubane, 2014), (Hicks, Lundy, Leahy, Hanson, & Epps, 1995). Un estudio realizado por FDOT (Florida Department of Transportation) indica que, evaluado en tramos de vías, ha resultado con un buen desempeño de las calzadas.

A inicios del año 1960, Charles McDonald realizó experimentos mezclando materiales elastómeros con el asfalto. Luego encontró que existía uno a bajo costo que provenía del caucho de llantas recicladas. A partir de aquí, en base a varios ensayos fue probando las combinaciones y resultados. Durante uno de los ensayos, descubrió que, si mezclaba el caucho y el asfalto a baja temperatura, la viscosidad aumentaba. (Way, 2012)

Desde el descubrimiento de McDonald, las mezclas modificadas con caucho han sido material de estudio. Su comportamiento, así como

propiedades y comparaciones, señala la existencia de una alternativa a considerar en las capas de rodadura.

1.5 Datos generales del proyecto.

El proyecto se desarrolla en la red vial de la provincia del Guayas. La red del Guayas representa el 8.87% de la red nacional que simboliza 5.847,53 km. (Banco del Estado, 2013).

Se propone que la modificación de asfalto se realice en las plantas emulsificadoras que se tienen en la provincia del Guayas, luego de la cual la mezcla debe ser transportada a las plantas de asfalto, para adicionar los agregados.

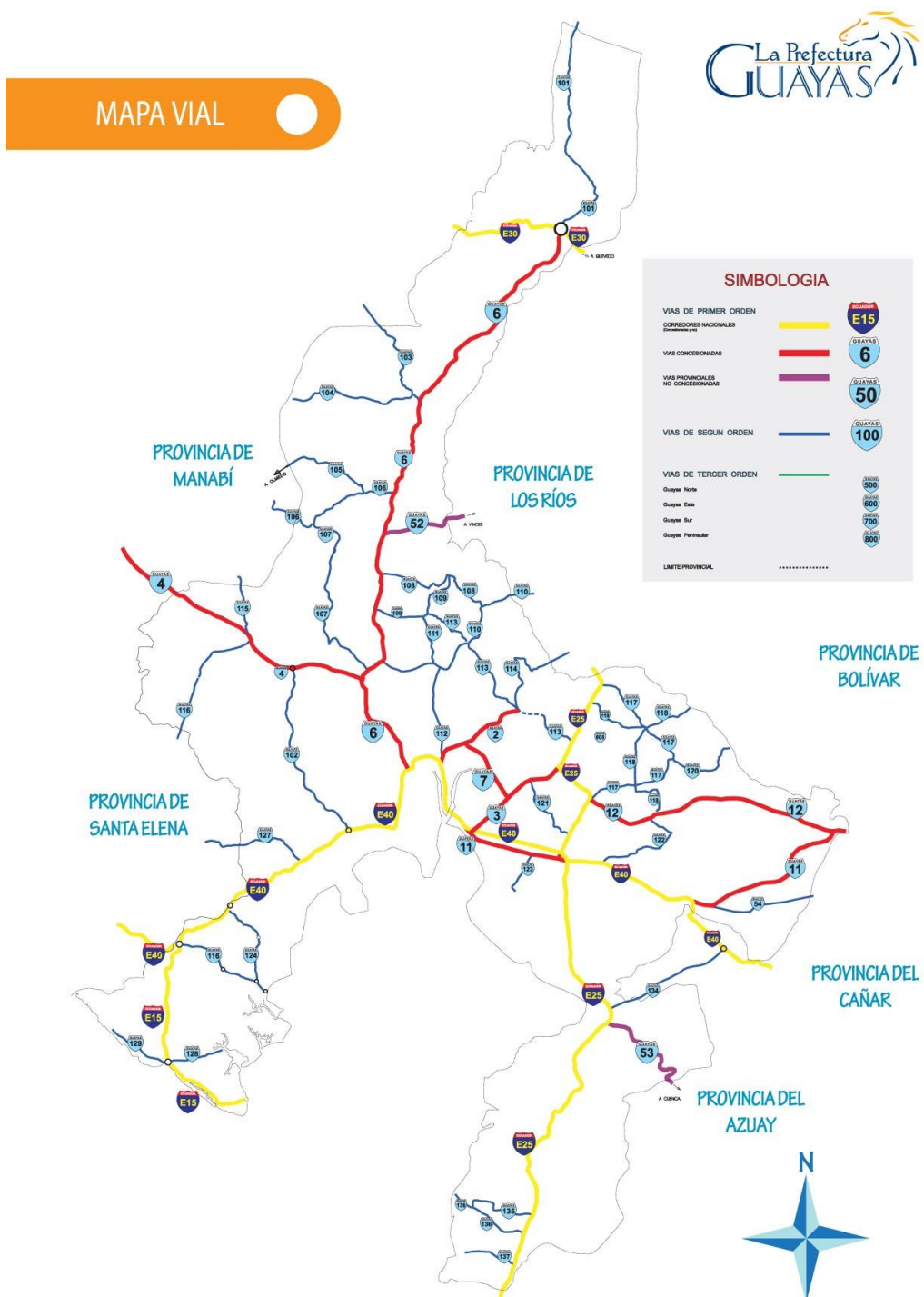


Figura 1.2. Mapa vial de la provincia del Guayas.
Fuente: Prefectura del Guayas, 2011.

1.6 Descripción del proyecto.

El proyecto se enfoca en demostrar los beneficios que la mezcla asfáltica modificada con caucho brinda al desempeño de la capa de rodadura. El campo de acción se centra, en primera instancia, en la provincia del Guayas a nivel de la red provincial. La forma en que se demostrará las bondades de la modificación estará basada en 3 aspectos importantes:

- Propiedades reológicas de los dos asfaltos.
- Ciclo de vida útil de cada mezcla.
- Costo-beneficio de la utilización de mezclas asfálticas modificadas con caucho como alternativa de capa de rodadura.

Respecto a las propiedades reológicas, se podrá mostrar resultados relacionado a la fatiga y ahuellamiento; cabe recalcar, que se le da mayor realce a la fatiga por ser el problema latente de la calzada en las vías del país. A su vez, el contraste del ciclo de vida útil del cada tipo de mezcla guiará a los costos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la capa de rodadura para cada tipo de mezcla.

Es importante indicar que el ciclo de vida útil va de la mano al costo beneficio, ya que de alguna forma con ello se puede estimar los periodos en los cuales la vía necesita de mantenimiento. Por otro lado, el modelo de deterioro permite conocer el comportamiento en base a distintos

factores; este modelo se ha desarrollado para distintos aspectos característicos de la capa de rodadura.

A pesar de ello, en este trabajo no se profundizará en los modelos que establece la NEVI-12, más bien se centrará en las curvas típicas del ciclo de vida útil de cada mezcla en un periodo determinado.

Dicho esto, se plantean 3 alternativas a la problemática:

1. Mantener la producción de asfalto convencional como se lo ha venido haciendo (sin modificación).
2. Realizar la modificación del asfalto independiente del proceso de producción de asfalto, es decir, existirá un costo adicional de transportación de la planta de modificación hacia la planta de producción (cantera).
3. Importar los equipos necesarios para la implementación en una planta de producción de asfalto convencional existente, con el fin de convertirla en una donde se pueda modificar el asfalto antes de mezclar con los agregados.

Finalmente, por cada alternativa se especificará los impactos en lo social, ambiental, económico y las restricciones que se presentan al momento de su planteamiento. Se asignará un valor a cada aspecto, de tal forma

que indique la importancia de cada uno, lo que permitirá decidir la alternativa más viable a la problemática.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo General.

- Proponer el asfalto modificado con caucho como una alternativa potencial de aditivación del ligante asfáltico para la mejora en el desempeño de la capa de rodadura.

1.7.2 Objetivos Específicos.

- Comparación de la mezcla de asfalto convencional vs. la mezcla de asfalto modificado con caucho, en términos del desempeño.
- Determinar el costo beneficio en base a modelos de comportamientos de mezcla de asfalto modificado con caucho.
- Establecer 3 alternativas como solución a la problemática

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2. Descripción del área de estudio.

2.1 Pavimentos.

Un pavimento se constituye por un conjunto de capas superpuestas de forma horizontal, diseñadas y siguiendo un modelo de construcción que considera materiales apropiados y correctamente compactados. Para una buena interacción de los estratos se apoya sobre la subrasante, formado por el resultado del movimiento de tierra en la fase preliminar; y así lograr resistir adecuadamente los refuerzos causados por las cargas repetidas del tránsito transmitidas en el periodo de diseño. (Fonseca, 2002)

2.1.1 Características principales.

- Ser resistente a la fatiga.
- Ser resistente a agentes externos del medio que se coloque la estructura.
- Presentar una textura superficial conforme a la velocidad de circulación, ya que está se relaciona con la proporción de seguridad vial que ofrece la vía. A su vez, debe soportar el desgaste producido por efecto abrasivo de las ruedas del vehículo.

- Debe mostrar una continuidad superficial, sea longitudinal como transversal, que brinde comodidad al conductor dependiendo de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de la circulación.
- Mantener las características iniciales durante el periodo de diseño establecido.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura no debe afectar sobremanera ni al conductor del vehículo al usuario como a los peatones que están en el entorno.
- Valor exequible.
- Usar colores moderados para evitar reflejos y destellos, asegurando así la seguridad al tránsito.

2.1.2 Clasificación de pavimentos.

Los pavimentos se clasifican en los siguientes tipos: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados.

2.1.2.1 Pavimentos rígidos.

Constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado. Esto se debe a ya que sólo se coloca una capa entre el hormigón y terreno natural, llamándose subbase de pavimento rígido. (Huang, 2004). Se diseña de esta forma por la rigidez del concreto y alto módulo de elasticidad del hormigón. Al paso de los vehículos origina una zona mayor de distribución de esfuerzos transmitiendo tensiones muy bajas a la subrasante. (Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón, 2010)

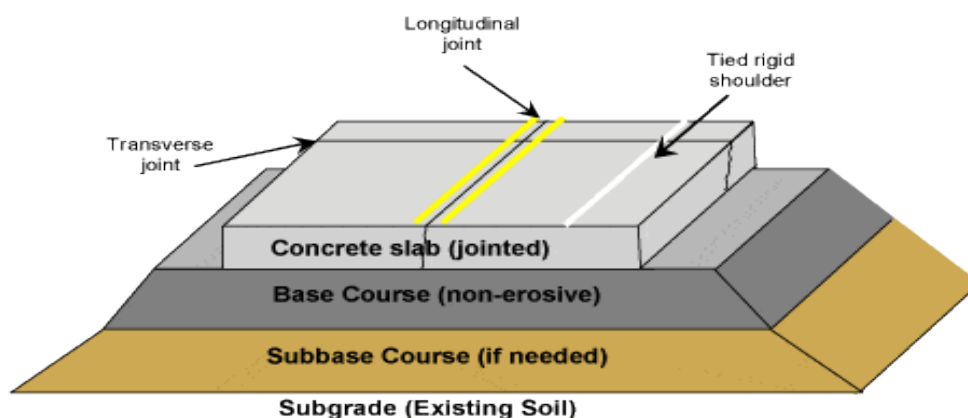


Figura 2.1. Sección transversal de pavimento rígido.

Fuente: The Constructor: Civil Engieniering Home, 2012.

2.1.2.2 Pavimentos semi-rígidos

Este tipo de pavimento se compone de los mismos estratos que el pavimento flexible, la diferencia parte que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo: asfalto, emulsión, cemento, cal o químico. (Fonseca, 2002)

2.1.2.3 Pavimentos articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques regulares de piedra o de hormigón hidráulico, colocados sobre una subrasante adecuadamente terminada. (Ministerio de Obras Pública y Comunicaciones, 2002). Un buen comportamiento depende de la calidad de esta y el correcto espesor para soportar la magnitud y frecuencia de carga.



Figura 2.2. Colocación de superficie de adoquines

Fuente: Gobierno Autónomo Departamental Santa Cruz, 2016.

2.1.2.4 Pavimento flexible

Conformado por una carpeta bituminosa soportada por dos capas flexibles, la base y subbase. (Huang, 2004). Al ser un sistema multicapa, siendo las primeras de mejor calidad cerca de la superficie al producirse mayor tensión. El pavimento trabaja de forma correcta si al distribuir la

carga llega a un nivel aceptable para la subrasante. Después de la carpeta de concreto se coloca una base conformada por grava bien graduada o materiales estabilizados (tal como cemento, cal o asfalto). Por último, debajo de la base una capa de material de menor calidad. (Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón, 2010)

2.1.2.4.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible.

El paquete estructura del pavimento flexible se forma de por la subbase, base y carpeta asfáltica, cada una de ellas tienen un papel relevante conforme a la resistencia, drenaje y demás características para asegurar un correcto comportamiento.

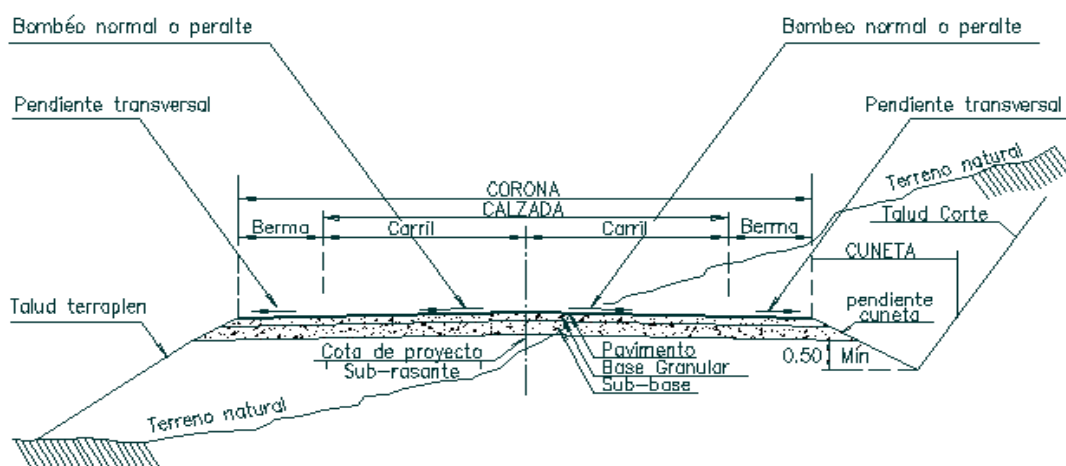


Figura 2.3. Sección transversal de un pavimento flexible.

Fuente: Pacheco, J., 2016.

- La subbase granular es una de las más importantes así que se enlista a continuación sus funciones: Su bajo o alto costo dependerá

de la calidad de materiales a usarse en construcción, y del espesor de la capa. Actuar como capa de transición ya que un buen diseño impide la penetración de los materiales entre cada una de las capas, de la misma forma actúa como filtro de la base obstaculizando que los finos de la subrasante le resten calidad.

- Cambios volumétricos de la capa subrasante, relacionados con el contenido de agua (expansiones), o variaciones abruptas de temperatura, pueden embeberse con la capa subbase, dificultando que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores para luego transmitir a un nivel adecuado a la subrasante.
- A través de la carpeta o por las bermas puede ingresar agua así que la subbase debe drenar, restringir la ascensión capilar.

La base granular es un elemento resistente que transmite a la subbase y a la subrasante los esfuerzos por el tránsito en una intensidad apropiada. Su espesor y calidad de materiales empleados repercutirá en costos.

La carpeta asfáltica al ser la superficie que los vehículos circulan, esta debe garantizar ser una superficie uniforme y duradera al tránsito, de textura y color conveniente y tolerar los efectos abrasivos del tránsito. De

igual manera, prohibir el paso del agua al interior del pavimento. Finalmente, complementa todo el paquete estructura por su alta resistencia a la tensión.

2.2 Sistema vial.

Una vez comprendido los conceptos básicos en vías, se hará más fácil entender que conforma un sistema vial. Es el conjunto de estructuras construidas para la movilidad terrestre de los vehículos de diferentes tipos para el traslado de personas y carga; cumpliendo los requisitos establecidos para su circulación.

2.2.1 Clasificación de las vías.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), por medio del macro proyecto “Construyendo Caminos” (Banco del Estado, 2013) y el proyecto de Ley del Sistema Nacional de Infraestructura Vial del Transporte Terrestre (Asamblea Nacional del Ecuador, 2016) han establecido la siguiente clasificación:

- Funcionalidad.
- Diseño: autopista, carretera y caminos vecinales.
- Jurisdicción.

- Dominio.
- Uso

2.2.1.1 Por su diseño.

Autopista: Vías con características de diseño geométrico y de accesos especiales propensos a proveer velocidades constantes y seguridad a los usuarios en estas condiciones.

Carreteras: Son aquellas vías que sirven como nexo de comunicación de las autopistas y caminos vecinales.

Caminos vecinales: Son aquellas vías que sirven como nexo de comunicación áreas rurales internas (caseríos, recintos)

2.2.1.2 Por su funcionalidad.

Vías Locales: Son los caminos diseñados exclusivamente para conectar los distintos centros poblados o de actividad económica con las vías colectoras.

Vías de servidumbre: Aquellos caminos para otorgar acceso a terrenos privados y dentro de ellos, que tienen una afectación sobre terrenos cercanos.

2.2.1.3 Por su dominio.

Caminos públicos: Son todas las vías de tránsito terrestre, de dominio y uso público, construidos para el uso y goce común.

Caminos privados: Se construyen en terrenos cuyos dueños otorgan su consentimiento, pero su uso y goce es para todos los ciudadanos, respetando la norma técnica expedida por el MTOP. De mantenerse este estado por más de 15 años, el dominio pasa cambia a público.

2.2.1.4 Por su uso.

Carreteras: Vías utilizadas por automotores.

Ferrovía: Se denomina a la infraestructura de transporte guiada por rieles.

Ciclovías: Son carriles o sendas destinados a la circulación única y exclusiva de bicicletas.

Senderos: Los destinados a la movilidad de vehículos impulsados por fuerza humana o animal.

Aceras o veredas: Son las vías usadas exclusivamente para la circulación peatonal.

2.2.1.5 Por su jurisdicción y competencia.

Red vial nacional (RVN): Se denomina al conjunto total de las carreteras y caminos existentes en el territorio ecuatoriano. Se conforma por la red vial estatal, red vial regional, red vial provincial y red vial cantonal urbana.

Red vial estatal (RVE): Conjunto de vías constituidas por las troncales nacionales, que a su vez están integradas por todas las vías declaradas por MTOP como corredores arteriales y como vías colectoras. De acuerdo con fuentes oficiales del MTOP (Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Com, 2013), la Red Vial Ecuatoriana se forma por 5.832,12 km de corredores arteriales y 3.496,51 km de vías colectoras sumando un total de 9.328,63 Km.

Corredores arteriales: Son caminos de alta jerarquía funcional, constituidos por aquellos que conectan en el continente a: Las capitales de provincia, los principales puertos marítimos con los de Oriente, pasos de frontera que sirven para viajes de larga distancia y que tienen una alta densidad vehicular (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012). Se identifica con un fondo azul en su logo y sólo se conforma de uno a dos dígitos.



Figura 2.4.
Identificación de
vías corredoras
arteriales.

Fuente: Ministerio de
Turismo del Ecuador, 2013.

En todo el país, existen un total de 12 corredores arteriales enlistados en la tabla II:

Tabla II. Corredores arteriales del Ecuador.

NÚM.	NOMBRE	SÍMBOLO GRÁFICO	RUTA	LONG.
E5	Troncal Insular	Galápagos	Baltra – Bellavista – Puerto Ayora	38 km
E10	Transversal Fronteriza	Jaguar	San Lorenzo – San Gabriel – Nueva Loja – Pto. El Carmen de Putumayo	453 km
E15	Troncal del Pacífico	Delfín	Mataje – Esmeraldas – Bahía de Caráquez – Manta - Salinas	741 km
E20	Transversal Norte	Mono	Esmeraldas – Sto. Domingo – Sangolquí – Baeza – Pto. Francisco de Orellana	336 km
E25	Troncal de la Costa	Mariposa	Los Bancos – Sto. Domingo – Quevedo – Milagro – Machala - Zapotillo	664 km
E25A	Troncal de la Costa Alternativa	-	Santo Domingo	10 km
E30	Transversal Central	Guacamayo	Manta – Portoviejo – Quevedo – Latacunga – Ambato – Puyo	438 km
E35	Troncal de la Sierra	Cóndor	Rumichaca – Quito – Ambato – Riobamba – Cuenca – Loja - Macará	781 km
E45	Troncal Amazónica	Tucán	Gral. Farfán – Nueva Loja – Tena – Puyo – Macas - Zamora	701 km
E45A	Troncal amazónica alternativa		Nueva Loja – Los Sachas – Pto. Francisco de Orellana – Loreto - Cotundo	85 km
E50	Transversal Sur	Oso Hormiguero	Huaquillas – Arenillas – Catamayo-Loja – Zamora	224 km

Fuente: Ministerio de Turismo del Ecuador, 2013.

Vías colectoras: Se denominan caminos de mediana jerarquía, conformador por aquellos cuya función es de recolectar el tráfico de la zona rural o de una región, que llegan por medio de los caminos locales para conectarlas con las vías arteriales. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012). Se distinguen por tener un color verde de fondo y nombrarse con tres dígitos. En el país, existen un total de 42 vías colectoras.



Figura 2.5. Identificación de vía colectora.

Fuente: Ministerio de Turismo del Ecuador, 2013.

Red vial provincial: Vías que, dentro de la circunscripción territorial de la provincia, cumplen con alguna de las siguientes características:

- Comunicar las cabeceras cantonales entre sí.
- Comunican las cabeceras parroquiales entre sí.
- Comunican las cabeceras parroquiales rurales con los diferentes asentamientos humanos, sean estos, comunidades o recintos vecinales.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizado son los asignados para ejercer la competencia de vialidad. (Ministro Obras Públicas y Comunicaciones, 2001)

Tabla III. Protagonismo de cada provincia en la Red vial provincial.

NO.	PROVINCIA	LONGITUD (KM)	%
1	Azuay	3.581,70	5,43
2	Bolívar	3.610,00	5,48
3	Cañar	1.545,74	2,34
4	Carchi	2.346,31	3,56
5	Chimborazo	1.609,00	2,44
6	Cotopaxi	1.703,03	2,58
7	El Oro	4.342,08	6,59
8	Esmeraldas	1.136,40	1,72
9	Guayas	5.847,53	8,87
10	Imbabura	1.483,82	2,25
11	Loja	5.615,56	8,52
12	Los Ríos	4.957,14	7,52
13	Manabí	5.946,53	9,02
14	Morona Santiago	2.523,62	3,84
15	Napo	1.706,45	2,59
16	Orellana	2.673,54	4,06
17	Pastaza	869,99	1,32
18	Pichincha	3.660,00	5,55
19	Santa Elena	690,07	1,05
20	Santo Domingo	2.717,98	4,12
21	Sucumbíos	3.398,86	5,16
22	Tungurahua	2.250,71	3,41
23	Zamora Chinchipe	1.707,69	2,59
TOTAL		65.930,75	100

Fuente: Banco del Estado, 2013.

Red vial cantonal urbana: Según Acuerdo Ministerio N. 001 del 2001 (Ministro Obras Públicas y Comunicaciones, 2001), se la define como el conglomerado de vías urbanas e interparroquiales administradas por los consejos municipales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizado son

los asignados para ejercer la competencia de vialidad. (Ministro Obras Públicas y Comunicaciones, 2001)

2.2.2 Estado actual de las vías en Ecuador.

Como se explicó anteriormente, hay diferentes tipos de pavimentos. Por medio de esa clasificación, se puede conocer cual predomina en cada una de las vías según su jurisdicción. (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016).

2.2.2.1 Red Vial Estatal.

En el Reporte del Estado de la Red Vial Estatal Nacional (Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Reporte del Estado de la Red Vial Estatal (RVE), 2016) comunica a los ciudadanos que el 96% de las vías están en estado bueno, quedando un 4% en estado de precaución. Estos porcentajes son el resultado de controles basados en patrullajes diarios, evaluaciones periódicas y consultas a los usuarios.

Tabla IV. Estado vial de Red Estatal.

ESTADO DE LAS VÍAS	LONGITUD (KM)	%
Bueno	5.560,72	60
Regular	3.171,69	34
Malo	596,22	6
Total	9.328,63	100

Fuente: Banco del Estado, 2013.

En gráfico a continuación, las vías de color verde y amarillos corresponden respectivamente al estado vial bueno y de precaución.

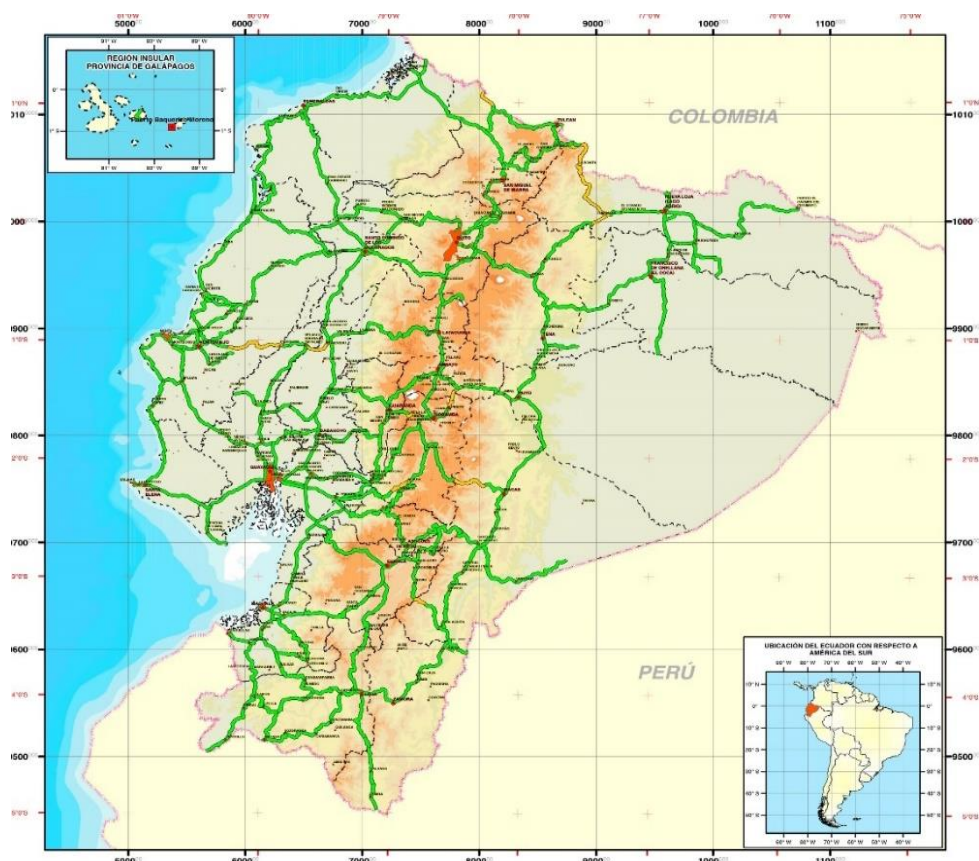


Figura 2.6. Estado de Red Estatal a diciembre del 2016.

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2016.

Tabla V. Estado de Red Vial Estatal por carpeta de rodadura.

TIPO DE CAPA DE RODADURA	LONGITUD (KM)	%
Pavimento asfáltico	6.640,75	71
DTSB	636,59	7
Grava (Lastrado)	535,88	6
Pavimento rígido	1.515,41	16
TOTAL	9.328,63	100

Fuente: Banco del Estado, 2013.

2.2.2.2 Red Vial Provincial.

Su extensión es de 65.930,75 km, pero el panorama difiere a los anteriores, 42.000,47 km (64%) están en un estado regular y malo; es decir que sólo 23.928,28 km son calificados con buen estado. Deja de ser considera de la red vial provincial si incluye zonas urbanas o formar parte del inventario de la red vial estatal.

Tabla VI. Estado Red Vial Provincial por Km.

ESTADOS DE LAS VÍAS	LONGITUD (KM)	%
Bueno	23.928,28	36
Malo	23.220,11	35
Regular	18.782,36	28
TOTAL	65.930,36	100

Fuente: Banco del Estado, 2013.

Tabla VII. Estado de Red Vial Provincial por carpeta de rodadura Red Vial Cantonal.

TIPO DE CAPA DE RODADURA	LONGITUD (KM)	%
Pavimento rígido	291,75	0,40
Pavimento asfáltico	8.350,88	12,67
DTSB	3.130,61	4,75
Grava (Lastrado)	38.402,10	58,25
Sub base	15.776,76	23,93
Adoquinado	8,65	0,01
TOTAL	65.930,75	100

Fuente: Banco del Estado, 2013.

2.2.2.3 Red Vial Cantonal.

La red cantonal la conforman las vías de 221 municipios tiene una longitud de 15.881,90 km, no obstante, los datos proporcionado a continuación sólo hace referencia a 212 cantones; es decir se trabajó con un total de 13.5714,76 km.

Tabla VIII. Estado Red Vial Cantonal por Km.

ESTADO DE LAS VÍAS	LONGITUD (KM)	%
Bueno	11.322,60	83,43
Malo	821,35	6,05
Regular	1.427,80	10,52
*Total	13.571,76	100

Fuente: Banco del Estado, 2013.

Los datos presentados resaltan que el tipo de pavimento más usado en Ecuador es el flexible, por las características mencionadas e inclusive si se agrega algún polímero, tiene mejores resultados el conglomerado. Para tener un buen pavimento flexible también se explicó que la calidad de las capas se rige de la superior a la inferior, así que a continuación se detallará que características y que proceso debe seguir una mezcla asfáltica para lograr a su vez, una buena capa de rodadura.

2.3 Mezclas asfálticas.

El uso de mezclas asfálticas data desde de principio de siglos como material de la capa de rodadura de los pavimentos, no solo de carreteras

y autopistas, inclusive otro tipo de infraestructuras. La mezcla asfáltica es producto de la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante (Padilla Rodríguez, 2004). Su procesamiento requiere calentar el ligante y los agregados, y su colocación en obra es a una temperatura superior a la de ambiente (Fonseca, 2008). Todo lo detallado anteriormente es lo aplicado en el país, pero eso no significa que no existen innovaciones que pueden ser aplicadas; la modificación al caucho es una de ellas.

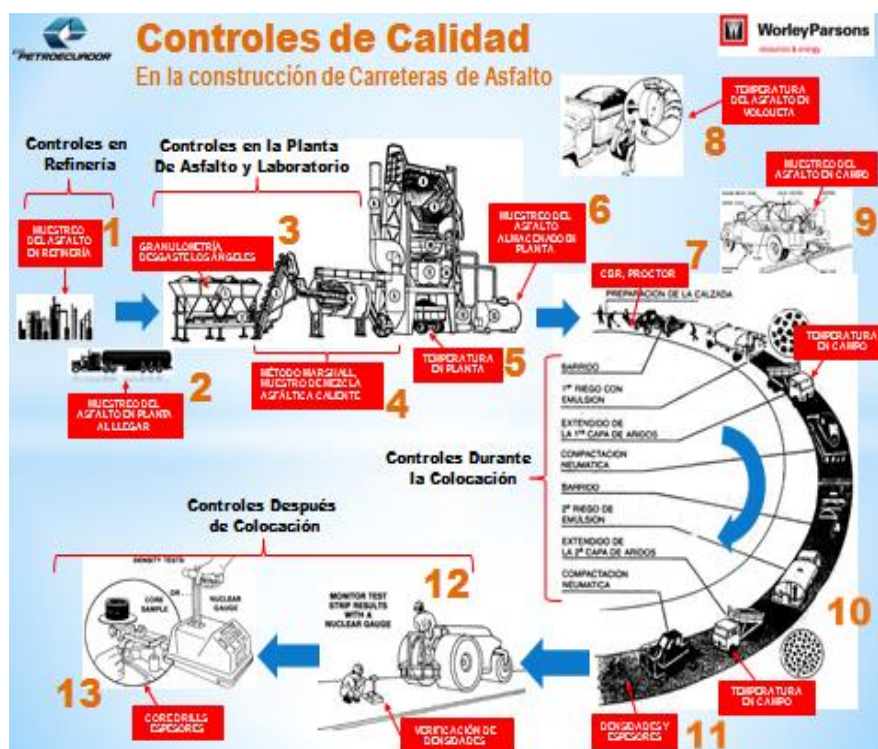


Figura 2.7. Controles de calidad del asfalto.

Fuente: EP PETROECUADOR, 2015.

2.3.1 Mezcla de asfalto convencional.

Se compone del ligante o cemento asfáltico, una combinación de agregado grueso y fino que cumplen cierta granulometría de acuerdo con el diseño de la mezcla.

2.3.1.1 Cemento asfáltico.

El asfalto es un material integrado por mezcla de varios hidrocarburos con excelentes propiedades aglutinantes e hidrofóbicas (Múnera & Ossa, 2014). Su origen se da de manera natural o como derivado del petróleo. El primero, se encuentra en la naturaleza y contiene proporción de crudos de petróleos en forma sólida o líquido (Rojas, 2008); mientras que los procesados se obtienen por destilación del crudo, que puede ser vapor o por aire. En vías, el de mejor resultados es el sistema por vapor.

Los asfaltos de petróleo pueden tener base asfáltica o base parafínica. Los de base asfáltica son los que poseen mejores características para su empleo en pavimentación por sus propiedades ligante y de resistencia a la meteorización. (Fonseca, 2008). La importancia de una buena mezcla asfáltica en obra es por ser la unión entre sí de las partículas y cuidarlas de los efectos de la humedad.

El Instituto de Norma Nacional Ecuatoriano (INEN, 2010) lo establece como un derivado del petróleo que satisface las especificaciones

establecidas para los materiales empleados en pavimentación y otros usos industriales. Entre las disposiciones generales se enfatiza que este ligante debe ser homogéneo, libre de agua, y que, al ser calentado a 175 °C, no deber formarse burbujas.

La clasificación por viscosidad de estos tipos de asfaltos está comprendida en los rangos que constan a continuación:

Tabla IX. Clasificación de cemento asfáltico por viscosidad.

Tipo	Viscosidad a 60 C, Pascal segundo (Pa s)
AC-2.5	25±5
AC-5	50±10
AC-10	100±20
AC-20	200±40
AC-40	400±80

Fuente: INEN, 2010.

2.3.1.1.1 Ensayos.

Los materiales para comprobar la calidad de los mismos y verificar que cumplan los estándares normados, se someten a ensayos que varían de acuerdo con el producto a evaluar.

En el caso del asfalto, el (INEN, 2010) establece los rangos de valores:

Tabla X. Requerimientos para asfalto cemento gradual, viscosidad a 60°C.

Requisitos	Unidad		Designación de la mezcla ^a			Método de ensayo
			Tipo I	Tipo II	Tipo III	
Viscosidad Aparente ^{a, c} a 175°C	Pa.s	Min.	1,5	1,5	1,5	ASTM D2196, Método A. Modificado
		Máx.	5,0	5,0	5,0	
Penetración a 25°C, 100g, 5s	1/10mm	Min.	25	25	50	NTE INEN 917
		Máx.	75	75	100	
Penetración a 4°C, 200g, 60s	1/10mm	Min.	10	15	25	NTE INEN 917
Punto de reblandecimiento	°C	Min.	57	54	52	NTE INEN 920
Resistencia a 25°C	%	Min	25	20	10	ASTM D5329
Punto de inflamación	°C	Min	232	232	232	NTE INEN 808
Residuo de película delgada al horno ^d	--	--	--	--	--	ASTM D 1754
Retención de penetración, 4°C, % original	1/10mm	Min	75	75	75	NTE INEN 917

^a Consulte el Apéndice Y de lineamientos climáticos recomendados para su uso.
^b Para cualquier lectura del viscosímetro Brookfield se puede utilizar un reporte de medición de pico. Para modelos de la serie LV, utilizar husillo 3 a 12 revoluciones por minuto. Para RV y los modelos de la gama HA, utilizar husillo 3 a 20 revoluciones por minuto.
^c Viscosímetros de rango de rotación alta tipo Rion o Haake también se puede utilizar (con Rotor N° 1) cuando se correlacionan con las mediciones de Brookfield, según otro viscosímetro de rotación. Sin embargo el viscosímetro Brookfield es el método dirimente.
^d Los residuos RTFO (Ver ASTM D 2872) pueden ser sustituidos por residuos TFOT, excepto para casos de litigio donde el TFOT es el método de referencia.

Fuente: INEN, 2014.

- **Ductilidad.**

Este ensayo determina la distancia en centímetros que la muestra puede alargarse antes de romperse, cuando los dos extremos de la briqueta del material son estirados a una velocidad de 5 cm. / minutos y a temperatura de $25 \pm 0,5$ °C.



Figura 2.8. Probetas para el ensayo de ductilidad.

Fuente: Construyendo desde el sur, 2008.

- **Penetración.**

(INEN, 1983) Distancia, medida en décimas de milímetros, que una aguja de dimensiones especificadas penetra verticalmente en la muestra.

El objetivo de este ensayo es determinar la dureza del ligante, además permite determinar la capacidad de fluencia del material cuando el rozamiento entre las capas del cemento aumenta y el material se acerca en sus características de consistencia a un semisólido; el fenómeno sucede cuando se encuentra a temperatura ambiente.

Procedimiento: Calentar la muestra hasta notar una consistencia fluida, luego se la deja enfriar bajo condiciones controladas y ser ubicada en un baño de agua a 25°C por un tiempo determinado. Finalmente, la muestra se traslada en el penetrómetro y por un intervalo de segundos, se deja caer la aguja que da lugar a la penetración a medir.

- **Viscosidad Saybolt.**

(INEN, 1994) Este ensayo mide, en segundos, el tiempo que tarde en fluir a una temperatura de 135°C, por un orificio estándar calibrado, 60 cm³ de muestra. De esta forma se determina la fluidez que tendrá el asfalto en el momento de colocación de la carpeta asfáltica.

- **Pérdida de masa por calentamiento.**

Las vías están constantemente expuestas a agentes externos que acortan la vida útil del pavimento, debido a eso, este ensayo adapta condiciones críticas para comprobar que cumpla los estándares establecidos.

Procedimiento: (Instituto Nacional Ecuatoriano de Norma, 1984) detalla en colocar el material, completamente libre de agua, en un recipiente previamente pesado; para luego pesar el envase con la muestra y se calienta en un horno a una temperatura de $163 \pm 1^\circ\text{C}$ en un periodo de 5 horas. Finalizado la etapa de calentamiento, se enfría el espécimen a temperatura ambiente y se pesa nuevamente.

Luego de este proceso se somete nuevamente a penetración, la viscosidad y ductilidad, para luego comparar con los resultados de la muestra antes de este ensayo.

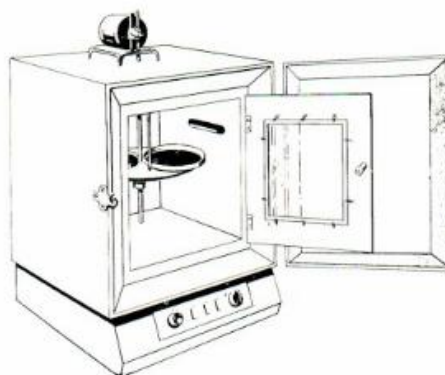


Figura 2.9. Horno donde se realiza el ensayo de pérdida de masa.

Fuente: Construyendo desde el sur, 2008.

- **Punto de ablandamiento.**

Es la temperatura a la que una muestra circular (disco) del material a ensayar, contenida en un anillo en posición, es forzada hacia abajo una distancia de 25,0 mm bajo el peso de una bola de acero, mientras el material sumergido en un baño de agua o glicerina se somete a calentamiento a una velocidad previamente establecida (INEN, 1984)

2.3.1.2 Agregados.

(Padilla Rodriguez, 2004) Menciona que son materiales granulares sólidos inertes que granulometrías establecidas más la suma o no de elementos activos; usados para la elaboración de productos artificiales resistentes, por medio de su unión con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.).

2.3.1.2.1 Agregados gruesos.

De acuerdo con la (Norma Ecuatoriana Vial (NEVI 12), 2013), se debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla XIV. Requerimientos para agregados gruesos.

Ensayos	Requerimiento	
	Altitud (m.sn.m)	
	<3000	>3000
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	12% máx	10% máx
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	18 máx	15% máx
Abrasión Los Ángeles	40% máx	35% máx
Índice de Durabilidad	35% mín	35% mín
Partículas chatas y alargadas	10% máx	10% máx
Caras fracturadas	Según Tabla 403-4.3	
Sales Solubles Totales	0,5% máx	0,5% máx
Absorción	1%	Según Diseño
Adherencia	+95	

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2013.

2.3.1.2.2 Agregados finos.

De acuerdo con la (Norma Ecuatoriana Vial (NEVI 12), 2013) , se debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla XXIII. Requerimientos para agregados finos.

Ensayos	Requerimiento	
	Altitud (m.sn.m)	
	<3000	>3000
Equivalente de Arena	Según Tabla 403-4.4	
Angularidad del agregado fino	Según Tabla 403-4.5	
Adhesividad (Riedel Weber)	4% mín	6% mín
Índice de Plasticidad (malla N°40)	NP	NP
Índice de Durabilidad	35 mín	35 mín
Índice de Plasticidad (malla N°200)	Max 4	NP
Sales Solubles Totales	0,5% máx	0,5% máx
Absorción	0,50%	Según Diseño

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2013.

2.3.1.3 Mezcla asfáltica.

2.3.1.3.1 Granulometría.

La granulometría para las mezclas deberá cumplir con una de las granulometrías establecidas en la tabla XIII.

Tabla XXXI. Granulometrías para mezclas asfálticas.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25 mm (1")	100	-	-
19 mm (3/4")	80	100	-
12,5 mm (1/2")	67 -85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 -77	70 - 88	100
4,75 mm (N°4)	43 -54	51 - 68	65- 87
2 mm (N°10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 mm (N°40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 mm (N°80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 mm (N°200)	04 -8	05 -8	05 -10

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2013.

2.3.1.3.2 Proceso de producción.

En el país, el tipo de mezclas más común son las realizadas en caliente y para realizar el proceso utilizan planta de producción de mezclas asfálticas; ya que se manejan con un sistema que facilita la regulación para calibrar la dosificación de agregados, cemento asfáltico y la temperatura. A su vez, por la facilidad de transportación e instalación y se clasifican: portátiles o estacionarios.

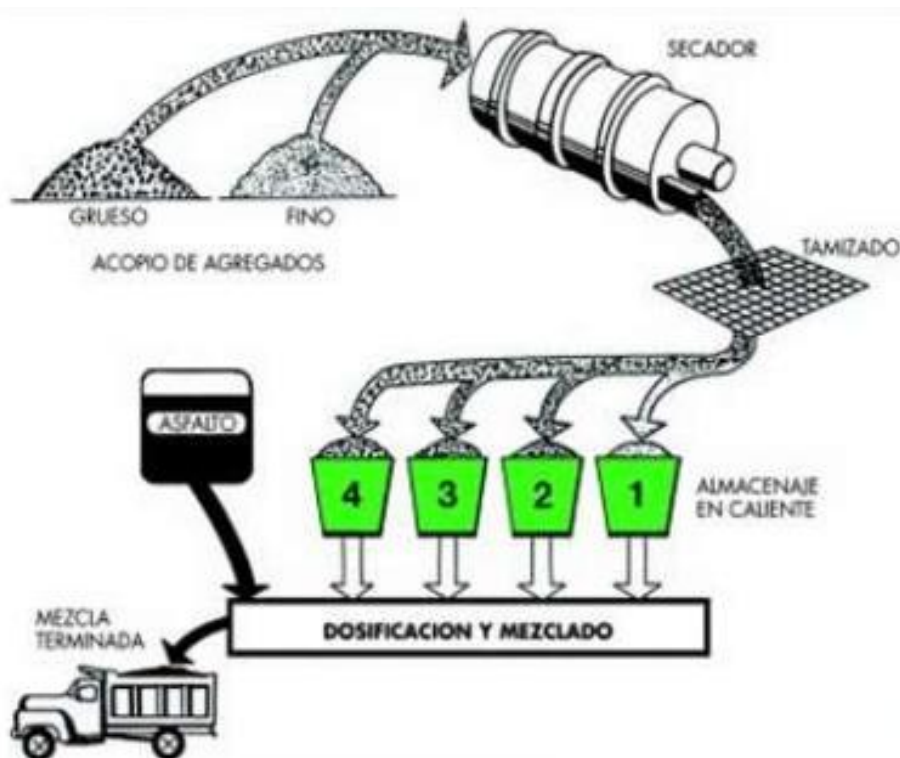


Figura 2.10. Proceso de producción de mezcla asfáltica convencional.

Fuente: Sobero, C., 2016.

Requerimiento a la refinaría y el segundo se subdivide en dos opciones: poseer material granular proveniente de una cantera in sitio o de otra fuente. Todo material que ingresa al proceso debe cumplir una revisión de control y ser debidamente registrado.

Se divide entre los diferentes tipos de agregados requeridos para la mezcla: grueso y finos. Para mejorar la producción, los montículos se ubican cerca de ya que se utiliza una cargadora frontal para trasladar el material hacia las tolvas.

Una vez llenas las tolvas por la dosificación de diseño, se procede por vibración a descargar el material hacia la faja horizontal, o también llamada banda húmeda transportadora húmeda. Estas tolvas tienen unas compuertas en la parte inferior que permiten abrir o cerrar el paso de los materiales hacia la faja horizontal.

De la faja horizontal continúan a la faja inclinada hasta llegar al horno rotativo de contraflujo, el cual tiene una llama la cual es alimentada con diésel, siendo la temperatura en la llama aproximadamente 800 °C. En este lugar, los agregados son calentados en forma gradual hasta alcanzar los 150 °C. El asfalto también debe ser calentado a la misma temperatura así al ser mezclado con el agregado, no existan problemas.

El tiempo de mezclado es de 45 segundos a 1 minuto aproximadamente. Cuando se tiene la mezcla asfáltica se abren las compuertas del mezclador y esta cae al camión volquete a una temperatura de 150 °C., quedando lista para ser transportada a obra.

2.3.1.3.3 Ensayos.

- **Diseño Marshall.**

Las mezclas deben de cumplir con los valores de las características establecidos en la tabla XIV, de acuerdo con el tipo de mezcla.

Tabla XXXV. Requerimientos para la mezcla de asfalto.

Parámetros de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall (MTC E 504)			
1. Estabilidad	8 kN (815Kg)	5,34 kN (544Kg)	4,45 kN (453Kg)
2. Flujo 0,25 mm	8 - 14	8 - 16	8 - 2
3. Porcentaje de vacíos con aire ⁽¹⁾ (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
4. Vacíos en el agregado mineral	Tabla 403-4.11		
5. Compactación, núm de golpes en cada capa de testigo	75	50	50
c. Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín)	70	70	70
d. Resistencia Conservada en la Prueba de Tracción indirecta (mín)	70	70	70
e. Relación Polvo - Asfalto	0,6 - 1,3	0,6 - 1,3	0,6 - 1,3
f. Relación Est. / flujo ⁽²⁾	1700 – 2500		

Fuente: Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2013.

El método de diseño corresponde al método Marshall. Para la obtención de los valores característicos de las mezclas se procede como sigue (Vasquez, 2015):

1. Se preparan 3 probetas, que luego serán compactadas con una cantidad determinada de golpes (75 golpes).
2. Se coloca el espécimen en la prensa Marshall, el cual aplica las cargas a cada espécimen mediante mordazas cilíndricas a una velocidad constante.

3. Se mide la carga máxima, estabilidad y el flujo.
4. Para la medición de vacíos, a partir del promedio del peso específico bulk se determina el peso unitario promedio. Con el peso unitario se obtienen el peso específico efectivo promedio del agregado. Con ello se puede calcular el asfalto absorbido por peso de agregado y VMA.

2.3.2 Mezcla de asfalto modificado con polvo de caucho.

Los asfaltos modificados son el resultado de la disolución o adición en el asfalto, de un polímero o de hule molido de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación (Rodríguez Wulf, 2008)

2.3.2.1 Cemento asfáltico modificado.

La diferencia entre el cemento asfáltico convencional y el cemento asfáltico modificado es que el segundo experimenta un cambio a nivel de sus propiedades químicas a través de la adición del polvo de caucho. El GCR que se obtiene por la trituración mecánica o molienda de llantas desechadas, debe ser de contextura fina de tamaños menores a 6.3 mm (1/4"). Este posee valiosos componentes que pueden contribuir al buen

desempeño del asfalto como lo son el negro de humo que es un antioxidante, las aminas, los aceites aromáticos, y los elastómeros SBS y SBR. (Ramírez, Ingryd, & Juan Pablo, 2014)

Tabla XLIV. Gradaciones típicas utilizadas en California.

a) Type 1

Sieve #	Sieve Size (mm)	% Passing
10	2.0 mm	100
16	1.18 mm	75-100
30	600 μm	25-100
50	300 μm	0-45
100	150 μm	0-10
300	75 μm	0

b) Type 2

Sieve #	Sieve Size (mm)	% Passing	
		Scrap Tire CRM	High Natural CRM
8	2.36 mm	100	100
10	2.00 mm	98-100	100
16	1.18 mm	45-75	95-100
30	600 μm	2-20	35-85
50	300 μm	0-6	10-30
100	150 μm	0-2	0-4
200	75 μm	0	0-1

Fuente: Hicks, R., 2002.

El porcentaje de caucho por peso de mezcla varía según los requerimientos. La norma colombiana especifica entre un 10% como mínimo, a un 20% como máximo por peso de mezcla (Quintana, 2011). Sin embargo, el porcentaje de polvo de caucho será de acuerdo con la granulometría del mismo. Por ejemplo, en Ecuador ha resultado mejor considerar 7.5% de polvo de caucho con una granulometría que pasa del

tamiz N°30 y retenido en el tamiz 40° (Gordillo, 2017). Mientras mayor el tamaño del caucho, más tiempo tomará interactuar con el asfalto.

(Hicks, 2002) describe 2 tipos de graduaciones típicas utilizadas en California. (Ver tabla XV).

2.3.2.2 Ensayos.

Los ensayos de control del cemento asfáltico se asemejan a las del cemento asfáltico sin modificar. Sin embargo, la ductilidad en este tipo de ligante no se realiza. En reemplazo de este ensayo, se realiza la restitución elástica. A continuación, se detalla el procedimiento del ensayo.

Tabla LII. Especificación de asfaltos modificados con polvo de caucho.

Ensayo	Norma de Ensayo	Mínimo	Máximo
Asfalto original ya modificado con GCR			
Viscosidad a 163° C con viscosímetro rotacional, Pa-s	INV E-717-07	1.5	3.0
Penetración a 25° C, 1/10 mm	INV E-706-07	40	70
Punto de ablandamiento, ° C	INV E-712-07	52	-
Residuo después de RTFOT			
Pérdida de masa, %	INV E-720-07	-	1
Penetración, % (de la penetración original)	INV E-706-07	65	-
Recuperación elástica utilizando el ductilómetro, %	INV E-742-07	50	-

Fuente: Especificación Técnica: Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfaltos Modificados con Caucho 560-11, 2011.

- **Recuperación elástica.**

Se prepara la probeta de la misma forma que para el ensayo de ductilidad. Se lo deja en baño maría a 25°C por una hora, luego se retira los excesos con una espátula caliente y se lo deja por 10 minutos más. Hasta ese momento, el ductilímetro debe de estar preparado a la temperatura adecuada (25°C) para ser colocada la muestra. Una vez colocada, se enciende el equipo. De aquí en adelante, se tendrá que observar como la muestra se va estirando. Si la muestra llega a los 20 cm sin romperse, se debe parar el equipo y cortar la muestra justo en la mitad y se anota el valor de 20 cm. Se debe esperar 1 hora antes de retirar la muestra del equipo debido a que se debe de medir lo que se recoge en ese tiempo y anotar. Si sucede lo contrario, se para el equipo al instante en que se rompe, se anota el valor y se procede como en el caso anterior.



Figura 2.11. Restitución elástica.

Fuente: REPSOL, 2015.

2.3.3 Mezcla asfáltica modificada.

Compuesta por los mismos materiales que una mezcla convencional, pero como parte del proceso se debe adicionar la modificación de caucho, ya sea en la misma planta de producción o antes de llegar a planta.

2.3.3.1 Proceso de trituración del caucho.

Antes de entrar a las formas de modificar el ligante asfáltico con polvo de caucho, cabe mencionar el proceso de trituración del cual forma parte el caucho.

En Ecuador, el proceso lo lleva a cabo el Ministerio del Ambiente (MAE). La forma de recolección de los residuos sólidos, en este caso las llantas, forma parte de la Gestión de Residuos Sólidos, establecido por el MAE (figura 2.12).

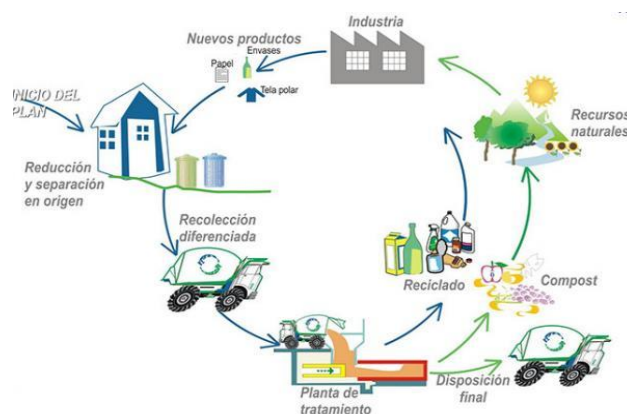


Figura 2.12. Proceso de residuos sólidos.
Fuente: Ministerio de Ambiente, 2015.

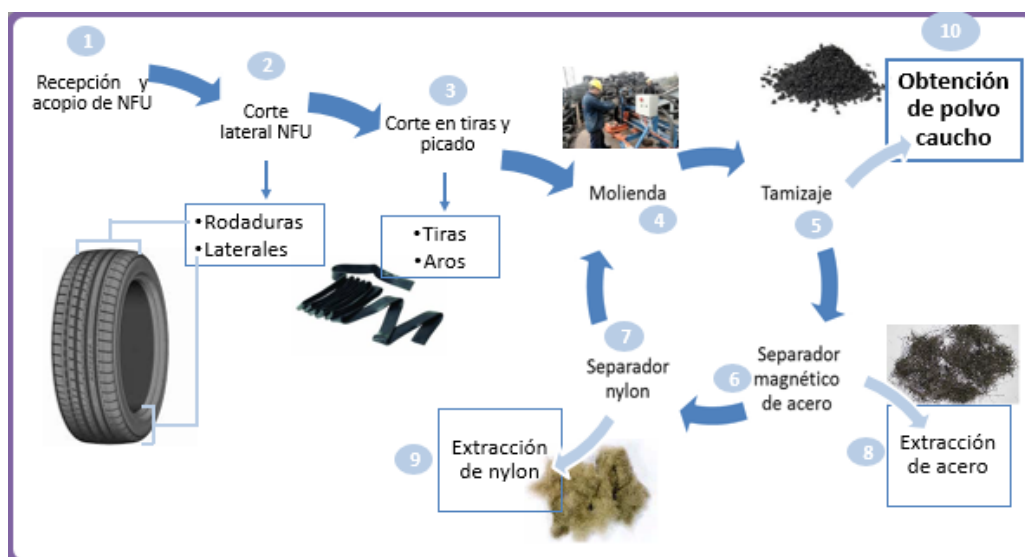


Figura 2.13. Proceso de trituración de caucho.

Fuente: Ministerio de Ambiente, 2015.

A su vez, el caucho proveniente de llantas recicladas se somete a una serie de transformaciones, llegando al producto final. En la figura 2.13 se muestra un esquema de la trituración de las llantas.

2.3.3.2 Proceso de producción.

En el caso de las mezclas bituminosas, la utilización del polvo de caucho procedente del NFU permite modificar las propiedades reológicas de la mezcla final, así como mejorar sus prestaciones.

Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según a la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible

de modo que a bajas temperaturas y a tiempos cortos de aplicación de cargas sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas sean resistentes a las deformaciones. La acción de los modificadores es colaborar en la tendencia a que el asfalto presente las menores variaciones de consistencia para los cambios de temperatura registrados. En general un agente modificador logra:

- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión interna.
- Mejorar la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas.
- Mejorar el comportamiento a fatiga.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento.

Los procesos de producción del asfalto modificado se pueden dar de dos maneras: vía seca (Ver figura 2.14) y húmeda (Ver figura 2.15). El primero consiste en la cantidad requerida de ligante tiende a aumentar, también se requiere un proceso especial para adicionar el GCR en planta, y un mayor tiempo de compactación en obra; el proceso por vía húmeda requiere un equipo tradicional en planta para el mezclado y almacenamiento del asfalto-caucho, así como cambio de bombas y tuberías, adicionalmente requiere mayor energía para calentar la mezcla

a mayores temperaturas con tiempos de reacción prolongados. En este proceso el GCR es mezclado con el ligante para producir una mezcla asfalto-caucho, la cual es usada de la misma manera que un ligante modificado. La proporción del GCR normalmente se encuentra entre el 14% y el 20%, dependiendo del ligante, por peso del total de la mezcla asfalto-caucho.

Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el ligante hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, no siendo esta una reacción de tipo química.

Proceso Adición Polvo NFU al Asfalto por Vía Seca



Figura 2.14. Proceso de modificación de asfalto por vía seca.

Fuente: Quintana, H., 2011.

El grado de modificación del ligante depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran el tamaño y textura del GCR, la proporción y tipo del cemento asfáltico, el tiempo y temperatura de mezclado, el grado de agitación mecánica durante la reacción. El cemento asfáltico modificado con GCR mediante el proceso húmedo ha sido usado ampliamente como ligante en la reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, membranas retardantes de fisuras, y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente de la mezcla.



Figura 2.15. Proceso de modificación de asfalto por vía húmeda.

Fuente: Quintana, H., 2011

2.3.3.2.1 Ensayos.

Tabla LVI. Intervalo de valores característicos recomendados para modificar el ligante con polvo de caucho.

Variable	Mínimo	Máximo
Porcentaje de GCR sobre el peso del ligante	10	20
Tiempo de reacción, min	55	75
Velocidad de agitación, rpm	100	750
Temperatura de mezclado, ° C	155	170

Fuente: Especificación Técnica: Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfaltos Modificados con Caucho 560-11, 2011.

Tabla LXIV. Propiedades mínimas de mezclas de asfalto modificado con polvo de caucho

Ensayo	Norma	Valores admisibles
Marshall	INV. E-748	=97%
Compacidad		
Resistencia conservada tras inmersión	INV. E-738	>75%
Ahuellamiento, Máx. velocidad de def. en el intervalo de 105 a 120 min.	INV. E-756	>75% 20 mm/min
Módulo a 15°C y 10 Hz	INV. E-754	>4600 MPa
Fatiga, ϵ_6 (15°C, 25 Hz)	NF P 989-261	1800x10 ⁶

Fuente: Quintana, H., 2011.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3. Descripción del área de estudio.

3.1 Comparación: MAC vs. MAMPC.

En este capítulo se explicará, por medio de un análisis comparativo, las propiedades físicas y reológicas de las MAC Y MAMPC, ciclo de vida útil asociado a la evaluación de la fatiga de las dos mezclas y el costo-beneficio, que implica, al escoger la modificación como opción de mejora del desempeño de la capa de rodadura.

El tipo de modificación del ligante asfáltico de las muestras ensayas fue mediante el proceso de vía humeada. La razón por la cual fue escogido este proceso y no la vía seca, es debido a que la literatura expone que, el proceso escogido, ha demostrado comportarse mejor con el ligante y presenta mejores resultados a nivel de desempeño (Quintana, 2011), (Gordillo, Gerente Institucional MTOP, 2017).

3.1.1 Propiedades físicas.

La forma típica de comprobar que un tipo de asfalto posee o no mejores propiedades que otro, es el control de calidad que se le realiza en laboratorio. Como parte del estudio, se encuentra los resultados de las propiedades físicas. Los ensayos que conforman el control de calidad y diseño de la mezcla se detallan en (Diseño de Pavimentos (AASHTO -

93) Y DIPAV - 2, 2010). En él se describe 2 grupos de ensayos o métodos: Ensayo Marshall y Ensayo Hveem. Como propósito de este trabajo, los ensayos que se llevaron a cabo fueron los que se describe en el Ensayo Marshall; el cual consiste en la medición de estabilidad, flujo, vacíos y susceptibilidad a la humedad.

Tabla LXVIII. Propiedades físicas de la mezcla de asfalto convencional. M. Marshall.

Muestra	%Asfalto por peso de mezcla	PESO MUESTRA EN GRAMOS			Volumen cc.	Grav. Esp. De masa de muestra compac.	Grav. Esp. Max. De mezcla (RICE)
		en aire	en agua	sat. Sup seca en aire			
N°							
1	7.08	1138	596	1141	545	2088	2.188
2		1169	612	1173	561	2084	
3		1170	615	1174	559	2093	
						2.088	
Muestra	%Asfalto por peso de mezcla	AIR VOID	% V.M.A.	DIAL	CORRECCIÓN (Libras)	FLUJO (0.25 mm)	Factor Correc.
N°							
1	7.08	4.57	15.57	2471	2298	11	0.93
2				2745	2361	11	0.86
3				2667	2374	11	0.89
						2344	

Fuente: CONCRETO Y PREFABRICADOS, 2016.

En la tabla XIX y XX, se detallan los resultados para cada mezcla. La MAC tiene una gravedad específica de 2198 y la MAMC un valor de 2.188, a pesar de su diferencia, no representa ningún aspecto relevante. Por otro lado, se puede apreciar valores de Marshall distantes, en donde

la MAMC presenta un valor de 3361, a diferencia de la MAC con un valor de 2344. Además, los valores de flujo son mayores en la MAMC.

Tabla LXIX. Propiedades físicas de la mezcla de asfalto modificado con caucho. M. Marshall para la oreja de Samborondón-Guayaquil

Muestra	%Asfalto por peso de mezcla	PESO MUESTRA EN GRAMOS			Volumen cc.	Grav. Esp. De masa de muestra compac.	Grav. Esp. Max. De mezcla (RICE)
		en aire	en agua	sat. Sup seca en aire			
N°							
1	7.06	1137	600	1141	541	2102	2.198
2		1146	603	1149	546	2099	
3		1161	613	1165	552	2103	
						2.101	
Muestra	%Asfalto por peso de mezcla	AIR VOID	% V.M.A.	DIAL	CORRECCIÓN (Libras)	FLUJO (0.25 mm)	Factor Correc.
N°							
1	7.06	4.41	15.06	3446	3705	14	1.08
2				3388	3151	13	0.93
3				3627	3228	13	0.89
					3361		

Fuente: CONCRETO Y PREFABRICADOS, 2016.

Simultáneamente, los resultados de las propiedades físicas en la mezcla de la prueba piloto Pifo-Papallacta tienen valores Marshall muy parecidos a los de Samborondón-Guayaquil, a pesar de que el porcentaje de asfalto es menor.

Sin embargo, las propiedades físicas no representan mayor incidencia, ya que se basan en ensayos empíricos que no llegan a simular lo que representa el comportamiento in situ (Grgich & Quagliata, 2007). Por lo

tanto, no son concluyentes frente a la problemática del desempeño de la capa de rodadura.

Tabla LXX. Propiedades físicas de la mezcla de asfalto modificado con caucho. M. Marshall (para la prueba piloto Pifo-Papallacta)

Muestra	%Asfalto por peso de mezcla	PESO MUESTRA EN GRAMOS			Volumen cc.	Grav. Esp. De masa de muestra compac.	Grav. Esp. Max. De mezcla (RICE)
		en aire	en agua	sat. Sup seca en aire			
N°							
1	6.10	1221	696	1222	526	2.321	2.385
2		1234	701	1236	535	2.307	
3		1245	709	1246	537	2.318	
						2.315	
Muestra	%Asfalto por peso de mezcla	AIR VOID	% V.M.A.	DIAL	CORRECCIÓN (Libras)	FLUJO (0.25 mm)	Factor Correc.
N°							
1	6.10	2.9	15.5	3142	3016	12	0.96
2				3293	3162	12	0.96
3				3183	2961	12	0.93
						3046	

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2015.

3.1.2 Propiedades reológicas.

3.1.2.1 Módulo de rigidez.

La tabla XXII muestra los resultados uno de los tramos que forman parte de la “Prueba piloto de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho en desuso” (Gordillo, 2015).

En las propiedades reológicas de la MAMPC, se obtuvo buenos resultados en el módulo de rigidez. Inclusive, el coeficiente de variación entre las 3 briquetas de muestra se ve disminuido en relación con aquellas que corresponden al asfalto sin modificar.

Además, las pruebas se llevaron a cabo con 3 dosificaciones diferentes de caucho: 5%, 7.5% y 10%. De las cuales, la dosificación correspondiente al 7.5% es la que respondió mejor.

Tabla LXXI. Módulo de rigidez a 20°C del asfalto sin modificar vs. asfalto modificado a diferentes dosificaciones de caucho. (para la prueba piloto Pifo-Papallacta)

	MÓDULO DE RÍGIDEZ 20°C (MPa)			
	Asfalto sin modificar	Asfalto modificado con 5% de caucho	Asfalto modificado con 7.5% de caucho	Asfalto modificado con 10% de caucho
MUESTRAS	2340 2376 2027	4105 3891 3832	3383 3411 3340	3360 3521 3524
PROMEDIO	2248	3943	3378	3468
DESVIACIÓN ESTANDAR	192	144	36	94
COEF. VARIACIÓN	8.5%	3.7%	1.1%	2.7%

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2015.

3.1.2.2 Evaluación de fatiga.

3.1.2.2.1 Experiencia internacional.

Investigadores a nivel mundial, manifiestan que la modificación del asfalto con polvo de caucho viene con características particulares que lo

hacen formar parte de las alternativas de la mejora en el desempeño de la capa de rodadura. La principal ventaja que brinda es la resistencia a la fatiga y el ahuellamiento (Hicks, 2002), (Shen, Amirkhanian, & Lee, 2007), (Way, 2003), (Xiao, Amirkhanian, Shen, & Putmn, 2009), (Nodgren & Preinfalk, 2009).

(Leet, Amirkhanian, Putman, & Kim, 2007), mostraron resultados de ensayos realizado a 4 mezclas asfálticas. La primera sin ninguna modificación, la segunda con SBS (styrene-butadiene-styrene), 10% y 15% de polvo de caucho. De la investigación se obtuvo una gráfica comparativa que demuestra el comportamiento de cada mezcla sometida al mismo número de ciclos.

En la figura 3.1 se muestran las curvas para cada mezcla, de la cual se concluye que:

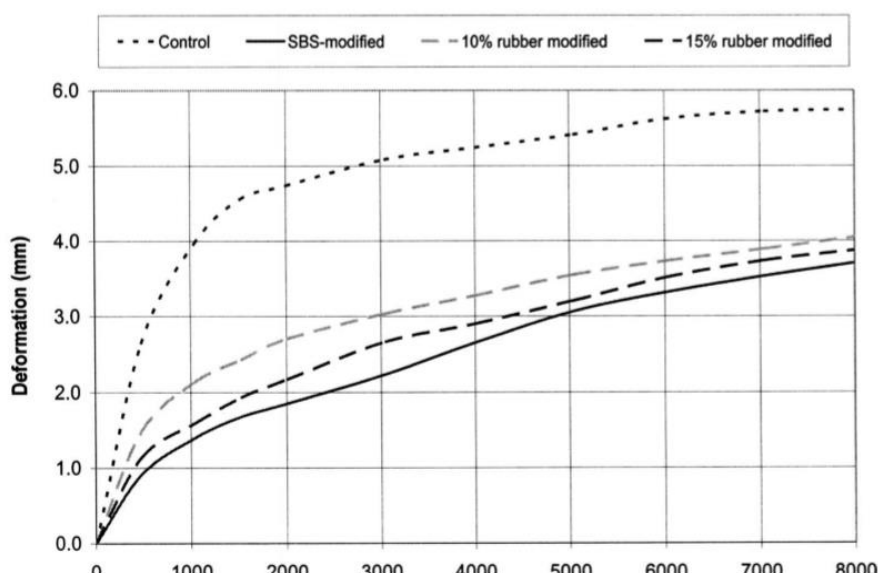


Figura 3.1. Influencia del caucho y el SBS en las mezclas de asfalto.

Fuente: Leet, S., Amirkhanian, S., Putman, B., Kim, K., 2007.

1. El asfalto sin modificar (control), sufre mayores deformaciones a la misma cantidad de repeticiones.
2. La mezcla con el 10% de contenido de polvo de caucho, disminuye considerablemente respecto a la mezcla sin modificar bajo las mismas condiciones.
3. La mezcla con el 15% de contenido de polvo de caucho, sufre una disminución respecto a la mezcla con el 10% de polvo de caucho.
4. Se muestra una curva que representa las mezclas de asfalto modificado con polímero, la cual tiene mejores características de resistencia a la fatiga. Sin embargo, no es tema de estudio de esta investigación.
5. Entre las mezclas de asfalto modificado con caucho, la de mejor resultado es la que contiene 15% de polvo de caucho por peso total de la mezcla.

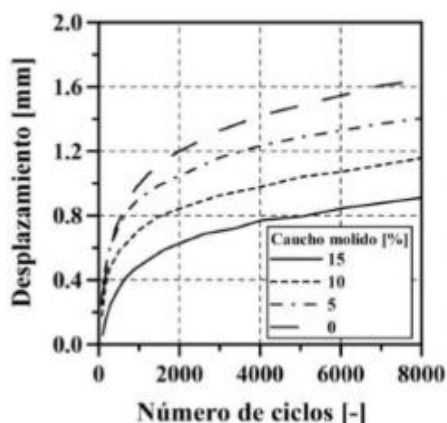


Figura 3.2. Influencia del caucho y el SBS en las mezclas de asfalto.

Fuente: Shen, J., Amirkhanian, S., Lee, S., 2007.

De forma similar, la figura 3.2, muestra curvas para las mezclas modificadas con el 5%, 10% y 15% de polvo de caucho del peso total de la mezcla. Se aprecia un aumento de la resistencia a medida que va aumentando el contenido de polvo de caucho (Shen, Amirkhanian, & Lee, 2007).

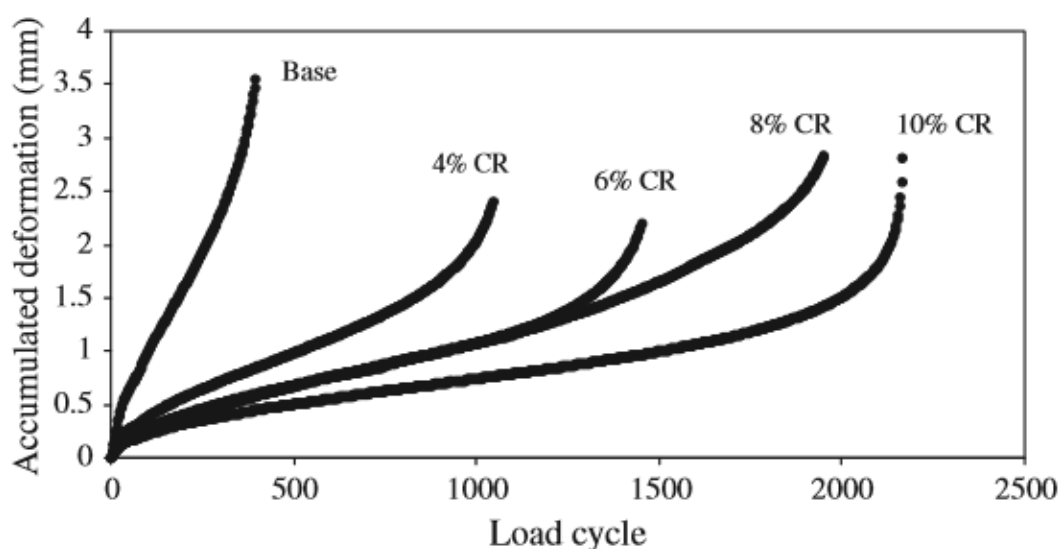


Figura 3.3. Deformación acumulada vs. Restricciones de carga a MAMPC con diferentes dosificaciones.

Fuente: Kok B., Colak H., 2011.

Por otra parte, (Kok & Colak, 2011) en su investigación sobre la comparación de asfaltos modificados con caucho, SBS y mezcla convencional, también mostraron curvas de deformación acumulada permanente (Ver figura 3.3) sometida a repetición de cargas antes de la ruptura. Del análisis afirmó, respecto a la comparación de MAC y

MAMPC, que la modificación mejora el comportamiento de fatiga y definió a la MAMPC con el 8% del peso total de la mezcla como la más óptima.

3.1.2.2.2 Experiencia en Ecuador.

En base a la experiencia expuesta por (Gordillo, Carvajal, Fonseca, & Villalobos, 2015) sobre la “Prueba piloto de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho en desuso” se tiene que:

1. En principio, la muestra de la MAC tuvo un comportamiento de resistencia a la fatiga sobre el promedio. (Ver figura 3.4)

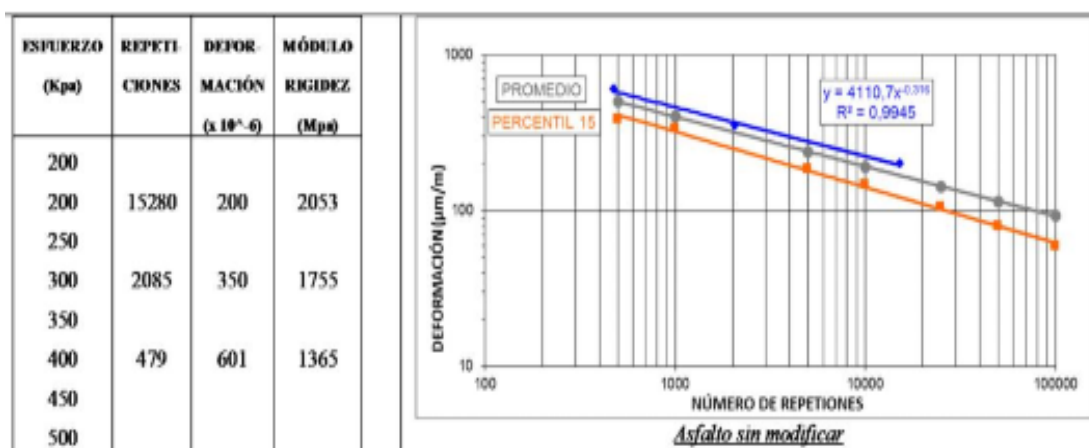


Figura 3.4. Resultados de fatiga para mezclas de asfalto convencional.

Fuente: Gordillo, C., Carvajal, P., Fonseca, C., Villalobos, R., 2015.

2. La MAMPC con el 5% de caucho, no presentó mayor mejora respecto a la MAC. Inclusive, se encuentra en el límite del comportamiento

promedio, registra menor resistencia al inicio de la curva y mayores resistencias al final para mayor número de repeticiones. (Ver figura 3.5)

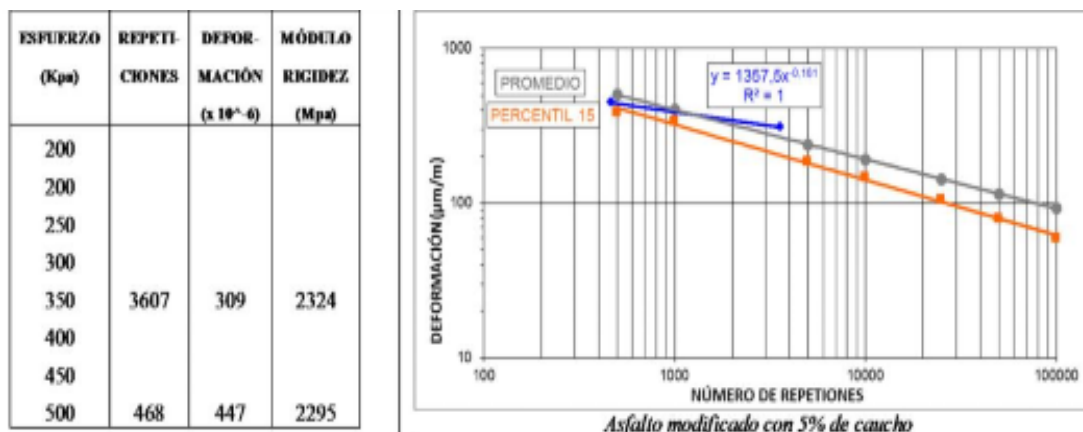


Figura 3.5. Resultados de fatiga para mezcla de asfalto modificado con el 5% de polvo de caucho.

Fuente: Gordillo, C., Carvajal, P., Fonseca, C., Villalobos, R., 2015.

- Finalmente, la mezcla con 7.5% de polvo de caucho, se asemejó más al comportamiento promedio. No registra mayor cambio. (Ver figura 3.6)

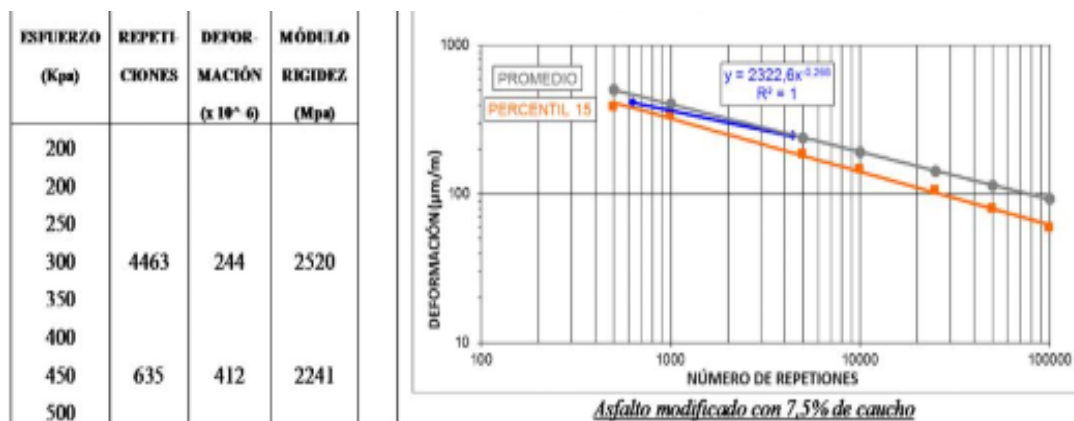


Figura 3.6. Resultados de fatiga para mezcla de asfalto modificado con el 7.5% de polvo de caucho.

Fuente: Gordillo, C., Carvajal, P., Fonseca, C., Villalobos, R., 2015.

De los resultados que se tiene hasta ahora, en primera instancia, no se encuentra mayor beneficio del polvo de caucho. Sin embargo, al ser la primera prueba piloto, se espera que la continua investigación mejore con el tiempo y se logre los resultados que la revisión de literatura promueve.

3.1.3 Ciclo de vida útil.

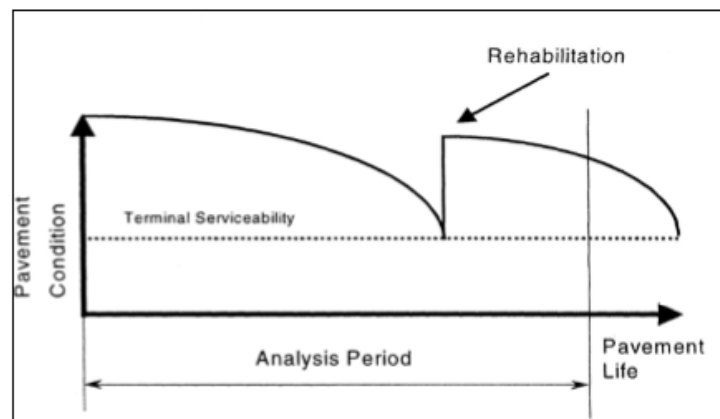
Normalmente, la capa de rodadura de MAC requiere de un mantenimiento cada cierto tiempo. Este mantenimiento, dependerá de las condiciones climáticas, tráfico y otros factores, los cuales determinaran las necesidades a cubrir. De acuerdo con la frecuencia de mantenimiento que la capa de rodadura recibe, el ciclo de vida útil aumentará.

Las vías se diseñan para un periodo determinado, es decir, que cumple con un ciclo en el que la vida útil de la misma llega a su fin. A lo largo de su vida útil, se convierte importante que se den los mantenimientos pertinentes para que la vía se conserve en buen estado. Se tiene el concepto errado respecto a lo que significa mantenimiento, ya que se considera que el mantenimiento se realiza una vez que la calzada ya ha sufrido daños mayores.

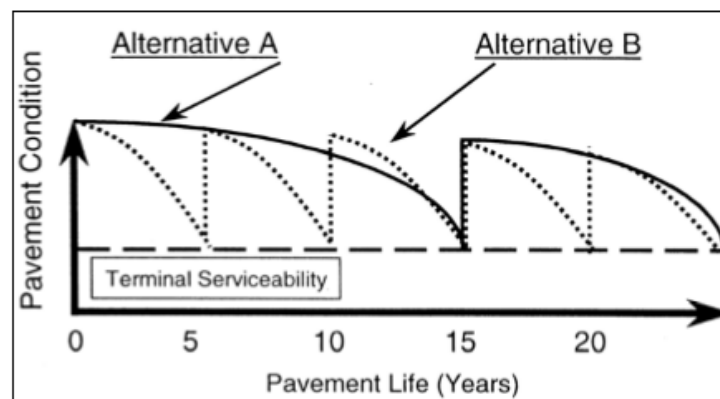
A pesar de que el tratamiento que se le proporcione permitirá alargar la vida útil, también tiene gran incidencia las propiedades de la mezcla que

conforma la capa de rodadura. La figura 3.7 está compuesta por 2 gráficas.

La gráfica a) consta de una alternativa de rehabilitación luego de que el pavimento llegó tuvo una caída significativa en su serviciabilidad donde se la rehabilita, a tal punto de que mejora el desempeño, pero no llega a estar como al inicio. La gráfica b) compara la alternativa a) y sugiere un mantenimiento periódico, cada 5 años.



a) Analysis period for a pavement design alternative



b) Performance curves for two rehabilitation or maintenance strategies

Figura 3.7. Alternativas de mantenimiento a una vía típica de pavimento flexible, a nivel de la capa de rodadura.

Fuente: Epps, J., Hicks, R., 2000.

Ahora bien, cabe comparar el ciclo de mantenimiento de una vía de MAC con una de MAMPC. Para lo cual, según estudios, se conoce que el ciclo de vida útil de un pavimento con asfalto modificado con caucho, puede permanecer más tiempo en servicio (Epps & Hicks, 2000), (Cheng, Hicks, & Way, 2012), (Bandini, 2011).

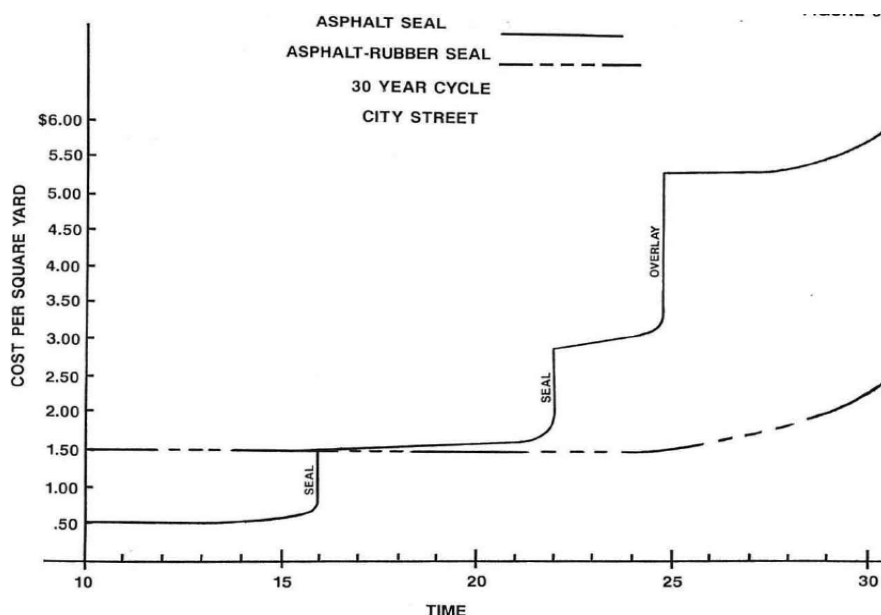


Figura 3.8. Curva típica de ciclo de vida de un pavimento con mezcla asfáltica convencional y mezcla modificada con caucho (tiempo = 30 años).

Fuente: Rosero, F., 2015.

La figura 3.8 muestra la curva típica del ciclo de vida comparando los dos pavimentos, en ella se observa que mientras la carpeta de asfalto convencional necesita de un mantenimiento cada 5 o 7 años, la de asfalto modificado se mantiene en buenas condiciones en un periodo de 30 años aproximadamente. En ese tiempo, el asfalto convencional requiere de al menos 3 mantenimientos en el mismo tiempo que el modificado no.

Esto se comprueba con lo dicho anteriormente, al tener mejor resistencia a la fatiga, el pavimento durará más que un pavimento convencional. Por lo tanto, el costo de mantenimiento a largo plazo se reducirá, compensando el costo de inversión inicial.

3.1.3.1 Modelo de deterioro.

En la (Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12), 2013) se especifica los principales deterioros que han sido modelados para los pavimentos flexibles. Entre ellos se encuentra:

- Modelo de deterioro de roturas (fisuras, grietas, piel de cocodrilo).
- Modelo de deterioro de deformaciones (transversales y longitudinales).
- Modelo de deterioro de desprendimientos (peladuras y baches).

Estos modelos permiten estimar el comportamiento del pavimento bajo diferentes características. En el caso del modelo deterioro de roturas, va a estimar la frecuencia de las fisuras en un periodo de tiempo. Bajo esta información, se podría prever el periodo de mantenimiento que una vía determinada debe de recibir.

Debido a la complejidad del modelo de deterioro y datos que se necesita para poder estimar alguna tendencia característica, el desarrollo del

mismo no es tema de estudio de esta investigación. Sin embargo, es importante mencionar su existencia, con el fin de que a futuro se tome en cuenta para programar el mantenimiento adecuado que preserve la capa de rodadura.

Hasta el momento, no se conoce de un modelo de deterioro para los pavimentos de MAMPC. No obstante, se conoce su comportamiento mediante investigaciones realizadas a partir de las experiencias en otros países.

3.1.3.2 Ejemplo.

Entre las experiencias en Arizona, se encuentra una vía en particular. (Auker, 2015) en un reporte realizado, destaca el desempeño de una carretera (I19 Tucson), la cual fue rehabilitada en el año 1988. La vía en cuestión se encontraba con fuertes daños sobre el pavimento y fue intervenida mediante la colocación de una capa de 1" de espesor de asfalto modificado con caucho.



Figura 3.9. I19 TUCSON 1988, antes de la rehabilitación.

Fuente: Carlson, D., 2002.

Las primeras señales de agrietamiento en la calzada aparecieron en 1996, sin embargo, la vía se conservó muy bien hasta el año 2000 (16 años en servicio).



Figura 3.10. I19 TUCSON, 16 años luego de su rehabilitación.

Fuente: Auker, C., 2015.

3.1.4 Limitaciones y beneficios adicionales.

(California Department of Transportation, 2003) describe las limitaciones y beneficios que trae consigo el uso de mezclas de asfalto modificado con caucho.

Respecto a las limitaciones, se tiene que:

- El costo del equipamiento de producción de asfalto modificado con caucho es alto. En principio, si se habla de un proyecto de gran escala, el valor de la inversión inicial puede ser compensado mediante la cantidad de producción, la reducción de mantenimiento, mayor tiempo de vida útil y disminución del espesor. Sin embargo, para un proyecto a menor escala, el valor de inversión inicial puede llegar a ser difícilmente compensado.
- La construcción puede llegar a ser todo un reto debido a los requerimientos de temperatura. Se debe compactar a mayor temperatura que un convencional, ya que el caucho rigidiza la carpeta a altas temperaturas.
- Problemas de calidad de aire y olores.
- Si el trabajo tiene un retraso de más de 48 horas luego de haber realizado la mezcla con el caucho, gran parte de la misma no podrá ser utilizada. El motivo por el cual sucede esto, es debido a que el

tiempo que ha tomado realizar la digestión ha sido el máximo y pasado de eso es más probable que las viscosidades no cumplan con el mínimo requerido, inclusive si se le agrega más caucho.

Respecto a los beneficios, se tiene que:

- ✓ Brinda mejores propiedades ingenieriles respecto al convencional y puede ser utilizado en cualquier tipo de clima.
- ✓ Valor agregado, al usar caucho de llantas recicladas. Ahorro de energía al utilizar material reciclado.
- ✓ Aumenta la resiliencia y elasticidad a altas temperaturas.
- ✓ Mayor durabilidad, mejora la resistencia a la fatiga.
- ✓ Mejora en el envejecimiento y resistencia a la oxidación, causado por antioxidantes presentes en el caucho.
- ✓ Menor costo de mantenimiento debido a la durabilidad y desempeño.
- ✓ Mayor seguridad, debido a que el carbón negro presente en el caucho actúa como un pigmento que mantiene a la carpeta con su color característico (negro) por más tiempo; con ello la señalética horizontal se aprecia mejor, mayor tiempo, sobre la calzada.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4. Análisis de resultados.

4.1 Restricciones.

Como parte de la iniciativa de llevar a cabo investigaciones sobre esta nueva tendencia, surgió la identificación de ciertos factores que dificultan que este proceso sea aplicado como parte de la producción de las mezclas de asfalto. La falta de elementos como un caldero y tolva adicional, que intervienen en la modificación del asfalto en las plantas asfálticas, es una gran limitante para impulsar proyectos viales con esta característica. Sin notar que de esa forma no sólo se lograría comprobar los beneficios que brinda; a su vez se realizarían pruebas y evaluar el comportamiento de MAMPC ante condiciones propias de cada región del país.

Adicional, se presenta otro problema, las altas temperaturas de mezclado. Es necesario que la temperatura sea la adecuada para lograr que el caucho interactúe con el asfalto y se logre un ligante modificado homogéneo.

De existir largas distancias de planta mezcladora a la obra, la segregación del caucho sería un problema por controlar. A partir de ello, el transporte del material se convierte en otro inconveniente debido al control del factor antes mencionado. Los equipos a trasladar la mezcla

deben ser adaptados con dispersores así mantener la trabajabilidad de la misma.

Siendo un material sustentable a largo plazo, no está libre de proporcionar contaminación al medio ambiente. En su elaboración, la cantidad de gases tóxicos que se originan en el mezclado, aumentan; perjudicando al aire e inclusive causar molestias respiratorias en los operarios.

No existen normas o leyes que incentiven su uso en proyectos viales, originando aún rechazo por parte de contratistas ya que el conocer poco de las bondades que brinda, no están de acuerdo con el alto costo que representará en el rubro además debe existir capacitación a operarios y la adquisición de equipos.

Ante todos estos inconvenientes, se ofrece las siguientes propuestas de solución:

4.2 Propuestas.

4.2.1 Propuesta 1:

Al existir una lista de restricciones, la primera reacción ante esta propuesta es mantener el tradicional sistema de mezclado: el asfalto llega a una planta de mezclado y dependiendo de la dosificación de

diseño de la mezcla; se unen para luego ser trasladado a obra (Detallado en el capítulo 3).

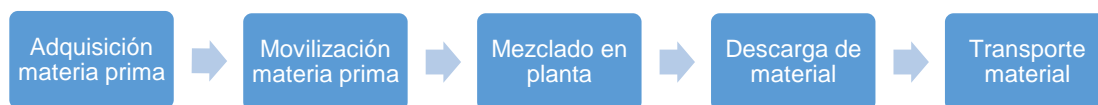


Figura 4.1. Esquema de mezclado de asfalto.

Fuente: Contreras, K., Delgado, A., 2017.

Sin embargo, como se detalló en el capítulo 1, debido a la calidad del ligante, el envejecimiento prematuro se acelera mucho más por el contacto con el oxígeno atmosférico dando como reacción un aumento del contenido de asfaltenos, una disminución del contenido de resinas y de los compuestos más aromáticos, lo que conduce a una gelificación progresiva del sistema coloidal. De esta manera, se disminuye el funcionamiento mediante un endurecimiento de la mezcla, pérdida del poder aglomerante, aumentando la rigidez por la posibilidad de fisuras térmicas. (Orencio Marrón, García Carretero, Rubio, & Jiménez, 2016)

4.2.1.1 Factor social.

Frente al impacto social que tiene las vías, se encuentra el beneficio que brinda a la ciudadanía por el simple hecho de que la existencia de las mismas al comercio, turismo, etc. Por otro lado, la durabilidad también significa de la carretera afecta directamente al confort del usuario que la transita.

En este caso, la capa de rodadura de asfalto sin modificar presenta fallas a corto plazo. Estas fallas llegan a afectar el confort de los usuarios que circulan en las carreteras, inclusive la seguridad de los mismos. Al presentarse baches y fisuras en la carpeta, en una mala maniobra, puede provocarse algún accidente.

Por lo tanto, afecta directamente a la ciudadanía que circula en las carreteras constantemente.

4.2.1.2 Factor ambiental.

La contaminación originada por el mal estado de las vías, de acuerdo con estudios realizados en otros países, sugiere que el CO₂ liberado por dicho estado, se convierte en una emisión muy alta. La forma en que se puede reducir la emisión de CO₂ es mediante la buena conservación de la vía y un mantenimiento adecuado (Potti, 2016). En consecuencia, una vía que cuenta con una capa de rodadura en sus condiciones iniciales (ya sea por haber recibido mantenimiento o una nueva capa de rodadura), contará con una superficie más suave que conlleva a que los vehículos reduzcan la emisión de CO₂.

Por todo esto, aún si la vía, ha sido mantenida y no resulta con el comportamiento esperado debido a que, ya de por sí la materia prima

(ligante) que conforma la capa de rodadura, no permite más, la emisión de CO₂ aumenta provocando mayor contaminación.

4.2.1.3 Factor económico.

Un pilar importante en la construcción es el costo de cada uno de los elementos que intervienen en la obra en todas las etapas de la vía, partiendo del diseño de la mezcla hasta su demolición. El enfoque de este proyecto se centra en la etapa de la preparación de mezcla hasta ser movilizada a obra.

Al elaborar un análisis de precio unitario (APU) de la carpeta asfáltica sin ninguna modificación se incluye el equipo, material, mano de obra, materiales y transporte a la obra. La maquinaria por intervenir es equipos menores, planta asfáltica, planta eléctrica, terminadora de asfalto, rodillo vibratorio, rodillo neumático y una cargadora frontal. La cuadrilla para realizar la obra se encuentra un operador que maneje cada uno de los equipos (acabadora, planta asfáltica y cargadora) agregando dos ayudantes extra para las maquinarias restantes y rodillo autopropulsado, a su vez un maestro de obra y diez peones para actividades como tendido de material base y subbase. Se debe considerar los materiales que necesitan para la elaboración de la carpeta asfáltica es asfalto, agregados, diésel y un aditivo de adherencia. Finalmente, se debe

considerar el costo del movilizar el transporte desde Esmeraldas a la planta de producción.

Haciendo una cuantificación de todo lo antes mencionado se determina el valor en m² de la carpeta asfáltica en \$ 5,50.

Pero lo relevante de esta opción es cuantificar a largo plazo del mantenimiento prematuro que debe realizarse si no se define una solución que alargue el tiempo de vida útil. El anexo 1 detalla las labores a ejecutarse en el mantenimiento de la calzada de un pavimento flexible mediante administración directa, el rubro "Bacheo asfáltico menor" resalta con un 22% del monto total (\$131,94 por km), el valor más alto de la lista de actividades a ejecutar que se relaciona con la carpeta asfáltica.

Si se hace el ejercicio de cuantificar cuanto representa este valor en gastos al MTOP, tendríamos un valor de \$592,297.14 sólo por vías de administración directa; específicamente en la provincia del Guayas es el valor de \$ 19,640.59; sin contar los demás rubros.

Al cambiar la modalidad de contratación a mantenimiento por resultados, no se nota un cambio en esta tendencia: la falla por bacheo asfáltico prevalece con un porcentaje mayor del monto total; en este caso, con 25%. Si se repite el cálculo anterior, tendremos que contratos por mantenimiento por resultados representan un total de \$87,917.14, pero en la provincia del Guayas cuenta con este tipo de contratación.

En los dos tipos de contrataciones, el costo es mensual y por km de vía bajo cada modalidad y nos un total de \$680,211.27.

4.2.1.4 Vida útil.

En la actualidad, es conocimiento de la ciudadanía y autoridades, el estado de las vías del país. Si bien es cierto, la construcción de vías ha aumentado en los últimos 10 años, se evidencia la falta de durabilidad de las mismas. Se entiende que puede deberse a algunos factores, entre los principales se encuentra la calidad de la mezcla.

De acuerdo con la información presentada en el capítulo 2 sobre el estado de las vías en el país, se conoce que en su mayoría está conformada por pavimento flexible. Se sabe de antemano, que la principal falla que presenta la capa de rodadura es su poca durabilidad consecuencia de la falta de resistencia a la fatiga. De igual forma que, efectivamente, la calidad del asfalto que se produce a nivel nacional posee una composición poco conveniente para los fines destinados. Es decir, es posible que, logrando una buena mezcla con todos los cuidados del caso, se obtenga una capa de rodadura de buenas condiciones, no obstante, ya es naturaleza del asfalto de refinería que esté compuesta de tal forma que no presente las propiedades idóneas.

Debido a las razones mencionadas con anterioridad, la capa de rodadura de asfalto sin ninguna modificación previa carece de características que favorezcan a la durabilidad y por ende resistan a las fallas comunes del pavimento flexible (fatiga y ahuellamiento).

4.2.1.5 Equipos.

Esta alternativa propone mantener las mezclas de asfalto como siempre se lo ha realizado. Esto implica que, respecto a la disponibilidad de equipos, no existe mayor inconveniente debido a que se cuenta con lo necesario.

Los equipos que intervienen en la producción de las mezclas de asfalto para la capa de rodadura, hasta su transportación, son los siguientes:

- ✓ Tanque de almacenamiento del asfalto que alimenta a la planta.
- ✓ Planta de producción de la mezcla asfáltica, con el número de tolvas que se requiera.
- ✓ Cargadoras de material pétreo.
- ✓ Camiones con capacidad suficiente para transportar el material al sitio.



Figura 4.2. Planta de producción de asfalto convencional en funcionamiento, ubicada en cantera de Durán. Colocación del material pétreo en las tolvas.
Fuente: Contreras, K., Delgado, A., 2017.



Figura 4.3. Planta de producción de asfalto convencional en funcionamiento, ubicada en cantera de Durán.

Fuente: Contreras, K., Delgado, A., 2017.

4.2.1.6 Matriz de ponderación.

Tabla LXXII. Rúbrica de parámetros a considerar en alternativa 1

Matriz de ponderación			
Alternativa	Variable	Porcentaje de importancia	Valor asignado
1	Factor social	10%	10
	Factor ambiental	20%	10
	Factor económico	20%	20
	Vida útil	20%	5
	Equipos	30%	15
Total		100%	60

Fuente: Contreras, K., Delgado, A., 2017.

4.2.2 Propuesta 2:

Mediante los fundamentos presentados, la idea es agregar una fase más al proceso de producción de asfalto: la modificación del ligante con caucho mediante vía húmeda. Esto conlleva a adaptar la planta de asfalto hacia la nueva tecnología propuesta. A su vez, se debe considerar la capacitación al personal operario de los estándares de calidad para este nuevo tipo de mezcla, que hacer en caso de alternados en su textura entre otras acciones. En el caso de los ensayos, es necesario constatar la calidad del mismo, además de realizar pruebas calculado sus propiedades físicas; en este caso en especial, se explicó el mayor aporte es hacia las propiedades reológicas de la mezcla. Por esa razón, de no

poseer los elementos de laboratorio para calcular: módulo ahuellamiento y fatiga, se procede a solicitar -los sondeos a centros especializados. Al ser aplicado por primera vez a gran escala, se contrata un profesional que vele por el cumplimiento de los estándares establecidos.

4.2.2.1 Factor social.

En base a lo dicho anteriormente sobre la carpeta de asfalto sin modificar, la propuesta de que la capa de rodadura este conformada por una mezcla da asfalto modificado con polvo de caucho, conlleva muchos más beneficios que la convencional.

Como se revisó en el capítulo 3, este, muestra un comportamiento mejor y más duradero. Por lo tanto, los niveles de servicio de la vía que viene dado por el resultado final de la capa de rodadura presentan mejores condiciones. Las fallas que se generen no son tan prematuras que el convencional, por lo que, el confort al circular por la calzada permanecerá más tiempo y a su vez reducción de accidentes de tránsito.

4.2.2.2 Factor ambiental.

Ecuador, según CEPAL, produce 1,9 toneladas métricas de CO₂ por habitante. Al nivel mundial, esto repercute un 0,1 % de emisiones. Sin embargo, el MAE busca formas de mitigar esta cantidad aún más a través

de iniciativas en diferentes campos. En la construcción de vías, como se mencionó en el capítulo 4, se está agregando polvo de caucho obtenido de las llantas recicladas en las mezclas asfálticas de la capa de rodadura con el fin de reutilizar un material que mejore el comportamiento de la mezcla. Pero realizando un análisis del impacto de esta medida, no sólo se beneficia las entidades encargadas del mantenimiento de las vías; a su vez esto implica menos uso de asfalto, transporte de material: actividades que tienen una alta emisión de CO₂. Además, una vía en buen estado evita que los automotores mantengan su buena condición; si fuese el caso contrario las fallas hacen decaer el proceso de combustión de la gasolina y la cantidad de gases liberados al ambiente aumentará.

Sin embargo, no se debe descartar la emisión de gases de carbonos liberados en el proceso de combustión al agregar el polvo de caucho. Se debe tomar las medidas necesarias para evitar molestias en la salud de los operarios mediante mascarillas y más herramientas.

4.2.2.3 Factor económico.

El análisis de precio unitario (APU) de la carpeta asfáltica modificación se incluye el equipo, material, mano de obra, materiales y transporte a la obra. La maquinaria por intervenir es equipos menores, planta asfáltica, planta eléctrica, terminadora de asfalto, rodillo vibratorio, rodillo

neumático y una cargadora frontal. La cuadrilla para realizar la obra se encuentra un operador que maneje cada uno de los equipos (acabadora, planta asfáltica y cargadora) agregando dos ayudantes extra para las maquinarias restantes y rodillo autopulsado, a su vez un maestro de obra y diez peones para actividades como tendido de material base y subbase. Se debe considerar los materiales que necesitan para la elaboración de la carpeta asfáltica es asfalto, agregados, diésel y un aditivo de adherencia. Finalmente, se debe considerar el costo del movilizar el transporte desde Esmeraldas a la planta de producción. En realidad, es muy semejante al proceso común, el detalle surge en el costo adicional que se debe agregar al asfalto por su modificación. Se ha determinado que el costo adicional representa un 25 por ciento más del precio normal del asfalto.

Haciendo una cuantificación de todo lo antes mencionado se determina el valor en m² de la carpeta asfáltica modificada con polvo de caucho está en \$ 6,55.

Al ser una nueva tecnología requiere un proceso de transición y más que todo de sociabilización. El anexo 4 realiza el desglose de que actividades adicionales se necesitan para garantizar los resultados esperados.

4.2.2.4 Vida útil.

Como se explicó en el capítulo 4, las bondades que ofrece la modificación son varias, entre ellas alargando el tiempo de vida útil de la mezcla, un mejor comportamiento ante los agentes externos,

4.2.2.5 Equipos.

Esta alternativa propone la modificación del asfalto antes de ser llevada a planta para su mezclado con los agregados. Esto implica que, la planta de producción de mezclas asálticas al no contar con los implementos para la modificación, se tenga que realizar en una empresa que cuente con los equipos necesarios.

En este caso, se sugiere la modificación en una emulsificadora, ya que cuenta con mejores condiciones y espacio para poder ensamblar los elementos necesarios. Para que se pueda realizar la modificación en principio se necesitaría lo siguiente:

- ✓ Camiones con capacidad suficiente para transportar el material al sitio.
- ✓ Silo para el polvo de caucho.
- ✓ Caldero de mezcla modificada.
- ✓ Dispersores para ser agregados al caldero.

✓ Termómetro.



Figura 4.5. Olla de mezclado con instrumentos que permitan lograr la temperatura.

Fuente: Gordillo, C., 2016.



Figura 4.4. Olla de mezclado.

Fuente: Gordillo, C., 2016.



Figura 4.6. Ingreso del polvo de caucho conectado a la olla.

Fuente: Gordillo, C., 2016.

4.2.2.6 Matriz de ponderación.

Tabla LXXIII. Rúbrica de parámetros a considerar en alternativa 2.

Matriz de ponderación			
Alternativa	Variable	Porcentaje de importancia	Valor asignado
2	Factor social	10%	10
	Factor ambiental	20%	20
	Factor económico	20%	20
	Vida útil	20%	20
	Equipos	30%	30
Total		100%	100

Fuente: Contreras, K., Delgado, A., 2017.

4.2.3 Propuesta 3:

Importar los equipos necesarios para la implementación en una planta de producción de asfalto convencional existente, con el fin de convertirla en una donde se pueda modificar el asfalto antes de mezclar con los agregados. Existen dos tipos: continua y discontinua, pero en el medio la más usada es la primera opción, en la cual durante el tiempo de mezclado (30-45 minutos).

4.2.3.1 Factor social.

La adquisición de maquinarias nuevas es oportunidad de mejora en la calidad del producto que se va a elaborar; a vez, implica en capacitar mano de obra existente y nueva para dominar las técnicas del AMCP. Conocimiento que enriquece de gran manera al área de pavimentos en

nuestro país, y la oportuna oportunidad de a poco, introducir conocimientos que permita lograr la mejora de la capa de rodadura. Siendo ideal, que no lograrse una adquisición del exterior, recurrir a la mano de obra del país para ensamblar los elementos que falten en una planta convencional.

4.2.3.2 Factor ambiental

Existe emisión de gases por el proceso de combustión que aportaran con un grado medio de contaminación en el aire. Pero se retribuye con el producto final ya que se reutiliza un residuo en el ambiente y se le asigna un nuevo fin.

4.2.3.3 Factor económico.

Este punto es aquel que tiene gran relevancia, ya que este tipo de maquinaria no existen en nuestro país. Lo idóneo es comprar en el extranjero la planta y realizar el ensamblaje en situ, sin embargo, debido a alzas arancelarias, el costo sería mayor de \$70,000.00. O en de la mejor se puede usar mano local y herramientas del país para adaptar la planta de mejor manera. A su vez, al contar con una planta de AMPC el costo de transporte extra se reduciría y se mantendría un valor de m2 de carpeta asfáltica muy similar a convencional. Se espera recupera la

inversión de adquirir nueva edificación en el lapso de cinco años e inclusive menos.

4.2.3.4 Vida útil.

Los equipos están diseñados para cumplir cierto intervalo de ciclo útil, si se logra mantener el debido mantenimiento de los mismos; la capa de rodadura también. Se considera que una producción masiva y un solo proceso asegura aún más la expectativa de adquirir una mezcla de calidad; igual se debe comprobar mediante ensayos de calidad si el resultado cumple con los estándares conocidos.

4.2.3.5 Equipos.

Una planta se compone de elementos esenciales como una unidad mezcladora móvil y una cisterna móvil de reacción. El primero se utiliza para el mezclado inicial del caucho con el asfalto caliente, y el segundo para agitar y almacenar la mezcla. Se enlista más beneficios, uno de ellos es el dispositivo de detección de nivel de líquido dentro del tanque puede ajustar automáticamente el nivel de líquido. La cisterna de calentamiento de asfalto utiliza un avanzado sistema de encendido automático del quemador diésel, que es capaz de calentar el asfalto a la temperatura deseada de una manera rápida. La cisterna de reacción está equipada con cuatro agitadores de alta

eficiencia, que pueden realizar la circulación forzada y el mezclado del asfalto modificado con caucho, promoviendo la reacción del asfalto y el asfalto modificado de polvo de caucho sin segregación. Adicionalmente, todas las tuberías de asfalto de la planta mezcladora móvil de asfalto modificado con caucho, están equipados con cubierta de calentamiento de aceite para la preservación del calor, lo que reduce en gran medida el consumo de energía

4.2.3.6 Matriz de ponderación.

Tabla LXXIV. Rúbrica de parámetros a considerar en alternativa 3.

Matriz de ponderación			
Alternativa	Variable	Porcentaje de importancia	Valor asignado
3	Factor social	10%	5
	Factor ambiental	20%	10
	Factor económico	20%	20
	Vida útil	20%	20
	Equipos	30%	30
Total		100%	85

Fuente: Contreras, K., Delgado, A., 2017.

4.3 Solución sustentable.

En base a los criterios establecidos permitirán seleccionar la alternativa más idónea a resolver la problemática detallada, se detalla la selección en el a continuación.

En base a la tabla de ponderación elaborada para cada alternativa propuesta se escogió la alternativa 2: modificar el asfalto con cacho. Consiste en agregar un proceso más a la producción normal, llevar el asfalto de refinaria a ser modificado en una emulsificadora y luego ser trasladado a la planta de producción y finalmente transportarlo a obra.

4.4 Costo-beneficio.

Lo que muestra la tabla 4.5, es un ejemplo de costos de ciclo de vida útil de un pavimento de MAMPC y el ahorro que representa por m².

Tabla LXXV. Ejemplo de una tabla típica de resultados de costo de ciclo de vida usando caucho-asfalto.

ESCENARIO	VALOR DEL COSTO (\$/m ²)					AHORRO CON CAUCHO ASFALTO (\$/m ²)
	Rehabilitación	Mantenimiento	Ahorro	Retraso	Total	
Preservación – Sello granular						
Convencional	19.45	1.71	1.15	2.73	22.74	4.91
Caucho - Asfalto	16.39	1.69	2.30	2.05	17.83	
Preservación – cubierta delgada de (Hot Mix Asphalt)						
Convencional	22.02	1.75	0.75	2.87	25.89	6.20
Caucho - Asfalto	18.06	1.66	2.15	2.14	19.71	
Cubierta Estructural						
Convencional	24.10	1.66	1.90	2.40	26.27	8.78
Caucho - Asfalto	14.20	1.78	0.60	2.13	17.51	

Fuente: Botero, J., Valentín, M., suarez, O., Santos, J., Acosta, F., Cáceres, A., Pamdo, M., 2005.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Como resultado de la presente investigación se establece que la adición del caucho proveniente de las llantas recicladas constituye una interesante alternativa para mejorar las capas de rodadura flexibles. La solución que se plantea implica una inversión inicial, un tanto mayor que la que se tiene en la producción convencional de asfalto siendo esta una restricción. Debido a que se trata de una técnica poco conocida, su aplicación genera dudas en los constructores por lo que es importante que se divulguen las ventajas del procedimiento propuesto.

Las propiedades físicas no son incidentes en el comportamiento del pavimento, ya que las propiedades resultan similares ya sea un asfalto convencional o modificado. Por lo que se hace necesario revisar los resultados de las propiedades reológicas de la mezcla. En otros países, se dice que el caucho es un buen componente que ha ayudado a mejorar, más que todo, los problemas de ahuellamiento y fatiga. Este último es el mayor problema que manifiestan las calzadas de las vías de pavimento flexible en el Ecuador.

Al no cumplir con el periodo de diseño, se nota que la capa de rodadura carece de la resistencia necesaria para soportar el tráfico para el cual fue diseñado, por lo que se ve necesario mejorar la calidad de la mezcla en los criterios de fatiga sin llegar a afectar el módulo de rigidez.

De acuerdo con la revisión de la literatura y experiencia en el país. Se considera que el proceso por vía húmeda da mejores resultados en cuanto a interacción de la mezcla se trata. Se debe a que el ligante asfáltico llega a compenetrarse de mejor forma con el caucho, a cierta temperatura y un tiempo de digestión determinado.

Evidentemente, aumentar un proceso a la producción de la mezcla de asfalto convencional, se convierte un alza de los costos a los que se está acostumbrado. En primer lugar, se encuentra el costo de obtención del polvo de caucho. Segundo, la modificación del asfalto previo a la producción de la mezcla asfáltica implica otro costo, al igual que la transportación a la planta. Con lo antes mencionado se presentan 3 costos adicionales, que podrían llevar a no considerar la producción de asfalto modificado a escala real. Sin embargo, el beneficio a largo plazo podría convertirse en un punto a favor, que llevaría a considerarlo como factible.

Se ha demostrado que las capas de rodadura que incluyen polvo de caucho tienen un mejor comportamiento debido a que los agregados se unen de mejor forma.

Al mejorar la resistencia a la fatiga y ahuellamiento, reduce la necesidad de intervención en la vía a lo largo de su periodo de vida útil. Esto significa un ahorro en costos de materiales nuevos, colocación, transporte y todo lo que

implica la conservación vial. Por lo tanto, la inversión inicial se ve compensada por el ahorro a largo plazo en el mantenimiento de la misma.

El caucho al ser reciclado se convierte en un impacto ambiental positivo. El aprovechamiento del caucho proveniente de las llantas en desuso permite que con más razón existan motivos para implementar la modificación del ligante. Las cantidades de caucho existente son suficientes para poder cubrir con la demanda

La disminución en el mantenimiento es un aporte a la reducción del CO₂. Al no tener que ocupar el material que se necesita para mantener o rehabilitar la vía, la eliminación de un proceso que se podría realizar con frecuencia según se requiera, la contaminación se ve reducida.

Los ensayos que se llevan a cabo para control de calidad de las mezclas es el mismo, ya sea para MAC o MAMPC. Respecto al ligante asfáltico, aquel que es modificado con polvo de caucho, no se controla el parámetro de ductilidad, pero si la recuperación o restitución elástica. Este último, la muestra se coloca como la de ductilidad, en el mismo equipo, pero su procedimiento es distinto.

En base a la prueba piloto que llevó a cabo el MTOP, se encontró que el tamaño del caucho apropiado para cumplir con los requerimientos es aquel que, cuya granulometría, corresponde al pasante del tamiz N°30 y retenido en el tamiz 40°. Además, que el porcentaje de caucho óptimo para las condiciones específicas es de 7.5% del peso de la mezcla.

Por lo pronto las evidencias que existe del comportamiento de la mezcla asfalto modificado con caucho en el país, no muestran el beneficio que en teoría brinda el material. No obstante, lo que existe como ejemplo de la aplicación de esta tendencia, no es suficiente para llegar a conclusiones apresuradas, en las que se puede llegar a creer que definitivamente no es útil.

El mantenimiento de las vías es fundamental para la conservación de las mismas. Un mantenimiento adecuado genera buenos resultados en las mismas y aporta a la reducción del CO₂.

Mediante la investigación realizada se estable un incremento de costo por m² asfaltado, sin embargo, esta solución debe ser considerada debido a la capa de rodadura tiene una mayor durabilidad con lo que se compensa el costo de inversión.

RECOMENDACIONES

Es importante incentivar la investigación en el tema, con el fin de promover nuevas tecnologías que mejoren el desempeño del pavimento en el país. Se hace necesario que se siga inmiscuyendo cada vez más en nuevos descubrimientos que sirvan de apoyo ante la problemática de la composición química del asfalto. De esta forma se puede lograr convertir carreteras en mal estado, en unas con un costo-beneficio mayor a largo plazo, que representaría ahorro de materiales, dinero y tiempo.

La consideración de producción de más de un tipo de asfalto que pueda cumplir con las características requeridas para cada condición climática y así poder identificar las falencias que cada uno tiene, por lo que se puede realizar un análisis personalizado en el cual se halle soluciones distintas acopladas a las condiciones actuales.

La aplicación del asfalto que tiene como componente el caucho reciclado debe realizarse en vía húmeda.

Es necesario ampliar las investigaciones en las que se debe incluir la valoración real del comportamiento de la mezcla que se propone.

Se considera interesante realizar investigaciones que utilicen el caucho natural ya que tiene las características de ser un componente más puro que permita mejorar el comportamiento de las capas de rodadura.

Si bien se ha establecido que los procedimientos que se realizan vía húmeda son los más convenientes, no se debe descartar el proceso de modificación por vía seca.

ANEXOS

Anexo A: Desglose de mantenimiento de la capa de rodadura de pavimento flexible por administración directa.

RUBROS	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD ESTIMADA/KM-MES-CARRIL	COSTO/KM-MES-CARRIL
Bacheo asfáltico menor	m ³	167,44	0,79	131,94
Sellado de fisuras superficiales	MI	0,50	9,00	4,50
Bacheo asfáltico y encauzamientos a mano	m ³	181,92	0,02	4,08
Limpieza de cunetas y encauzamientos a mano	m ³	6,97	10,00	69,70
Limpieza de alcantarillas	m ³	14,42	2,09	30,08
Inspección de puentes	U	74,99	0,01	0,70
Roza a mano	Ha	1644,19	0,04	59,53
Mantenimiento de señales verticales	U	59,90	0,0	4,48
Mantenimiento de señales horizontales (Pintura)	MI	0,37	83,16	30,77
Mantenimiento y reparación de guardavías	M	29,63	0,11	3,33
Reparación de cuentas (f'c= 175 kg/cm ²)	m ³	106,23	0,20	21,07
Limpieza de derrumbes a mano	m ³	3,87	12,8	48,70

Adquisición de delineadores retroreflectivos (Tachas)	U	1,70	20,00	34,00
Adquisición adhesivo bituminoso	Caja	27,00	0,01	0,26
Adquisición delineadores viales (Balizas)	Caja	8,41	4,00	33, 64
Adquisición chevrones verticales	U	335,12	0,25	83,78
Adquisición guardavías	M	78,00	0,40	35,10
Adquisición pintura acrílica	Gl	26,00	0,17	4,33
Total				600,00

ANEXO B: Desglose de mantenimiento de la capa de rodadura de pavimento flexible por administración por resultados.

RUBROS	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD ESTIMADA/K M-MES-CARRIL	COSTO/KM-MES-CARRIL
Sellado de fisuras superficiales	MI	0,50	6,00	4,50
Bacheo asfáltico menor	m ³	155,46	0,78	121,26
Transporte de mezcla asfáltica para bacheo	m ³ /Km	0,42	3,24	1,36
Asfalto diluido tipo RC, para riego de adherencia	L	0,50	0,67	0,34
Poster indicador de kilometraje (1Km)	U	70,09	0,01	0,39
Poster indicador de kilometraje (10Km)	U	140,19	0,01	0,78
Guardacaminos doble	M	79,38	0,22	17,73
Marcas de pavimento hormigón asfáltico (acrílico base agua Ancho=15cm, e=250 micras). Incluye microesferas	M	0,68	170,30	115,80
Marcas sobresalidas de pavimentos (tachas unidireccionales)	U	3,32	2,35	7,79
Marcas sobresalidas de pavimentos (tachas bidireccionales)	U	3,81	1,12	4,25
Señales al lado de la carretera (0,60x0,75) m. regulatorias	U	180,25	0,02	4,03
Señales al lado de la carretera (0,75x0,90) m. chevrones dobles	U	253,29	0,07	16,97
Señales al lado de la carretera (0,75x0,75) m tipo IV preventiva	U	248,14	0,03	8,31

Delineadores de vía PVC 3" con tapa material reflectiva (1 franja roja 15 cm) u	U	29,63	0-,11	3,33
Señales al lado de la carretera (1.30x2.00) m.	U	106,23	0,20	21,07
Marcas de pavimento de aproximación en hormigón asfáltico (acrílico base agua, e= 250 micras). Incluye microesferas	m ²	3,87	12,8	48,70
Señalización vertical, a lado de la carretera 75x75) cm. (Regulatoria ASTM D4956 grado 4 o similar)	U	1,70	20,00	34,00
Señalización vertical, a lado de la carretera (120x150) cm. ASTM D4956	U	27,00	0,01	0,26
Señales al lado de la carretera (Informativa 1,22 x 2,40) ASTM D4956	U	6.59	10,00	65.90
Limpieza de alcantarillas	m ³	4.68	0,73	3.40
Roza a mano	Ha	0.33	72.59	23,95
Total				650,00


ANEXO C: ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
FICT
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 EN CIENCIAS DE LA TIERRA

NOMBRE DE PROYECTO:	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO BASADO EN EL CICLO DE VIDA ÚTIL DE MEZCLAS DE ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO EN LA CAPA DE RODADURA				
NOMBRE DE OFERENTE:	KAREN GIANELLA CONTRERAS CHÓEZ ANGIE LISSETTE DELGADO FERNÁNDEZ				
CODIGO RUBRO:			UNIDAD:	m2	
RUBRO:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm. de espesor		REND. (U/H):	310	
			K (H/U):	0,003	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Equipos menores			0,180	0,05	0,009
Planta asfáltica	1,00	125,17	125,17	0,0032	0,404
Planta eléctrica	1,00	26,67	26,67	0,0032	0,086
Terminadora de asfalto	1,00	81,15	81,15	0,0032	0,262
Rodillo vibratorio	1,00	26,60	26,60	0,0032	0,086
Rodillo neumático	1,00	32,60	32,60	0,0032	0,105
Cargadora frontal	1,00	23,08	23,08	0,0032	0,074
SUBTOTAL (M)					1,017
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Acabadora Pava. Asfáltico	1,00	3,19	3,19	0,0032	0,010
Planta asfáltica	1,00	3,27	3,27	0,0032	0,011
Cargadora frontal	1,00	3,27	3,27	0,0032	0,011
Rodillo autopropulsado	2,00	3,19	6,38	0,0032	0,021
Ayudante maquinaria	2,00	3,11	6,22	0,0032	0,020
Maestro de obra	1,00	3,19	3,19	0,0032	0,010
Peón	10,00	3,03	30,30	0,0032	0,098
SUBTOTAL (N)					0,180
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Asfalto + modificación	Lts	7,20	0,360	2,592	
Material para carpeta	m3	0,07	8,000	0,560	
Diesel	Lts	1,50	0,245	0,368	
Aditivo de adherencia	Lts	0,07	4,675	0,318	
SUBTOTAL (O)					3,837
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
Transporte (Esmeraldas)	Lts	670,20	0,0001	7,20	0,0007
SUBTOTAL (P)					
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					5,034
% COSTO INDIRECTO					1,108
OTROS COSTOS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					6,142
VALOR OFERTADO:					6,500

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA


**ANEXO D: ANALISIS DE PRECIOS
UNITARIOS**
FICT
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 EN CIENCIAS DE LA TIERRA

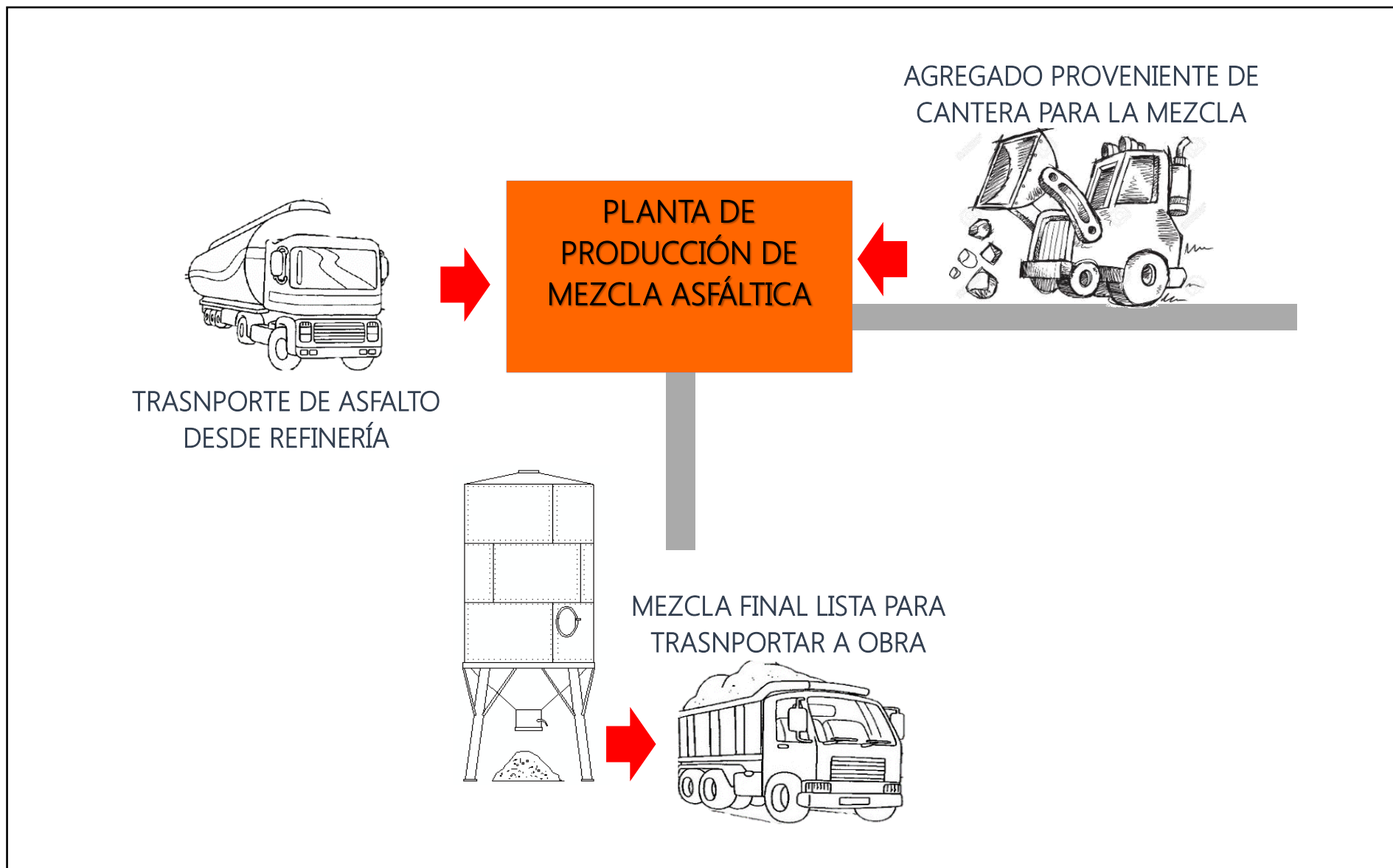
NOMBRE DE PROYECTO:	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO BASADO EN EL CICLO DE VIDA ÚTIL DE MEZCLAS DE ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO EN LA CAPA DE RODADURA				
NOMBRE DE OFERENTE:	KAREN GIANELLA CONTRERAS CHÓEZ ANGIE LISSETTE DELGADO FERNÁNDEZ				
CODIGO RUBRO:		UNIDAD:	m2		
RUBRO:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de 5 cm. de espesor	REND. (U/H):	310		
		K (H/U):	0,003		
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Equipos menores			0,180	0,05	0,009
Planta asfáltica	1,00	125,17	125,17	0,0032	0,404
Planta eléctrica	1,00	26,67	26,67	0,0032	0,086
Terminadora de asfalto	1,00	81,15	81,15	0,0032	0,262
Rodillo vibratorio	1,00	26,60	26,60	0,0032	0,086
Rodillo neumático	1,00	32,60	32,60	0,0032	0,105
Cargadora frontal	1,00	23,08	23,08	0,0032	0,074
SUBTOTAL (M)					1,017
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Acabadora Pav. Asfáltico	1,00	3,19	3,19	0,0032	0,010
Planta asfáltica	1,00	3,27	3,27	0,0032	0,011
Cargadora frontal	1,00	3,27	3,27	0,0032	0,011
Rodillo autopropulsado	2,00	3,19	6,38	0,0032	0,021
Ayudante maquinaria	2,00	3,11	6,22	0,0032	0,020
Maestro de obra	1,00	3,19	3,19	0,0032	0,010
Peón	10,00	3,03	30,30	0,0032	0,098
SUBTOTAL (N)					0,180
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Asfalto + modificación	Lts	7,20	0,288	2,074	
Material para carpeta	m3	0,07	8,000	0,560	
Diesel	Lts	1,50	0,245	0,368	
Aditivo de adherencia	Lts	0,07	4,675	0,318	
SUBTOTAL (O)					3,319
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
Transporte (Esmeraldas)	Lts	670,20	0,0001	7,20	0,0007
SUBTOTAL (P)					
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					4,516
% COSTO INDIRECTO					0,994
OTROS COSTOS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					5,510
VALOR OFERTADO:					5,550

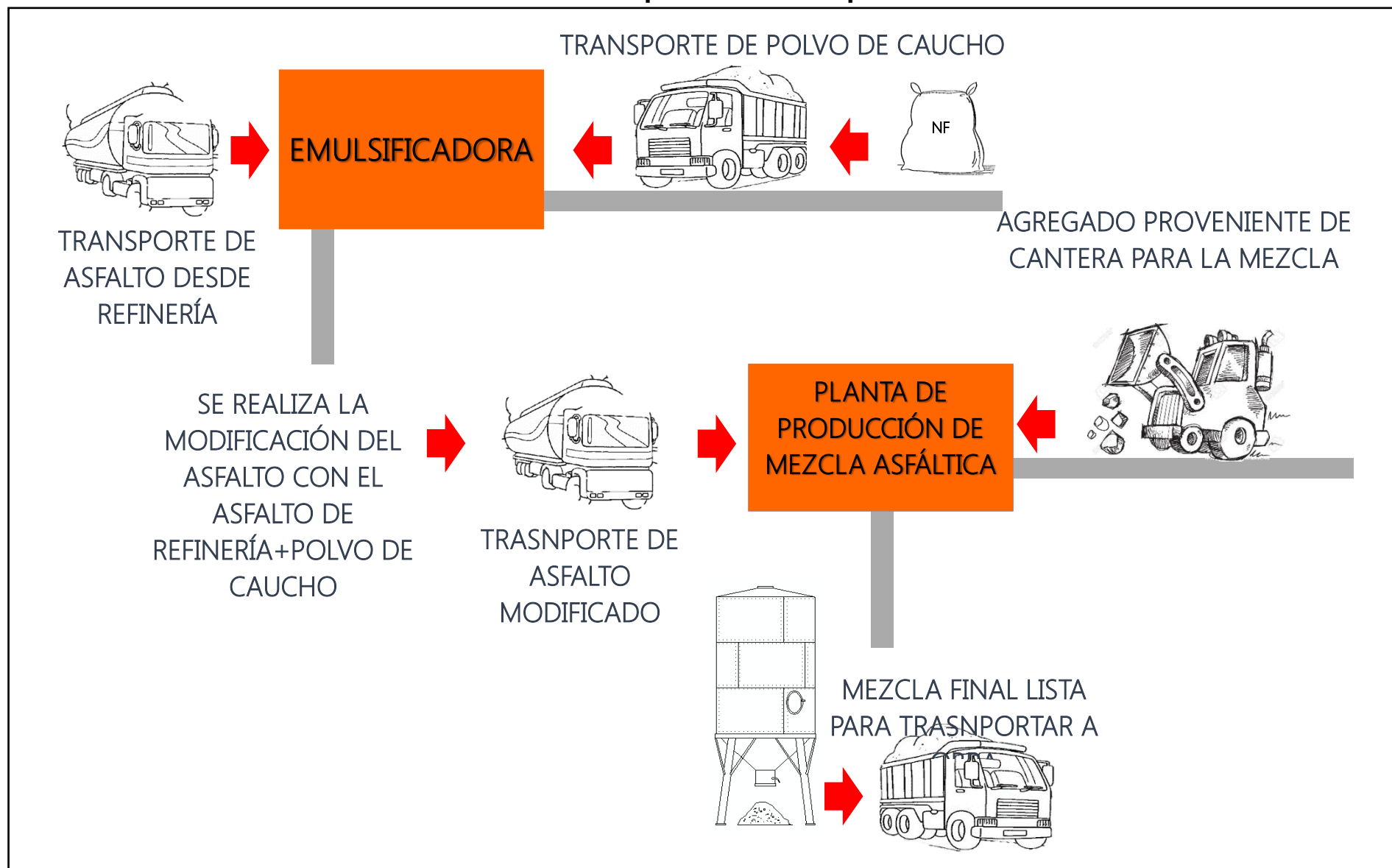
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA

ANEXO E: Desglose de mantenimiento de la capa de rodadura de pavimento flexible por administración por resultados.

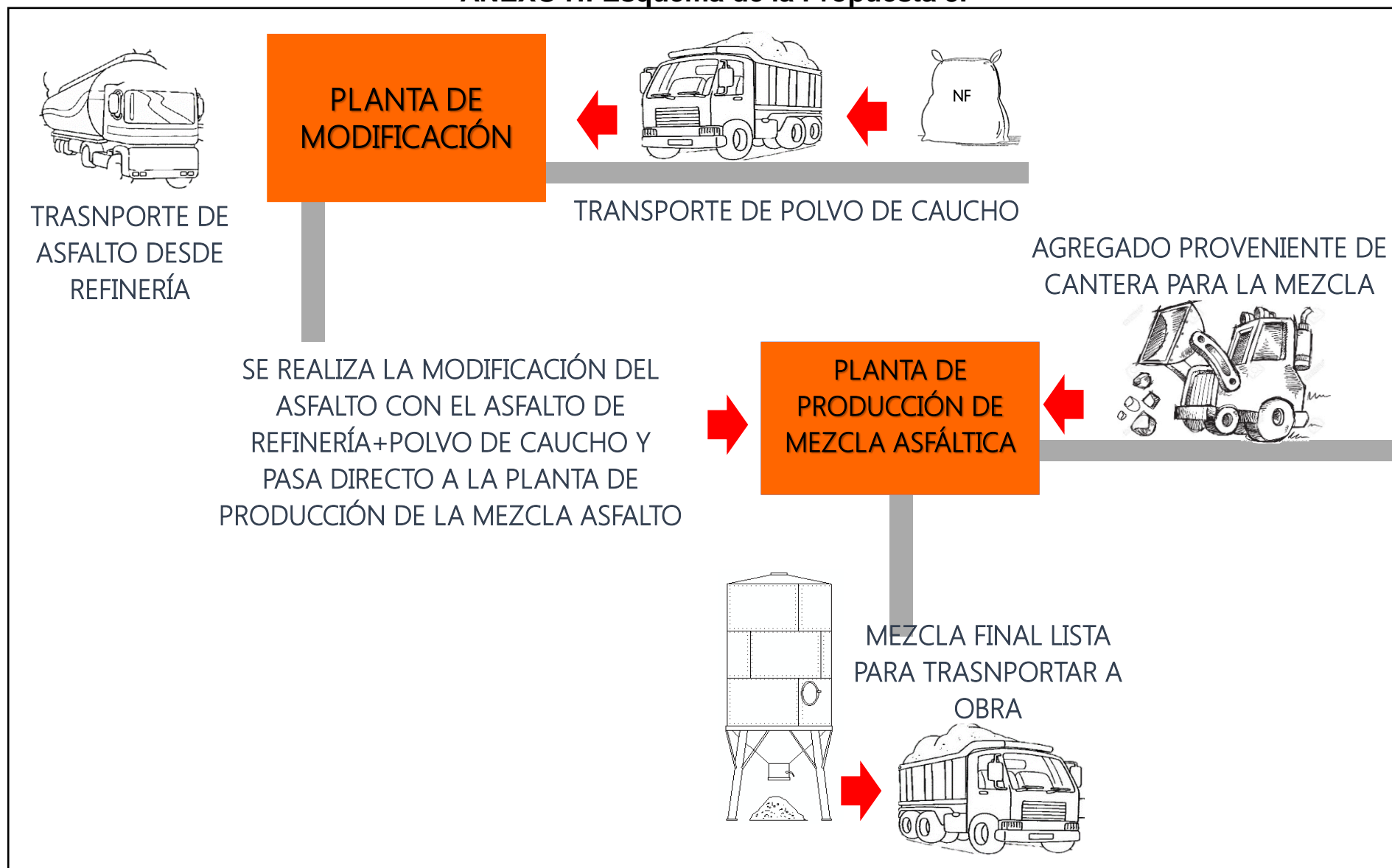
ANEXO 5: Presupuesto.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	TOTAL (SIN IVA)
CONTRATACION DE INGENIERO CIVIL - ADMINISTRADOR DEL PROYECTO	\$/MES	\$ 2.000,00	12	\$ 24.000,00
VALOR DE 1 TANQUERO MODIFICADO PUESTO EN PLANTA ASFÁLTICA DE CONTRATISTA: INCLUYE -100 KG DE CAUCHO -ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE LIGANTE CONFORME A ESPECIFICACIÓN VIGENTE -TRANSPORTE DE PLANTA MODIFICADORA A PLANTA CONTRATISTA	\$/TANQUERO	\$ 3.750,00	13	\$ 48.750,00
VALOR A CANCELAR POR ENSAYOS DE DESEMPEÑO CORRESPONDIENTE A 1 JUEGO DE BRIQUETAS CON UN SOLO PORCENTAJE DE DOSIFICACION DE CAUCHO (7,5%). CADA JUEGO DE BRIQUETAS ES ENSAYADO DE LA SIGUIENTE FORMA: 3 ENSAYOS DE MODULO, 3 ENSAYOS DE CREEP Y 5 ENSAYOS DE FATIGA	GLOBAL	\$ 5.040,00	1	\$ 5.040,00
TALLER DE SOCIALIZACION DEL PROYECTO EN QUITO, INCLUYE GASTOS RELACIONADOS A REFRIGERIOS Y LOGISTICA	GLOBAL	\$ 1.000,00	1	\$ 1.000,00
TALLER DE SOCIALIZACION DEL PROYECTO EN GUAYAQUIL, INCLUYE GASTOS RELACIONADOS A REFRIGERIOS Y LOGISTICA	GLOBAL	\$ 1.000,00	1	\$ 1.000,00
				\$ 79.790,00

ANEXO F: Esquema de la Propuesta 1

ANEXO G: Esquema de la Propuesta 2

ANEXO H: Esquema de la Propuesta 3.



BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Nacional del Ecuador. (2016). *Asamblea Nacional: República del Ecuador*. Obtenido de

<http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/private/asambleanacional/filesasambleanacionalnameuid-29/Leyes%202013-2017/261-infraestructura-vial-rcalderon-19-07-2016/pp-sist-infraest-vial-transporte-19-07-2016.pdf>

Auker, C. (2015). Arizona Department of Transportation. *Asphalt Rubber, The Arizona Experience*.

Banco del Estado. (2013). *Macro Programa "Construyendo caminos"*.

Obtenido de Banco de Desarrollo del Ecuador:
<http://www.bde.fin.ec/sites/default/files/u137/BDE/PDF/2015/03Marzo/ConstruyendoCaminosDiseno.pdf>

Bandini, P. (2011). Rubberized Asphalt Concrete Pavements in New Mexico. En *Feasibility of Asphalt Rubber Market in New Mexico* (págs. 44-46).

Botero, J., Valentín, M., Suárez, O., Santos, J., Acosta, F., Cáceres, A., & Pando, M. (2005). Goma triturada: estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en Puerto Rico. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Vial*, 5(1), 69-86.

California Department of Transportation. (2003). Asphalt Rubber Usage Guide. En *Introduction and Overview* (págs. 1-7). Sacramento, California.

Carlson, D. (2002). *Rehabilitation of Portland Cement Concrete Pavements with Thin Asphalt-Rubber Open Graded Friction Course Overlays in Arizona*.

Construyendo desde el sur. (2008). Obtenido de http://ingenieriaenconstruccion-ua.blogspot.com/2008_09_01_archive.html

Cheng, D., Hicks, R., & Way, G. (2012). Using Statistical Analysis to compare Life Cycle Cost of Rubberized Hot Mix Asphalt with Conventional Hot Mix. *Asphalt Rubber Conference 2012*, (págs. 4-5). Munich.

Disposición sobre calidad de mezclas asfálticas permitiéndose la incorporación de aditivos. (2013). *Despacho Ministerial Memorando Nro. MTOP-DM-2013-1337-ME*. Quito.

Epps, J., & Hicks, R. (2000). Life cycle costs for asphalt-rubber paving materials. *WORLD OF ASPHALT PAVEMENTS, INTERNATIONAL CONFERENCE, 1ST*, (págs. 5-12). SYDNEY.

Fonseca, A. M. (2002). *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y publicaciones.

Fonseca, A. M. (2008). *Ingeniería de Pavimentos: Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia Ediciones y publicaciones.

Gordillo, C. (2015). Experiencias en Ecuador de prueba piloto de mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho en desuso. *EXPO INDUSTRIA DE RECICLAJE DE NEUMÁTICOS*, (págs. 14-15). Quito.

Gordillo, C. (23 de Enero de 2017). Gerente Institucional MTOP. *Pruebas pilotos de aplicación de mezclas de asfalto modificado con caucho en Ecuador*. (A. D., & K. C., Entrevistadores)

Gordillo, C., Carvajal, P., Fonseca, C., & Villalobos, R. (2015). Experiencias en Ecuador de Prueba Piloto de Mezclas Asfálticas Modificadas con Polvo de Caucho Reciclado. *XVIII CONGRESO Ibero Latinoamericano del Asfalto 2015*, (págs. 5-14). Bariloche, Argentina.

Greene , J., Chun, S., Nash, T., & Choubane, B. (2014). *Evaluation and Implementation of PG 76-22 Asphalt Rubber Binder in Florida*. Florida Department of Transportation, State Materials Office.

Grgich, J., & Quagliata, E. (2007). Análisis estadístico de resultados de ensayo de pavimento asfáltico. *11 avo. Congreso de Control de Calidad en la Construcción* , (pág. 7). Quito.

Hicks, R. (2002). Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines. En R. Hicks, *Volume I - Design Guidelines* (pág. 23).

Hicks, R., Lundy, J., Leahy, R., Hanson, D., & Epps, J. (1995). CRUMB RUBBER MODIFIERS (CRM) IN ASPHALT PAVEMENTS: Summary of

Practices in Arizona, California, and Florida. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Huang, Y. H. (2004). *Pavement: Analysis and design*. United States of America: Pearson Education Hall.

INEN. (1983). *NTE INEN 0917 (1983) (Spanish): Materiales bituminosos. Determinación de la penetración*. Quito: INEN.

INEN. (1984). *NTE INEN 0920 (1984) (Spanish): Materiales bituminosos. Determinación del punto dereblandecimiento (Método de anillo y bola)*. Quito: INEN.

INEN. (1994). *NTE INEN 1981 (1994) (Spanish): Productos derivados del petróleo. Determinación de la viscosidad Saybolt*. Quito: INEN.

INEN. (2010). *Productos derivados del petróleo. Cemento asfálticos. (Clasificación por viscosidad). Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.

INEN. (2011). *NTE INEN 0696 (2011) (Spanish): Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito: INEN.

INEN. (2014). *NTE INEN 2515 Enmienda 1: Productos derivados del petróleo, cemento asfáltico (clasificación por viscosidad) Requisitos*. Quito.

Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón. (2010). Diseño de Pavimentos (AASHTO - 93) Y DIPAV - 2. En *Materiales para pavimentos* (págs. 94-99). La Paz: IBCH.

Instituto Desarrollo Urbano, A. M. (2011). En *Especificación Técnica: Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfaltos Modificados con Caucho por Vía Húmeda 560-11* (págs. 1-10). Bogotá.

Instituto Nacional Ecuatoriano de Norma. (1984). *NTE INEN 0924 (1984) (Spanish): Materiales bituminosos. Determinación de la pérdida de la masa por calentamiento*. Quito: INEN.

Kok, B. V., & Colak, H. (2011). Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt. *Construction and Building Materials, 25*, 3204-3212.

Leet, S.-J., Amirkhanian, S. N., Putman, B. J., & Kim, K. W. (Diciembre de 2007). Laboratory Study of the Effects of Compaction on the Volumetric and Rutting Properties of CRM Asphalt Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering, 1079-1089*.

Lucas, F. J. (s.f.). *MBC Fabricadas con Betunes Caucho Procedenres de NFU's. Empleo en rehabilitación de firmes en carreteras*.

Mapa vial de la provincia del Guayas. (2011). Obtenido de <http://www.zonu.com/fullsize2/2011-11-03-14793/Mapa-de-carreteras-del-Guayas.html>

Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Com, p. (Marzo de 2013). *Informe de Redición de Cuentas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2013*. Quito. Obtenido de <http://www.produccion.gob.ec/wp->

content/uploads/2014/03/MTOP-INFORME-PRELIMINAR-DE-RENDICION-DE-CUENTAS-.pdf

Ministerio de Ambiente. (2015). *Programa nacional para la gestión integral de desechos sólidos*. Quito: Ministerio de Ambiente.

Ministerio de Obras Pública y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes*. Quito: MOP.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas . (2013). Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12). En *Volumen N°6 Conservación Vial* (págs. 328-339). Quito.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2012). *Instructivo para llenado del formulario de eventos*. Quito: MTOP.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial (NEVI 12). En *Volumen N°3 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. (págs. 413-418). Quito.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12). En *Volumen N°1: Procedimientos para Proyectos Viales* (págs. 18-22). Quito.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (13 de 12 de 2016). *Reporte del Estado de la Red Vial Estatal (RVE)*. Quito: MTOP. Obtenido de http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/12/13-12-2016_Mapa_RVE_cuadro.pdf

Ministerio de Turismo del Ecuador. (2013). *PROYECTO “IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE SEÑALIZACIÓN TURÍSTICA”*. Quito: Ministerio de Turismo.

Ministro Obras Públicas y Comunicaciones. (Abril de 2001). *Acuerdo 001 del 12 Enero del 2001*. Quito: MOP. Obtenido de http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/lotaip2015_Acuerdo-Ministerial-001-version-clasificaci%C3%B3n-de-V%C3%ADas.pdf

Molina, R. C., Jovel, I. S., & Linares, P. T. (2012). *Aplicación del Método Marshall y Granulometría Superpave en el Diseño de Mezclas Asfálticas en caliente con Asfalto Clasificación Grado de Desempeño*. Ciudad Universitaria: Universidad de El Salvador.

Múnera , J., & Ossa, E. (Marzo de 2014). Estudio de mezclas binarias Asfalto - Polímero. *Revista Facultad de Ingeniería: Universidad de Antioquia*, 18-33.

Nodgren, T., & Preinfalk, L. (2009). Asphalt Rubber - a new concept for asphalt pavements in Sweden. *Asphalt Rubber 2009 Conference, Road to Sustainability*, (págs. 639-642). Nanjing, China.

Orencio Marrón, J., García Carretero, J., Rubio, B., & Jiménez, R. (2016). *Comparación del envejecimiento de una mezcla bituminosa fabricada con betunes modificado, con polímero y con caucho de NFU*. México: ITAFEC.

Pacheco, J. (2016). *DocSlide*. Obtenido de <http://myslide.es/documents/salida-de-campo-caminos-2.html>

Padilla Rodriguez, J. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Cataluña: Universidad de Cataluña.

Potti, J. (Noviembre de 2016). Presidente ejecutivo de ASEFMA. *Tecnologías de mezclas bituminosas sustentables para pavimentación vial*. Universidad de la Frontera.

Quintana, H. R. (2011). Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (Gcr): Estado del conocimiento y análisis de la utilización en Colombia. *VI Jornadas de Pavimentos y Mantenimiento Vial*, (págs. 3-12). Bogotá.

Ramírez, A., Ingryd, L., & Juan Pablo, R. (2014). *DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ASFALTO CAUCHO TECNOTECNOLOGÍA GAP GRADED PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

REPSOL. (2015). Obtenido de Control de calidad: https://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/control_calidad/

Rodriguez Wulf, F. A. (2008). *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Rojas, R. V. (2008). *El asfalto natural como material de construcción de carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Rosero, F. (2015). Aspecto técnico económico, pavimentos con mezclas asfálticas convencionales vs. pavimentos con mezclas asfálticas modificadas con caucho. Ecuador: Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO).

Shen, J., Amirkhanian, S., & Lee, S.-J. (1 de Junio de 2007). HP-GPC Characterization of Rejuvenated Aged CRM Binders. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(6), 515-522.

Sobero, C. (Enero de 2016). *ASFALTO*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/CARLOSALBERTOSOBEROA/asfalto-57030981>

Tecnológico de Monterrey. (s.f.). *Cementos Asfálticos Emeraldas, su Caracterización y Viabilidad de ser Modificados con Polímeros Tipo Estireno-Butadieno-Estireno*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

The Constructor: Civil Engineering Home. (2012). *The Constructor: Civil Engineering Home*. Obtenido de <http://theconstructor.org/transportation/types-of-pavement-flexible-and-rigid-pavement/9570/>

Vasquez, L. (2015). *Perfil Propiedades. Método Marshall para el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente*. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Civil.

Way, G. (2003). The Rubber Pavements Association, Technical Advisory Board Leading the Way in Asphalt Rubber Research. *Asphalt Rubber 2003 Conference*, (págs. 17-33). Brasilia, Brasil.

Xiao, F., Amirkhanian, S., Shen, J., & Putmn, B. (2009). Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures. *Construction and Building Materials*, 23, 1028-1034.