



Universidad de Morelos

Facultad de Ingeniería y Tecnología

---

# REUTILIZAR NEUMÁTICO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA REPARAR BACHES EN ZONAS URBANAS

---

Proyecto de Investigación

Ingeniería Industrial y de Sistema

Por:

**Lisset Cruz Martínez**

Asesor Académico

**Ing. Melquiades Sosa Herrera**

**15 ABRIL 2016**

# INDICE

## Tabla de contenido

<b>Escribir el título del capítulo (nivel 1)</b> .....	<b>1</b>
Escribir el título del capítulo (nivel 2) .....	2
Escribir el título del capítulo (nivel 3) .....	3
<b>Escribir el título del capítulo (nivel 1)</b> .....	<b>4</b>
Escribir el título del capítulo (nivel 2) .....	5
Escribir el título del capítulo (nivel 3) .....	6

# Reutilizar neumático en mezclas de asfalto para reparar baches en zonas urbanas

Lisset Cruz, Martínez  
Facultad de Ingeniería y Tecnología  
Universidad de Morelos  
Montemorelos, N.L.  
e-mail: mce.lissetcruz@um.edu.mx

Melquiades Sosa Herrera  
Facultad de Ingeniería y Tecnología  
Universidad de Morelos  
Montemorelos, N.L.  
e-mail: melsosa@um.edu.mx

**Abstract**— En los últimos años, la generación de llantas en desuso, ha sido un riesgo al medio ambiente, y proliferación de enfermedades. Una posible solución es reutilizar el neumático molido en la construcción y conservación de carreteras. Existen numerosos estudios que garantizan que el uso de neumático en polvo sobre las mezclas asfálticas en caliente, mejoran sus propiedades mecánicas. En México, este tipo de investigación, ha sido hasta el momento muy condicionado o invalidado. Esta investigación experimenta la incorporación de neumático triturado, el control de la temperatura y el análisis del proceso mediante el método Marshall. Las muestras fueron diseñadas en el laboratorio de Ingeniería Industrial, en base al criterio lógico del comportamiento mecánico, sobre las “Mezclas Asfálticas en Caliente” haciendo uso del neumático como materia prima, al incorporarlo sobre la mezcla con un porcentaje del 20%, 15% y 10%. Para un nivel medio de tránsito.

Los resultados obtenidos destacan que las mezclas asfálticas en caliente a una temperatura de 170 °C permiten una mejor adherencia sobre los agregados y mayor consistencia con un porcentaje de 10% de neumático molido.

**Keywords**— *Bacheo, Mezcla Asfáltica, Método Marshall, Neumático molido.*

## 1 INTRODUCCIÓN

### A. Antecedentes

En los últimos años, ha tomado protagonismo en la sociedad que vivimos el deterioro que está sufriendo el medio ambiente, debido al crecimiento de la industria. En la actualidad se cuenta con equipos de medición de alta tecnología que permiten evaluar los niveles de contaminación, y analizar el ritmo con que se están disminuyendo los recursos naturales no renovables; dicho resultado nos permite concientizarnos enormemente en la ecológica de la población a nivel mundial. Con el interés de contribuir al cuidado del medio ambiente se han impulsado medidas de aprovechamiento y reutilización del caucho triturado sobre las mezclas asfálticas. Donde han sido empleadas desde principios del siglo, en las capas superiores de los caminos, lo

que permite realizar reparaciones de bacheo por su composición química; su función principal es proporcionar una superficie cómoda y segura para el tránsito de los vehículos. Las mezclas están constituidas fundamentalmente de materiales pétreos asfálticos y minerales. Los agregados, que llamamos de materiales pétreos, juegan un papel esencial en la mezcla, ya que son los principales responsables de la capacidad de soportar las cargas en un pavimento. El comportamiento de la mezcla es mejor representado cuando se visualiza con agregado de neumático.

### B. Problema

Gran cantidad de caucho se ha deshechado causando un nivel elevado de contaminación al medio ambiente. En México se calcula un consumo anual promedio de 33 millones 700 mil neumáticos, cifras que marca la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Esto se agrava más a la escasa industria del reúso y reciclado de caucho, así como pocos productos en los cuales se utilice como materia prima el caucho reciclado [1].

Sin embargo la acumulación de llantas representa un riesgo sanitario y ecológico, puesto que los neumáticos son un medio ideal para el desarrollo de diversos tipos de fauna nociva y son material inflamable por su composición química. Reciclar las llantas es un proceso muy escaso en nuestro país y solo se procesan el 5% de las llantas en los cálculos más optimistas [2].

### C. Justificación

El aumento en el consumo y desecho de llantas ha provocado que los tiraderos designados para su almacenamiento se encuentren saturados, por ello se ha presentado un aumento del número de depósitos clandestinos en los cuales no existe control alguno que garantice la seguridad del lugar. En el año 2013 la Cámara de Diputados aprobó, establecer en las leyes de la materia un manejo especial e integral de estos residuos. Para que el caucho,

siendo producto principal en la fabricación de llantas, sea reciclado en la construcción y conservación de caminos y carreteras [2].

Por sus características físicas y químicas los neumáticos son potencialmente valorizables debido al poder calorífico que representan, esto permite que sean utilizados como materia prima para otros procesos o para la generación de nuevos productos.

Tomando en cuenta la situación actual y atendiendo las necesidades de mejorar las condiciones de tránsito más seguras y cómodas, es importante señalar los deterioros y realizar mejoras de los diseños de las mezclas asfálticas modificadas con agregados de neumático triturado sobre los materiales existentes. Se pretende explorar una alternativa.

Debido a esto se decidió realizar en esta investigación, el desarrollo de neumático en polvo sobre las mezclas asfálticas para reparar baches de zonas urbanas.

#### D. Objetivos

Objetivos y metas a alcanzar

- Aprovechar el neumático fuera de uso, basado en la elaboración de mezclas de asfalto para reparar baches.
- Obtener el porcentaje óptimo de neumático sobre las mezclas de asfálticas.
- Cumplir, a la medida de lo posible los parámetros estandarizados de calidad del método Marshall.

#### E. Hipótesis

Se puede utilizar como materia prima el neumático triturado para el agregado en mezclas asfálticas. Obteniendo mayor calidad de vida y prolongando su mantenimiento.

## I. FUNDAMENTOS TEORICOS

### A. Marco Teórico

En México las mezclas asfálticas son de uso común y han sido utilizados desde hace media década en las carreteras. Existen diferentes tipos de mezclas asfálticas, que pueden ser divididas en calientes y frías. Se denominan “mezclas en caliente” a las técnicas que usan el calor para lograr que los áridos se mezclan homogéneamente con el asfalto. Y se define como la combinación de un ligante hidrocarbónico, agregado, tales como el polvo mineral y, eventualmente, aditivos [3].

Su proceso de fabricación implica calentar los agregados, los componentes de la mezcla se llevan a temperaturas altas, muy superior al medio ambiente sobre los 100 °C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla [4] de manera que todas las

partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Este tipo de mezcla constituye el tipo más generalizado de mezclas asfálticas [3] y se emplea en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes.

### B. Evolución de los diseños de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas han tenido origen de tiempos antiguos; en la actualidad ha permitido mejorar sus técnicas y la evolución de la tecnología ha favorecido, según Nevada Hidalgo [5] la evolución de las mezclas asfálticas fue de la siguiente manera.

- 1) The Hubbard-Field (1920's). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no tan bien para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.
- 2) Método Hveem (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas se desarrolló casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudotriaxial.
- 3) Método Marshall (1930). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentales. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificaciones desde los años 40's.
- 4) Método de la Western Asociación of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia a las roderas.
- 5) Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas y resistencia a las grietas a baja temperatura.
- 6) Método Superpave (1993). El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método

SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente, ha sido cambiado a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos [5].

### C. Método Marshall

El método fue desarrollado por Bruce Marshall durante la segunda guerra mundial para dosificar mezclas asfálticas ya que en ese momento no se contaba con metodologías y aunando a la creciente necesidad de aeropuertos para las nuevas generaciones de aeroplanos. Posteriormente, en 1943 fue mejorado por el Cuerpo de Ingenieros de EUA incluyendo en la norma ASTM D 6927 -05 "Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures" y AASHTO T 245. De igual forma, se encuentra en la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) M-MMP-4-05-031 "Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría densa". [6]

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en seleccionar una granulometría y un porcentaje de asfalto de modo que, una vez fabricada y puesta en terreno, cumpla con las propiedades para la cual fue diseñada. Los métodos de dosificación tienen como fin determinar el porcentaje de asfalto óptimo para una combinación determinada de agregados de acuerdo a las propiedades seleccionadas. [7]

La compactación del material dentro de los moldes se realiza a través del martillo Marshall como lo presenta la (Fig. 2.1), [8



Fig. 2.1 Martillo Marshall

Es un dispositivo de acero, formado por una base plana y circular de 3 7/8" de diámetro, equipado con un peso de 10

[lb] (4.54 [Kg.]) y construido de modo de obtener una altura de caída de 18". Las probetas se compactan con 75 golpes por cara, o como se especifique según el tránsito de diseño [8].

### D. Elaboración de Mezcla

El procedimiento para la elaboración de la mezcla debe tener cuidados necesarios en el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que la mezcla cumpla con los requerimientos de calidad aprobados por la Secretaría y atendiendo lo indicado en la Norma N.CMT.4.05.003, *Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras* [9].

Existen situaciones en las cuales las mezclas asfálticas no son capaces de resistir acción conjunta del tránsito y clima, por lo cual se hace necesario desarrollar mezclas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo énfasis en la durabilidad, el ahullamiento y la fatiga. Calidad de Materiales Asfálticos Modificados N.CMT.405.003 [10].

### E. Clasificación de mezclas asfálticas

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas [5]:

1) Por fracciones de agregado pétreo empleado.

- ✓ Masilla asfáltica: Polvo mineral mas ligante
- ✓ Mortero asfáltico: Agregado fino mas masilla
- ✓ Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- ✓ Macadam asfáltico: Agregado grueso mas ligante asfáltico

2) Mezclas en caliente

Mezclas asfálticas en Caliente: Se fabrican con asfaltos a temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

3) Mezclas en frío

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicaciones son en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas [11].

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación de algunas semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo período de tiempo con un viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezcla de frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

En general, las mezclas asfálticas en frío se clasifican dependiendo del ligante que se utilice, la manera de mezclado, por su granulometría, si se utiliza material reciclado y finalmente, por periodo de almacenamiento como se describen a continuación [11].

#### *F. Clasificación según el ligante*

Las mezclas en frío con emulsión son producidas con asfalto que ha sido emulsionado en agua antes de mezclado con el agregado. En este estado de emulsión el asfalto es menos viscoso y la mezcla es más fácil de trabajar y compactar. La emulsión se romperá luego de que suficiente agua se haya evaporado y la mezcla en frío comienza a tener una buena resistencia. Se utiliza comúnmente como material para bacheo en rutas de bajo tránsito [11].

La mezcla con asfalto rebajado es producida con asfalto que ha sido disuelto en keroseno u otra fracción más liviana del petróleo, antes de mezclarlo con el agregado. Luego de que la mezcla es colocada, la fracción volátil se evapora. Debido a que esto resulta en contaminación del aire, el uso de asfaltos rebajados es ilegal en los Estados Unidos desde los años 70. Aunque son muy utilizados en Europa y el resto del mundo, especialmente para el reciclado de pavimentos oxidados [11].

#### *G. Asfalto*

Los asfaltos son los más utilizados en el mundo, fueron utilizados debido a su pureza y economía en relación con los asfaltos naturales.

El asfalto se puede encontrar de dos formas, en estado natural o producto de la destilación del petróleo (actualmente es el más utilizado en la industria) [12]

Los asfaltos naturales también son producidos a partir del petróleo, debido a un proceso de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las fracciones asfálticas, se pueden encontrar en escurrimientos superficiales o en fosas terrestres, originando lagos de asfalto como lo de las islas trinidad y bermudas, aunque también se pueden encontrar en algunas rocas, denominadas rocas asfálticas como la gasolina.

La mayoría de los petróleos del mundo tiene algún contenido de asfalto, por lo tanto resulta aplicable su extracción del petróleo, además posee una gran ventaja adicional ya que se refina hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

El asfalto es considerado como un material termoplástico, está constituido en su estructura química por complejas cadenas de hidrocarburos, en las cuales se pueden diferenciar dos fracciones: una fracción pesada denominada asfaltenos y una ligera denominada máltenos. Esta fracción técnica a su vez se puede subdividir en tres fracciones principales: parafinas, resinas, y aceites aromáticos [5].

Este material es muy susceptible a los cambios de temperatura, comportándose como un material frágil y quebradizo a bajas temperaturas y como un material fluido viscoso a altas temperaturas [5].

El Asfalto es un material muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo en crudo [13]. Por sus propiedades de consistencia es un material utilizado en la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, y sobre todo el bajo costo que es un residuo en el proceso de refinación de petróleo.

El asfalto es conocido por varios nombres: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún, cemento asfáltico, chapopote. Este producto fue conocido alrededor del año 2500 a. C. en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de caminos [13].

El asfalto contiene una gran variedad de aplicaciones: carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes y masquites. Los volúmenes de uso de asfalto son muy grandes, sobre todo en lo referente a la fabricación de carpetas asfálticas en donde es, sin duda, el material más importante. El amplio uso de asfalto en la construcción de carreteras es debido en gran medida, a su bajo costo y sus propiedades de hidrofobicidad y una relativa resistencia al intemperismo [14].

La incorporación de los polímeros en las mezclas asfálticas ha permitido mejorar sus propiedades, como disminución de la deformabilidad y mayor resistencia a las sollicitaciones de tránsito. Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso

molecular que logran hidratarse e hincharse al interactuar con la mezcla asfáltica [5].

#### H. Uso de Asfalto en México

A través de las generaciones el Asfalto ha sido el principal objetivo al utilizar agentes modificadores; el cemento asfáltico tiene propiedades geológicas no obtenidas en los asfaltos producidos por técnicas que a continuación fueron desarrollándose [15]:

- En la década de los 70'S. Petróleos Mexicanos (Pemex) produce el cemento asfáltico 6 (grado penetración) y los asfaltos rebajados FR-3 (para elaboración de mezclas asfálticas en frío y aplicaciones de riegos de sello) y FM-1 (para la aplicación de riegos de impregnación) para su uso principalmente en carreteras. Se inicia la era de las emulsiones asfálticas.
- En 1980, se incrementa el uso del asfalto en los tipos indicados, avanzando el desarrollo de las emulsiones asfálticas y creándose nuevas plantas de fabricantes de emulsiones asfálticas particulares en nuestro país.
- En 1992, se consolida el uso de emulsiones debido a su versatilidad en la aplicación, menor desperdicio energético, menor agresividad y riesgo para el medio ambiente y los trabajadores.
- En 1994-1995 Inician las primeras aplicaciones con cemento asfáltico No.6 modificado con polímero SBS en sus carreteras. También se realizan varias aplicaciones con asfalto modificado con hule de llanta para capas de rodadura Open Graded. Se empiezan a utilizar diversos modificadores de asfalto como: Hule de llanta, gilsonita, fibras minerales, etc. Con resultados muy variables en el desempeño de las aplicaciones.
- En 1996 se sustituye el cemento grado penetración, por cementos asfálticos grado viscosidad, para tratar de satisfacer de una forma más adecuada la demanda de un mercado nacional e internacional cambiante, produce AC-30, AC-20 y AC-5.
- En 1999 la iniciativa privada, produce los primeros asfaltos modificados con la alta tecnología, cumpliendo las especificaciones grado PG de superpave, para mezclas asfálticas en caliente y como base para emulsiones; así como las primeras emulsiones asfálticas de rompimiento rápido de alta viscosidad y modificadas con polímero, para la aplicación de riegos de sello, cumpliendo especificaciones internacionales.

- Año 2000 a la fecha, se aprecia una clara tendencia hacia el uso de asfaltos modificados con polímeros del tipo SB y SBS, debido a su mejor comportamiento en un amplio rango de condiciones de obra.

Las Dependencias, Laboratorios de Supervisión y Contratistas, muestran un mayor interés por el Control y Aseguramiento de Calidad.

Se introducen los primeros sistemas de aplicación de asfaltos modificados, unos desarrollados en el extranjero y otros en nuestro país, para carpetas asfálticas y tratamientos superficiales principalmente.

Se inicia formalmente la caracterización de asfaltos por grado PG, principalmente modificados con polímeros para alcanzar el grado requerido [15].

#### I. Propiedades de mezclas asfálticas

Las propiedades fundamentales que deben cumplir las mezclas asfálticas son las siguientes [16], [17]:

- **Durabilidad:** propiedad de la mezcla que hace que el pavimento sea capaz de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima. Este último, afecta principalmente al asfalto de la capa superficial por estar en contacto con el sol, el aire y el agua, debido a que pierda sus propiedades aglutinantes, se oxide, se endurezca y envejezca, afectando la vida útil del pavimento Tabla. 2.1.

TABLA No. 2.1 CAUSAS Y EFECTOS DE UNA POCA DURABILIDAD

**Estabilidad:** se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Esta propiedad depende de la cohesión de la

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregado susceptibles al agua (Hidrofilíticos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

mezcla y la fricción interna. La fricción interna es aportada por el material pétreo y depende del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras. Las mezclas con materiales más gruesos y de caras angulosas tendrán mayor estabilidad que mezclas con materiales finos Tabla 2.2.

TABLA No. 2.2 CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO

**Flexibilidad:** capacidad de la mezcla de adaptarse a las

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahullamientos y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas	Ahullamiento y canalización

deformaciones por asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.

**Resistencia a la fatiga:** capacidad del pavimento asfáltico de soportar esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas Tabla 2.3.

TABLA No. 2.3 CAUSAS Y EFECTOS UNA MALA RESITENCIA A LA FATIGA

**Impermeabilidad:** las mezclas deben ser en lo posible

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

totalmente impermeables, de manera que el agua superficial no pueda atravesar hacia las capas inferiores, evitando con ello que éstas puedan perder capacidad de soporte Tabla 2.4

TABLA No. 2.4 CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revertir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable

**Resistencia al deslizamiento:** capacidad del pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando está húmedo Tabla 2.5.

TABLA No. 2.5 CAUSAS Y EFECTOS DE POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropilano
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

**Trabajabilidad:** se refiere a la capacidad que tenga la mezcla de colocarse y compactarse con facilidad Tabla 2.6

TABLA No. 2.6 CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMAS EN LA TRABAJABILIDAD

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Las películas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

#### A. Características de los neumáticos

Según [6], el principal componente del neumático es el caucho, representa casi la mitad de su peso. El caucho utilizado en los neumáticos es de diferentes tipos:

- Caucho natural
- Estireno butadieno
- Polisoprenos sintéticos

Aunque cada uno de estos tipos de cauchos tienen diferentes propiedades, tienen una característica en común, todos una vez vulcanizados componen largas cadenas moleculares formadas por átomos de nitrógeno y carbono unidos bajo una determinada estructura y entrelazadas con puentes de azufre. Esta estructura hace que se necesite una gran cantidad de tiempo para su degradación [6].

Otro componente propio de los neumáticos son las cargas de refuerzos, y la más utilizada es el negro carbón. Este elemento se conforma por finas partículas de carbono obtenidas por la combustión parcial de gas natural o aceites de petróleo gasificados. El negro de carbono representa aproximadamente la cuarta parte en peso de un neumático [6].

Un neumático puede alcanzar más de 200 componentes, que forman parte de las diferentes mezclas presentes en su producción. La composición se puede reducir neumático a sus elementos principales, que varían en función del vehículo al que estén destinados y que, a modo de resumen, aparece en la Tabla 2.6 [6].

TABLA 2.6 COMPOSICIÓN DE LOS NEUMÁTICOS (%)



Composición	Porcentaje
Goma	62.1
Negro de carbón	31.0
Aceites	1.9
Óxido de zinc	1.9
Óxido de esteárico	1.2
Sulfuro	1.1
Acelerador	0.1
Total	99.9

Los neumáticos en desuso se pueden cortar, perforar, troquear, partir en tamaños pequeños y mezclar con otros materiales para producir nuevos productos.

Las llantas transformadas en polvo de neumático pueden ser usadas como productos de caucho o plástico y asfalto. Varios productos de caucho pueden ser desarrollados usando llantas en desuso. [6]

La aplicación en la red de carreteras tiene grandes ventajas para el empleo del caucho reciclado; se están utilizando productos elastómeros a los que el caucho reciclado podría sustituir o complementar, ya que pueden utilizarse grandes volúmenes en cada obra de la construcción de carreteras en todo el territorio nacional, no se necesita transportarlo a grandes distancias [18].

El neumático puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora de asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso [19]. Bajo que contesto lo aplica

### J. Beneficios del neumático sobre las mezclas asfálticas

Los neumáticos cuentan con propiedades especiales que al ser sometidos en las mezclas tienen efectos positivos sobre las mezclas asfálticas en carreteras como lo muestra la siguiente Tabla 2.7 [19].

TABLA 2.7 BENEFICIOS DEL NEUMATICO



### K. Histórico de neumáticos enviados a reciclaje

La Secretaría del Medio Ambiente en coordinación con diversas empresas socialmente responsables firmó en noviembre de 2007 un convenio para incentivar la adecuada disposición de este tipo de residuos. Por sus características físicas y químicas los neumáticos son potencialmente valorizables debido al poder calorífico que representan, esto permite que sean utilizados como materia prima para otros procesos o para la generación de nuevos productos. Para el año 2013 se reporta el acopio de 1,407 toneladas de neumáticos. [20].Figura 2.2



Figura 2.2 Neumáticos enviados a reciclaje 2013

### L. Principales causas de baches

El agrietamiento por fatiga es llamado coloquialmente "piel de cocodrilo" debido a que el patrón de espaciamiento entre las grietas es muy similar a la forma exterior de la piel de cocodrilo (Fig. 2.3) El agrietamiento por fatiga es el resultado de la aplicación de un esfuerzo de tensión mayor a la resistencia a la tensión de la mezcla [7].



Fig. 2.3 Pavimento piel de cocodrilo

Las fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella son un signo prematuro de agrietamiento por fatiga. Este tipo de falla, generalmente ocurre cuando el pavimento ha sido reforzado hasta el límite, por la repetición de aplicación de carga. El agrietamiento por fatiga es comúnmente asociado con las cargas, las cuales son mucho

más pesadas para la estructura del pavimento, o a que el número de reparticiones de carga fue mayor a las consideradas en el diseño. El problema se hace más grave cuando existe un drenaje inadecuado en el pavimento, lo cual contribuye a que las capas inferiores lleguen a saturarse y pierda resistencia. En estos casos la capa con la mezcla asfáltica experimenta deformaciones grandes, cuando las capas subyacentes son debilitadas por exceso de humedad, produciendo la falla prematura por fatiga. El agrietamiento por fatiga puede ser también causado por el paso repetido de camiones sobrecargados y/o espesores de pavimento inadecuados, debido a un control de calidad deficiente durante la construcción [7].

El agrietamiento por fatiga puede conducir al desarrollo de baches cuando las piezas individuales de mezcla asfáltica se separan físicamente del material adyacente, y se desprenden de la superficie del pavimento por acción del tránsito. Los baches generalmente ocurren cuando el agrietamiento por fatiga se encuentra en etapas muy avanzadas, o cuando se han empleado espesores de carpeta asfáltica, relativamente delgados [7].

#### L. Definición de términos

**Asfalto:** Mezcla de este mineral con cal, arena y otras sustancias que se emplean principalmente en la pavimentación de las vías públicas de circulación. Sinónimos: betún, chapopote.

**Asfalto modificado:** Producto resultante de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido.

**Agregado:** Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria, o la roca triturada, usando para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Caucho:** Látex producido por varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, que, después de coagulado, es una masa impermeable muy elástica, y tiene muchas aplicaciones en la industria.

**Compactación:** Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.

**Mezcla en caliente:** Mezcla de planta que deben ser colocadas y compactadas a temperaturas elevadas.

**Resistencia a la fatiga:** Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido asfáltico, mayor será la resistencia a la fatiga.

**Triturado:** Moler o desmenuzar una materia sólida, sin reducirla enteramente a polvo.

**Trabajabilidad:** Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

**Bachear:** Arreglar vías públicas, relleno de baches.

#### M. Especificaciones de las normas [18].

##### NORMAS Y REGLAMENTOS

- AASHTO (American Association of State Highway And Transportation Officials)

Por sus siglas en inglés es una asociación de Estados Unidos que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todos los Estados Unidos.

- ASTM (American Society for Testing and Materials)

Es la encargada de realizar los estándares de calidad para los ensayos y los materiales.

- AMAAC (Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.)

Es una asociación en México dedica a ofrecer servicios relacionados con los asfaltos, promueve la investigación y el desarrollo tecnológico a través de capacitación especializada y publicaciones técnicas.

- NORMATIVA SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte)

- NORMAS IMT (Instituto Mexicano del Transporte)

- NORMAS MEXICANAS PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS PARA CARRETERAS

### III. ESTADO DEL ARTE

#### A. Antecedentes

La tecnología de modificar materiales asfálticos con caucho no es reciente. A mediados del siglo XIX apareció en Inglaterra la primera patente de un ligante asfáltico modificado con un caucho natural (Allison, 1967). Estudios sobre modificación de asfaltos con grano de llanta triturada (Gcr) han sido desarrollados desde los años 50 (Hanson et al, 1994). Sin embargo fue tan solo en los 60 que Charles H. McDonald descubrió con éxito una forma de incorporar el Gcr al asfalto, y a dicha mezcla la denominó Asfalto-Caucho [12].

En 1920, empezaron los estudios y las primeras pruebas de la modificación del asfalto con caucho molido, sin mucho éxito [12].

La primera tecnología en la cual se utilizó el proceso húmedo fue llamado el proceso McDonald, debido a los estudios realizados en 1960, por Charles McDonald, quien encontró una fórmula exitosa de tiempo/temperatura para la incorporación de caucho reciclado para modificar el ligante [16].

Experiencias similares fueron llevadas a cabo por la Arizona Refinery Company (ARCo) y la EnviroTire INC con su sistema PlusRide de incorporación de granos de caucho triturado de neumático al agregado para fabricar una mezcla discontinua. Varios estados de Estados Unidos, entre ellos California y Florida, se unieron a estas experiencias, realizando tramos de prueba y colocación asfalto-caucho donde quiera que se presente agrietamiento, con buenos resultados. [16]

### 1) Proceso vía húmeda

Este proceso consiste en la unión del grano de caucho reciclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada llamada asfalto-caucho, es un proceso que se encuentra definido por la norma de la ASTM D8-88, el porcentaje de incorporación es de 15% a 25% [21].

La elaboración de asfalto ahulado consiste en unir el grano de caucho reciclado con diámetro máximo de 2mm, con el cemento asfáltico en un tanque de agitación, donde se incorpora la unión, tomando en cuenta la temperatura y el tiempo de reacción de estanque, por lo general la mezcla es elaborada a temperaturas de 170°C–210 °C de 1 a 4 horas.

Procedimiento para la mezcla del cemento asfáltico con el grano de caucho reciclado. Fig. 3.1

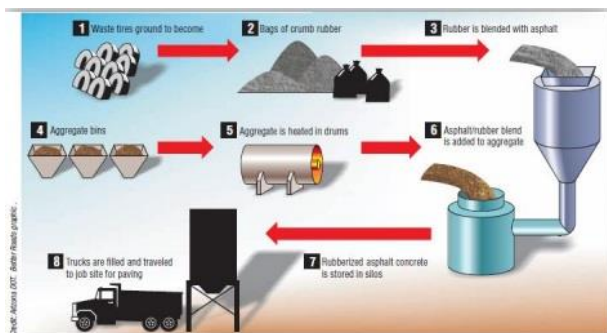


Fig.3.1 Elaboración de mezcla asfáltica modificada por vía húmeda.

Durante la reacción los granos de caucho reciclados reaccionan hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, estos componentes químicos le dan al asfalto consistencia para que sea trabajable observándose un aumento en la viscosidad, ya que este proceso no es típico de la química por que las partículas no se funden en el asfalto,

sino que actúan como una esponja en agua la cual se empieza a hinchar y ablandar.

### 2) Proceso vía seca

La elaboración de mezcla asfáltica modificada por vía seca donde los granos de caucho son calentados junto con los agregados pétreos para ser adicionados a un cemento asfáltico convencional, por lo que las temperaturas de mezclado son sometidas a altas temperaturas entre 160° a 190°C [21].

La aplicación de este método se utiliza en los Estados Unidos con la tecnología llamada Plus Ride, tal como lo muestra la fig. 3.2 la que fue desarrollada en Suecia a finales de 1960, pero fue registrada en los Estados Unidos con el nombre de Plus Ride por la firma EnviroTire, el caucho reciclado es agregado de 1% a 3% respecto al peso de los agregados.



Fig.3.2 Elaboración de mezcla asfáltica modificada por vía seca. [21]

Aprovechando las nuevas tecnologías en maquinaria de fabricación de ligantes asfálticos, la “Universidad Tecnológica Nacional” de Buenos Aires, Argentina, en el 2006, realizó el análisis de la incorporación del polvo de neumáticos en ligantes asfálticos. A través del estudio “Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura”, donde destacan que la incorporación del caucho, es un adherente que garantiza un mejor rendimiento [22].

En México, La Universidad Veracruzana”, Xalapa, Veracruz. Realizó el estudio “Mejoramiento de mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado de llantas usadas”. Mejoró la susceptibilidad térmica, debido al aumento en la estabilidad, lo cual permitió reducir el ahullamiento y finuras en el pavimento. Las ventajas ambientales por el uso de grano de caucho en las mezclas asfálticas, mejoran sus características químicas y mecánicas. [23].

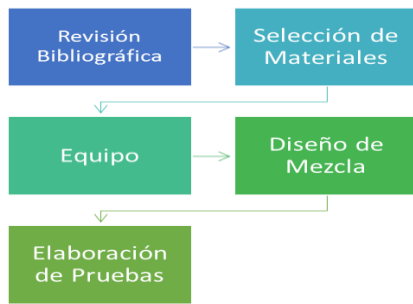
Estudio más reciente en México fue el pasado octubre 2015. Por Mariel Trujillo Valladolid de la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigo sobre “Evaluación de energía de fractura en mezclas asfálticas de caucho” A pesar de los resultados favorables se encontró que de acuerdo a la modificación de porcentajes de neumático en polvo, ofrecio una mayor resistencia al fracturamiento [24].

#### IV. METODOLOGIA

En esta investigación se recopilaron datos que permitieron realizar un análisis empírico de factibilidad técnica, además reconocer la importancia de este tipo de investigación al comprobar una hipótesis planteada con anticipación sobre la influencia obtenida al incorporar granos del triturado de restos de llantas como fuente de materia prima para la elaboración de mezclas asfálticas se encontró que de acuerdo a la modificación de porcentajes de neumático en polvo, ofreció una mayor resistencia.

La metodología fue estructurada de modo lógico para cumplir con las funciones propuestas de acuerdo como lo presenta la Tabla 4.1

TABLA 4.1 PROCESO DE ELABORACIÓN



##### a. Revisión bibliográfica

En esta etapa se investigó el método más apropiado que permitiera incorporar el neumático sobre la mezcla asfáltica de acuerdo a los materiales ya obtenidos. Mediante el siguiente orden:

- Materiales a utilizar en base la experiencia urbana.
- Recopilación de antecedentes de los sectores donde se pretendía realizar la practica en campo.
- Volúmenes de tránsito

##### B. Selección de los materiales

Los materiales se eligieron de acuerdo al tipo de mezcla para pavimentación de transito con capacidad de carga no mayor a 5 ejes. Lo que permite una mezcla de densidad ligera agregados más finos. Fig. 4.1

De acuerdo como lo registra la norma para materiales pétreos para mezclas asfálticas N.OCM.4.054

- Polvos finos grava (3/4-3/8)
- Arena de trituración No. 4
- Neumático molido



Fig. 4.1 Clasificación de materiales

El neumático fue separado a través de una malla para obtener el neumático molido.

##### 1). Agregado Pétreos:

Para su elaboración se utilizaron polvos finos, extraído básicamente de roca basáltica triturada. Grava natural que ha sido triturada o cribada, con la finalidad de ajustarla. El triturado típicamente mejora la forma de la partícula, haciendo las partículas redondas más angulares, para mejorar así la distribución y clasificación de los tamaños.

Agregados grueso triturado ¾" y pasa ½" producto de la trituración de piedra de la cantera. En lo referente a los agregados, se obtuvo arena lavada de Palmiro, arena triturada y llenante mineral.

##### 2) Ligante Asfáltico:

El asfalto utilizado en el presente trabajo es de tipo FR-3, obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites.

##### 3) Porcentaje óptimo de asfalto

El contenido de Asfalto FR-3 indica la cantidad de material asfáltico dentro de la muestra y así poder verificar que está haya sido dosificado de una forma exacta [9].

Fórmula para calcular el contenido de Asfalto FR-3

$$\% \text{ FR-3} = \frac{P_n - P_s}{P_n} * 100 \quad (1)$$

Donde:

% FR-3 = porcentaje de asfalto en la muestra

Pn = peso neto de la muestra

Ps = peso seco

#### 4) Neumático molido

Se obtuvo el material de llanta reciclada en grano molido conocido comercialmente como GCR en un bulto de 40 Kg. Es importante mencionar que este material fue comprado por la dificultad de realizar el proceso de separación de partículas que componen los neumáticos. Se realizó una separación a través de una malla para obtener las diferentes granulometrías neumático molido y en trozos más pequeños.

#### C. Equipo utilizado



Fig. 4.2 Equipos de medición

Equipo que se utiliza:

- Parrilla eléctrica con capacidad de calentar
- Báscula digital
- Termómetro infrarrojo con medición de temperatura - 50 y 4.000 °C.
- Prensadora de tornillo

#### D. Diseño de Mezcla asfáltica

Material	Porcentaje de aporte a la mezcla total
Grava (3/4-3/8)	350 gr.
Arena de trituración No.4	380 gr.
FR-3	80 gr.
Caucho 10 %	90 gr.
<b>TOTAL</b>	<b>900 gr.</b>

Fig. 4.3 Materiales constitutivos de la mezcla de agregados

#### a) Proceso de Preparación

- Secado de agregado

En primer término, los agregados (polvos finos) fueron secados a una temperatura sobre los 110 °C. Con el objetivo de eliminar la humedad que contienen. Nuevamente se pesaron y registraron los datos

- Calentado

Los agregados son calentados por segunda vez, controlados a una temperatura de 170 °C, este procedimiento se repitió hasta que el peso de la muestra permaneciera constante durante dos calentamientos consecutivos, lo que indica que la mayor cantidad posible de humedad se evaporado.

- Mezclado de los agregados

Posteriormente los agregados fueron retirados del fuego, y fueron colocados en un recipiente; por consiguiente, el asfalto fue colocado sobre los agregados, mezclándose constante y a la vez fue vertido el neumático molido, hasta lograr una consistencia bituminosa.

- Compactación de la mezcla

- Antes de colocar la mezcla dentro del molde, se limpió el recipiente con gasolina y se calentó a una temperatura sobre los 100 °C. durante 5 minutos
- Después, la mezcla fue colocada en el recipiente hasta cubrir el límite indicado; por último, se cubrió con una base de madera.
- Posteriormente fue compactada 25 veces por ambos lados.
- Se retiró el molde y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Finalmente, las muestras se dejaron reposar durante toda la noche a temperatura ambiente.
- Se pesaron las muestras y se midieron sus espesores

- ✓ Muestra 1 = 3.5 cm. W =885 gr.
- ✓ Muestra 2 = 3.2 cm. W =885 gr.
- ✓ Muestra 3 = 3.2 cm. W =880 gr.



Fig. 4.4 Elaboración de pruebas

Las pruebas se realizaron de la siguiente manera:



Fig. 4.5 Prueba de resistencia a la fatiga



Fig. 4.6 Resistencia de Resistencia al deslizamiento



Fig. 4.7 Prueba sin vacíos

## V. CONCLUSIONES

### A. Resultados

- El porcentaje óptimo de neumático molido para la mezcla asfáltica tuvo mejor comportamiento con un 10%.
- Se pudo observar que la temperatura, es un factor muy importante debido que al aumentar la temperatura a 170 °C se obtuvieron mejores resultados con el neumático molido.
- El neumático molido puede ser utilizado confiadamente para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas usándolo como materia prima, sobre los agregados.
- El neumático molido tiene mejor adherencia sobre las mezclas asfálticas que neumático triturado.
- No lograr realizar las pruebas en campo debido al incumplimiento de ciertos factores proporcionados por el laboratorio de ingeniería civil de la universidad autónoma de nuevo león.

### B. Ventajas

- Mejor calidad de vida, por lo que reduce sus costos de mantenimiento.

### C. Desventajas

- Se requiere de equipo especial para la producción de este tipo de mezcla con neumático, y tener control de las emisiones a la atmosfera.

### D. Delimitaciones

- Realizar pruebas en el laboratorio de ingeniería industrial.
- Utilizar agregados ya existentes de acuerdo a una mezcla de peso ligero.

### E. Limitaciones

- Falta de instrumentos disponibles para mediciones técnicas.

## F. RECOMENDACIONES

Se considera una oportunidad para la elaboración de un sistema de control de las emisiones a la atmosfera.

Equipo de tecnología para realizar este tipo de mezcla que permitiera controlar la temperatura.

## VI REFERENCIAS

- [1] (2015, 4 Abril). Ingeniería y reciclaje mexicano [online]. Available: <http://www.ingremex.com/>
- [2] (2013) Cámara de diputados [online]. Available: <http://www3.diputados.gob.mx>
- [3] G. Anguas, y D. Alamilla, & S. Sandoval, (2005). Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas.
- [4] L. A. Naveda Hidalgo, (2014). "Incidencia del contenido de arena de río en la deformación permanente de las mezclas asfálticas", Tesis Doctoral, Fac. Ing. Civil, Univ. Católica de Santiago de Guayaquil.
- [5] R. Palma, N. I. (2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco.
- [6] L. M. Ramírez. (2014) Pavimentos con polímeros reciclados Doctoral dissertation, Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- [7] G. Anguas, P. Flores, M. Gómez, J. López., & D. Alamilla, H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. (267).
- [8] H. Santana, R. R. (2010). Diseño de un compactador automático de suelos para ensayos Marshall.
- [9] N. CSV-CAR-2-02-004/03.
- [10] N - CMT -4-05-003-08.pdf
- [11] M. Acuña, & D. Obando, (2012). Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones. *Infraestructura Vial*, 11(21), 18-29.
- [12] C. Llantas, R., & H. Asphalts, M. (2012). Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho.
- [13] N. SCT. ISSN 0188-7114.
- [14] A. Villamar, R., Rubio, & J. Ramirez, "Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología gap graded para la ciudad de Bogota". 2014.
- [15] A. Fernandez, J.C. Capistrán, "Tratamientos superficiales La experiencia en México". SCT 2015.
- [16] N. I. Ramirez, "Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco." Pág. 29-31 (2006).
- [17] G. Box, J. Stuart Hunter, and William Gordon Hunter. "Estadística para investigadores: "Diseño, innovación y descubrimiento". Reverté, 2008.
- [18] J. Sanchez, (2012). "Segunda vida de los neumáticos usados. *Química Viva*", 11(1), Pág. 36.
- [19] G. Castro, (2007). Reutilización, reciclado y disposición final de neumáticos. Documento en línea.
- [20] Secretaría del medio ambiente "Esquemas de retorno, aprovechamiento y reciclaje". 2011[Online]. Available: <http://www.sedema.df.gob.mx/sedem>

a/images/archivos/temas-ambientales/programas-generales/residuos-solidos/inventario-residuos-solidos-2013/capitulo-4.pdf

- [21] A. Contreras, (2013). "Mejoramiento de mezclas asfálticas con grano de caucho reciclado".
- [22] H. G. Botasso, O. Rebollo, A. Cuattrocchio, & C. Soengas, (2012). Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de Infraestructura. *Infraestructura vial*, 10(20). Buenos Aires, Argentina.
- [23] M. Trujillo (2015). "Evaluación de la energía de fractura en mezclas asfálticas con caucho".