



*Comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla
asfáltica con aceite de motor*

*Behavior of the mechanical properties of recycled asphalt mixture with motor
oil*

*Comportamento das propriedades mecânicas da mistura asfáltica reciclada com
óleo de motor*

Stalin Abimael Castillo-Carpio ^I
scastilloc@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1607-0081>

Renato Andrés Yamasqui-Freire ^{II}
ryamasquif@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5236-7555>

Javier Nicolás Areche-García ^{III}
jarecheg@ulvr.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0985-9482>

Correspondencia: scastilloc@ulvr.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de Agosto de 2020 ***Aceptado:** 26 de Septiembre de 2021 * **Publicado:** 20 de Octubre de 2021

- I. Egresado de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción en la Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.
- II. Egresado de la Facultad de Ingeniería Industria y Construcción en la Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Egresado de la Universidad Nacional, Experimental Francisco de Miranda Coro Venezuela, Magister Sciarum en Gerencia Empresarial PhD-Doctor en Ciencias para el Desarrollo Estratégico, Docente Investigador, Catedrático en la Universidad de Guayaquil y la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

La investigación está encaminada a reutilizar la mezcla asfáltica reciclada que cumplió su periodo de vida útil y es reemplazado por otro nuevo, actuando como agregado y el aceite de motor reciclado debido al incremento de estos residuos que generan los autos, el cual funciona como ligante para el diseño reciclado de la mezcla asfáltica con el aceite de motor. El objetivo del estudio se plantea en determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla asfáltica con aceite de motor, bajo el método deductivo, enfoque cuantitativo y tipo de investigación experimental. Mediante ensayos de laboratorio se determinaron las propiedades físicas y químicas de las mezclas asfálticas recicladas y con relación al aceite de motor reciclado se identificó el grado de viscosidad. Para el diseño de la mezcla reciclada de asfalto y aceite de motor, se realizaron 4 dosificaciones con el 0%, 0.50%, 1.00% y el 1.50% de incorporación de aceite de motor reciclado, después de haber sido ensayadas con el método de Marshall se concluye que la mezcla óptima es de 0.42% aceite de motor reciclado, 4.58% asfalto resultante (3.50% asfalto virgen +1.08% asfalto reciclado), 95% mezcla asfáltica reciclada, Estabilidad 2304 lbs y Flujo 8.68; por lo cual, las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla asfáltica con aceite de motor estudiados cumplen con lo establecido en la norma técnica MOP-001-F-2002 de especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes de Ecuador, permitiendo su uso en vías secundarias o caminos vecinales.

Palabras claves: Mezcla; Reciclado; Asfalto; Aceite; Diseño; Vías; Caminos.

Abstract

The research is aimed at reusing the recycled asphalt mix that has reached its useful life and is replaced by a new one, acting as an aggregate and recycled motor oil due to the increase in this waste generated by cars, which works as a binder for the recycled design of the asphalt mix with the motor oil. The objective of the study is to determine the behavior of the mechanical properties of recycled asphalt mixture with motor oil, under the deductive method, quantitative approach and type of experimental research. Through laboratory tests, the physical and chemical properties of the recycled asphalt mixtures were determined and the degree of viscosity was identified in relation to the recycled motor oil. For the design of the recycled mixture of asphalt and motor oil, 4 dosages were made with 0%, 0.50%, 1.00% and 1.50% incorporation of recycled motor oil,

after having been tested with the Marshall method. It is concluded that the optimal mixture is 0.42% recycled motor oil, 4.58% resulting asphalt (3.50% virgin asphalt + 1.08% recycled asphalt), 95% recycled asphalt mixture, Stability 2304 lbs and Flow 8.68; Therefore, the mechanical properties of recycled asphalt mixture with motor oil studied comply with the provisions of the technical standard MOP-001-F-2002 of general specifications for the construction of roads and bridges in Ecuador, allowing its use on roads. secondary roads or local roads.

Keywords: Mix; Recycled; Asphalt; Oil; Design; Roads; Roads.

Resumo

A pesquisa visa o reaproveitamento da mistura asfáltica reciclada que atingiu sua vida útil e é substituída por uma nova, atuando como agregado e óleo de motor reciclado devido ao aumento desse resíduo gerado pelos automóveis, que funciona como aglutinante para a projeto reciclado da mistura asfáltica com o óleo do motor. O objetivo do estudo é determinar o comportamento das propriedades mecânicas da mistura asfáltica reciclada com óleo de motor, sob o método dedutivo, abordagem quantitativa e tipo de pesquisa experimental. Por meio de testes de laboratório, foram determinadas as propriedades físicas e químicas das misturas asfálticas recicladas e, em relação ao óleo de motor reciclado, foi identificado o grau de viscosidade. Para o dimensionamento da mistura reciclada de asfalto e óleo de motor, foram realizadas 4 dosagens com incorporação de 0%, 0,50%, 1,00% e 1,50% de óleo de motor reciclado, após ter sido testado com o método Marshall Conclui-se que o ótimo mistura é 0,42% de óleo de motor reciclado, 4,58% de asfalto resultante (3,50% de asfalto virgem + 1,08% de asfalto reciclado), 95% de mistura de asfalto reciclado, Estabilidade 2304 lbs e Fluxo 8,68; Portanto, as propriedades mecânicas da mistura asfáltica reciclada com óleo de motor estudadas atendem ao disposto na norma técnica MOP-001-F-2002 de especificações gerais para a construção de estradas e pontes no Equador, permitindo seu uso em estradas secundárias ou vicinais. .

Palavras-chave: Mistura; Reciclado; Asfalto; Óleo; Projeto; Estradas; Estradas.

Introducción

En la actualidad, debido a la importancia que tiene el uso de recursos no renovables y/o sus derivados, así como el propio impacto que causa al ecosistema, se ha tenido la necesidad de orientar hacia nuevas tecnologías y metodologías de trabajo en el empleo de materiales reutilizables, ya que su uso puede reducir costos desde una perspectiva ambiental y económica.

Siendo la mezcla asfáltica una opción invaluable, con las nuevas técnicas que se implementan hoy en día es posible mejorar las propiedades mecánicas e incluso químicas de estas. En base a ello, es importante mencionar que todo lo relacionado con tecnologías innovadoras, involucra un estudio interesante sobre comportamiento, puesto que es necesario que se determine su evaluación y comportamiento, si estos pueden tener la misma capacidad al ser comparado con las mezclas tradicionales.

De esta manera, se pueden determinar rasgos como lo es el soporte de carga y el efecto ante agentes ambientales; si bien es cierto, el uso de mezclas trae ventajas para crear redes viales que permitan acortar o establecer un espacio determinado para el tránsito de vehículos, es importante que estas se encuentran condicionadas a las situaciones del suelo, pues es necesario que el servicio a prestar sea bajo óptimas condiciones.

La infraestructura vial es un indicio de desarrollo a nivel económico y de comunicación dentro de una nación, la calidad de éstas es muy importante, por lo que su mantenimiento es vital y este debe ser constante, pues es importante que se pueda hacer uso eficiente de los materiales empleados o recursos, de manera que también se pueda cooperar con la preservación de los recursos naturales de todo el entorno.

En este sentido, la creación de mezclas asfálticas debido a los diferentes componentes que posee, puede ocasionar contaminación al ambiente, ya que son productos derivados del petróleo y pasan por un proceso obligatorio que permite obtener la materia prima, es aquí donde se centra la mayor importancia ya que el proceso de extracción de materia prima causa un gran impacto ambiental, así como el proceso para producir el derivado del petróleo, este es un efecto adicional a dicho impacto ecológico, sin contar con el gasto económico y tiempo necesario.

Ahora bien, la remoción y desecho de material reciclado de asfalto se puede estudiar con el propósito de reutilizarse y con ello se puedan crear vías de segundo y tercer orden que comuniquen ciudades y/o sectores. Por otra parte, se tiene que el aceite de motor reciclado es una sustancia

comúnmente desechada; sin embargo, desde hace muchos años en varios continentes y países se ha establecido la reutilización de un porcentaje del aceite reciclado, o en su defecto la mayor cantidad posible, en el caso de Europa en el año 2000, el porcentaje de recolección de aceite usado corresponde entre el 70% a un 75% de recolección lo que representa un 1'730.000 Tm recolectadas así lo indica la European Commission (2001) y de acuerdo a Groupement Européen de l'Industrie de la Régénération (GEIR) en el año 2018 en Europa se han recolectado 2'100.000 toneladas de aceite usado (Hartmann, 2019). Un ejemplo es España, donde la recolección de aceite reciclado en el año 1999 fue de 214.799 Toneladas anualmente, así lo indica Arner, Barberán & Mur (2007) y en el año 2019 según el Sistema Integrado de Gestión de Aceites Usados de España (SIGAUS) han recolectado 160.000 toneladas de aceite usado (2020, párr. 1). Por otro lado, en el continente americano en Estados Unidos, según Teintze (1991) los 770.000.000 gal/año ingresan al sistema de gestión de aceite usado, a diferencia de países de América del Sur, como Brasil quien recicla al año 270.000.000 lts [Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), 2002], y para Colombia el aceite reciclado corresponde al 60% de aceite usado al año (Martínez, Rojas & Bernal, 2018).

Para el caso del Ecuador, los datos obtenidos han generado 14'439.056,07 de litros de aceite usado [Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2018], este producto debe cumplir con un tratamiento específico luego de ser utilizado, así lo sostiene el boletín N° 219 del Ministerio del Ambiente y Agua (2020), donde explica según el comunicado que el 63% de aceites lubricantes usados son desechados al ambiente sin algún tratamiento previo o control.

En la ciudad de Guayaquil según los datos obtenidos De Guayaquil, M. I. M. (2006), en el año 2005 se recolectó 1'234.902 galones de aceite usado y en la actualidad debido a la falta de información existente relacionado con la recolección de aceites usados en Guayaquil, se tomó como referencia la cantidad de vehículos matriculados en Guayaquil en el año 2018 que proporciona la Autoridad de Tránsito Municipal de Guayaquil (ATM) de 484.049 vehículos, teniendo en cuenta, que en promedio un auto recibe 4 de cambios de aceite por año, y que en cada cambio requiere en promedio de 1 galón de aceite, entonces tenemos que al año en Guayaquil, aproximadamente se generan 1'936.196 galones de aceite lubricante usado.

Con respecto a la mezcla asfáltica reciclada, se conoce que los países europeos según European Asphalt Pavement Association (EAPA) (2019), son los que lideran en cantidades de toneladas de reciclaje de pavimento asfáltico, por ejemplo en el año 2009 son Alemania con 14'000000 Tn,

Italia con 12'000.000, Francia con 7'053.000, Países Bajos con 4'500.000 y Reino Unido 4'000000; pero, para el año 2019 según EAPA - Asphalt in figures, es Alemania que recicla 13'400.000 Tn, Italia 9'500.000 Tn, Francia 8'074.000 Tn, Inglaterra 6'050.000 Tn, Republica Checa 2'800.000 Tn. Por otra parte, Schimmoller et al. (2000) mencionan que en el año 2000 Estados Unidos recicló cerca de 33'000.000 Tn de mezcla asfáltica y según EAPA - Asphalt in figures (2019), este país recicló 88'000.000 Tn de mezcla asfáltica.

Actualmente, en Ecuador no se encuentra información en estadísticas, debido a que no existen entidades que recaben o administren datos relacionados con el reciclaje de pavimento de asfalto. Ahora, si existe el Acuerdo Ministerial N° 042, que manifiesta como debe ser el uso de los lubricantes reciclados y la responsabilidades de distribuidores y toda persona natural o jurídica que manipule lubricantes (Ministerio del Ambiente, 2013), en vista de que anualmente se utilizan 31 millones de galones de aceites y de ello solo el 20% es reciclado, logrando crear el mencionado acuerdo. Por ello es necesario conocer que aportes puede brindar esta sustancia a las mezclas asfálticas, ya que no solo es cuestión de reducir la contaminación al ambiente, sino también reducir el egreso de divisas que posee el Ecuador.

En vista que la creación de ambos componentes son derivados del petróleo, su obtención recae en procesos que causan impacto contaminante al ambiente y por ende a los seres vivos, es así que el uso de aceite y asfalto reciclado permitirá crear una alternativa beneficiosa para ambos recursos, el primero para disminuir el costo económico que implica crearlos y el segundo para dar mayor durabilidad a cada uno, de modo que se emplee los residuos utilizados en conjunto proporcionando una mezcla óptima de mayor duración, con menor impacto al ambiente y por ende menos costo económico, de esta manera el consumo anual de aceite reciclado aumentará y la contaminación por mezcla asfáltica se verá reducida.

Respecto a lo anteriormente planteado, surge la pregunta de este estudio de ¿cómo es el comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla asfáltica con aceite de motor?, para el objetivo sobre: Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla asfáltica con aceite de motor. Cuya hipótesis se expone sobre: las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente usando material reciclado de asfalto y aceite de motor cumplirán con lo establecido en la norma técnica MOP-001-F-2002 de

especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes de Ecuador, permitiendo su uso en vías secundarias o caminos vecinales.

Así, la investigación se establece bajo la línea de investigación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2020), sobre el dominio de Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables, de la línea institucional de territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción y línea de la facultad sobre: Materiales de construcción.

Para lo cual, la justificación metodológica, se ejecuta bajo un marco cuantitativo orientado al uso de la estructura de la mezcla asfáltica, la misma que se encuentra compuesta de materiales reciclados, como es el caso del aceite y el pavimento, y en cuanto a la justificación práctica, la investigación sirve de guía a futuros estudios que se relacionen con el uso de mezcla asfáltica y aceite reciclado, lo cual reduce el impacto ambiental de desecho los materiales provenientes de mezclas asfálticas.

Desarrollo

Como fundamento teórico para reforzar la investigación, se toma en consideración puntos importantes, tales como: propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, mezcla en frío, mezcla en caliente y mezclas con aceite de motor reciclado.

Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica

Wang et al. (2020), exponen que las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas a partir de pavimento de asfalto reciclado (RAP), se toman considerando aspectos económicos y sobre todo ambientales. Los materiales a partir de subproductos reciclados e industriales, se han visto en la actualidad cada vez más utilizados en el sector de la construcción de pavimentos, tanto por las autoridades viales como por las instituciones de investigación. Esto incluye, la utilización de pavimento de asfalto recuperado (RAP), tejas de asfalto reciclado (RAS), residuos de construcciones y demoliciones (CDW), residuos de caucho, escorias de acero, entre otros.

Sobre lo antes acotado, Poulidakos et al. (2017), refieren que el pavimento a partir de material de asfalto recuperado (RAP), proporciona agregados y aglutinantes de alta calidad y se puede reciclar hasta un 100% en nuevas carreteras, lo que se traduce en ahorros considerables en los costos, incluso si se utilizan agentes rejuvenecedores para restaurar las propiedades del aglomerante asfáltico antiguo.

Mezcla en frío

Debido a la influencia directa del RAP en la vida útil y rendimiento del pavimento reciclado, las características de RAP deben evaluarse los materiales. En general, los materiales RAP se reciclan del pavimento existente mediante el proceso de molienda y trituración y luego se mezcla con una mezcla de asfalto fresco y otros aditivos, por ejemplo, rejuvenecedor. Los factores típicos que influyen en la calidad del material RAP incluyen el contenido de humedad del RAP, la condición y el contenido de betún en el RAP, las fuentes de RAP y la gradación del agregado en el RAP (Xiao et al., 2018, p. 586).

En la actualidad se ha demostrado que el reciclaje en frío resulta rentable para la rehabilitación de carreteras con mucho tráfico. Justificando el uso del RAP para el diseño de nuevas mezclas asfálticas y afirman que se utilizan porcentajes bajos de RAP en la producción de pavimentos asfálticos debido al aglomerante envejecido que contiene en los materiales de RAP (Ali et al., 2018, p. 2011).

Mezcla en caliente

En los países bajos, la mezcla de asfalto en caliente (HMA) que contiene altos porcentajes de asfalto recuperado (RA) se produce en plantas de lotes a la que se conecta un tambor paralelo para precalentar el RA a aproximadamente 130°C o mediante un tambor doble. En el tambor de doble barril, los agregados vírgenes (VA) se precalientan en el tambor interior y luego se mezclan con RA húmedo a temperatura ambiente, en un tambor exterior que se dobla alrededor del tambor interior. En el tambor exterior también se añaden los finos vírgenes (relleno) y el betún. Debido a que la temperatura de mezcla está entre 160 y 180°C, los VA deben precalentarse a temperaturas altas, especialmente cuando se utilizan altos porcentajes de AR (Mohajeri, Molenaar & Van de Ven, 2015).

El uso de 50% de AR es una práctica común para todas las mezclas de base, aglutinante y capas de uso. No se permite RA en asfalto poroso. No es raro precalentar los VA a 320°C y más en el mezclador de doble tambor para obtener una temperatura de mezcla de 160°C. Especialmente cuando el RA está húmedo, los contenidos de humedad del 5% no son infrecuentes; también en este tipo de plantas de lotes, los VA se calientan a temperaturas bastante altas incluso cuando el RA se precalienta en un tambor paralelo a 130°C. Los VA deben calentarse a temperaturas más altas cuando se utilizan cantidades mayores de AR (Mohajeri, Molenaar & Van de Ven, 2015).

Mezclas con aceite de motor reciclado

En la actualidad, es bien conocido el uso de derivados de petróleo en automóviles con motores de combustión. Entre estos se encuentran los acetites de motor que se utiliza comúnmente como lubricantes, aceite de cilindro, aceite de motor, entre otros. Durante su vida útil dentro del automotor, este aceite de motor sufre cambios significativos en sus propiedades, cambio en su composición química. Estos cambios obedecen principalmente al cambio de temperatura dentro del motor, reacciones químicas, además de cambios dentro de su estructura molecular.

Después de su utilización, este aceite de motor se sustituye por uno nuevo, la duración de su uso depende de factores tales como la distancia recorrida por el vehículo, el tipo de aceite, el tipo de motor, la humedad, el hollín, entre otros, este aceite que es retirado del motor se denomina generalmente como residuos de aceite de motor (waste engine oil) (WEO). Las industrias tales como la aviación, así como en la marina, constituyen fuentes de WEO (Eleyedath & Krishna, 2020), acotan que “unos 3.500 millones de litros de aceite de motor se desperdician en EE. UU. cada año, se sabe además que aproximadamente 24 millones de métricas toneladas de WEO se generan anualmente en China” (p. 33), sin contar con los que generan los países no mencionados, por lo que, la práctica normal ha consistido en deshacerse del WEO por medio de la quema o del desecho. Un estudio informó que aproximadamente el 60% de la WEO, se genera anualmente en Malasia y se elimina como vertedero sin el tratamiento adecuado (Teoh, Noor, & Swee, 2018).

Materiales y métodos

Dentro de la metodología se enmarca en el método deductivo, se aplica la lógica deductiva, de lo general a lo particular, es decir, de las leyes y teoría a los datos (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). Debido a que la metodología dentro de la cual se desarrolla el trabajo, parte de teorías y postulados hacia los datos, que se obtienen como resultados (cuantitativos) de la experimentación realizada (ensayos de laboratorio) y que permite determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas por medio de la manipulación de las variables correspondiente a la composición de las mezclas bituminosas.

Todo esto con la finalidad de evaluar la hipótesis formulada sobre las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente usando mezcla reciclada de asfalto y aceite de motor y su cumplimiento con lo establecido en la norma técnica permitiendo su uso en vías secundarias o caminos vecinales.

El tipo de investigación corresponde al experimental, donde “se construye el contexto y se manipula de manera intencional a la variable independiente, después se observa el efecto de esta

manipulación sobre la variable dependiente” (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p. 150). Dado que por medio de los ensayos de laboratorio se procedió a manipular la variable independiente (aceite de motor reciclado), para luego observar el efecto del ensayo sobre las variables dependientes (propiedades mecánicas y mezcla asfáltica reciclada).

El enfoque es cuantitativo, donde se “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández, Fernández & Baptista, 2014 p. 4). Ya que principalmente su desarrollo se centra en la aplicación de ensayos de laboratorios aplicado a briquetas o muestras de ensayo que se crean de las mezclas dosificadas de diferentes compuestos. Este enfoque permite interpretar los valores numéricos que resulten de las pruebas aplicadas, así como la influencia de la aplicación de aceite de motor reciclado en las mezclas de asfalto reciclado.

Las técnicas concebidas para la recolección de información consisten en varios ensayos de laboratorio, mediante las cuales se manipulará las mezclas, entre los cuales se mencionan: método estándar para la extracción cuantitativa de materiales bituminosos en mezcla de pavimento asfáltico (ASTM D2172) o AASHTO T308/164; ensayo de estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato de Marshall (ASTM D1559 o AASHTO T 225); ensayo para determinación de la gravedad específica BULK (ASTM D2726); porcentaje de vacíos con aire en mezclas asfálticas densas y abiertas (ASTM 3203 o AASHTO T269; método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados grueso (ASTM C127); y, método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos (ASTM C128).

En lo referente a los instrumentos, los cuales serán utilizados mediante la aplicación de las técnicas propuestas para la obtención de resultados se tienen: equipo para fabricación de briquetas; moldes de acero; balanza; horno; termómetro; baño de maría; medidor de deformaciones; extractor centrifugo de asfalto; equipo de prensa hidráulica (ensayo a Marshall); pirómetro; martillo Marshall; formatos de laboratorio y fichas de observación.

Para efectos de la investigación, la población estuvo referida al diseño de 15 briquetas de mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de aceite de motor reciclado, y presumiblemente diferentes

propiedades mecánicas relacionadas. Dichas briquetas se utilizarán para la aplicación de ensayos de laboratorio, por tratarse de una investigación experimental la muestra a emplear es la totalidad de la población.

Ahora, de acuerdo a Hernández, Fernández & Baptista (2014), indican que en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador; por lo cual, se seleccionó como muestra no probabilística para conseguir el porcentaje óptimo de la variable independiente de la investigación porque se designa diferentes porcentajes de aceite de motor reciclado con 3 repeticiones como lo especifica la norma ASTM D1559, por cada porcentaje para disminuir el error de los parámetros, con el objetivo de obtener la mezcla asfáltica con los parámetros que cumplan con la norma MOP-001-F-2002 Ecuatoriana.

Es decir, como se trata de establecer el comportamiento de las propiedades mecánicas de todas las mezclas asfálticas recicladas con aceite de motor reciclado intencionalmente diseñadas para el efecto, se tomará en cuenta a toda la población como muestra, es decir la 15 briquetas a analizar, por lo que, para este caso, no se procede a calcular la muestra. La composición de las briquetas diseñadas para los diferentes ensayos, que contienen diferente porcentaje de mezcla asfáltica reciclada, así como de aceite de motor reciclado se propone a continuación:

Cuadro 1. *Dosificación de briquetas*

Mezcla asfáltica reciclada	Aceite de motor reciclado	Numero de Briquetas	Peso de Briquetas (gr)	Peso de Aceite de motor reciclado añadir (gr)	Observación
98.50%	1.50%	3	1200	18	en peso
99.00%	1.00%	3	1200	12	en peso
99.50%	0.50%	3	1200	6	en peso
100%	0.00%	3	1200	0	en peso

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

En este sentido, en la investigación la confiabilidad y la validez de los instrumentos de laboratorio empleados en los ensayos son del 100%, dado que los equipos del laboratorio donde se remitieron las muestras obtenidas se encontraban debidamente calibradas.

Análisis y discusión de los resultados

El material de mezcla de asfáltica reciclada se recolectó en la ciudad de Guayaquil, en la Av. José Antepara entre Av. José Vicente Trujillo y Av. Quito, recogiendo 22 kg de muestra (figura 1), y el aceite de motor reciclado se recolectó en: Lubricantes Omar, ubicado en la ciudad de Guayaquil, Enrique Ortega Moreira, Ciudadela Quisquis, obteniendo 1 galón de aceite de motor reciclado.

Figura 1. *Recolección de Mezcla asfáltica reciclada*



Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Posteriormente, se realizaron ensayos físico-químicos, para conocer las propiedades de las muestras de la mezcla asfáltica reciclada y del aceite de motor reciclado.

Cuadro 1 *Ensayos a realizar para determinar las propiedades de la mezcla asfáltica reciclada y aceite de motor reciclado.*

ENSAYOS O PROPIEDADES	TIPO DE MUESTRA			NORMA
	ACEITE DE MOTOR REICLADO	ASFALTO REICLADO	MEZCLA ASFÁLTICA REICLADA	
Punto de Inflamación	✓	✓		ASTM D92:01
Punto de Combustión	✓	✓		ASTM D92:01
Viscosidad Cinemática 20 °C (cSt)	✓			ASTM D445:01
Viscosidad Dinámica 20°C (Pa.s)	✓			ASTM D445:01
Viscosidad Brookfield 23 °C ± 15°C		✓		ASTM D445:01
Viscosidad Brookfield 135 °C ± 15°C		✓		ASTM D445:01
Análisis termogravimétrico			✓	ISO 11357- 3:11
Ensayo de Granulometría			✓	INEN 696
Ensayo para la Determinación de la densidad, Densidad relativa y absorción de agregado grueso y fino de la mezcla asfáltica reciclada			✓	INEN 856 Y 857

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Se realizó previamente el ensayo de Método estándar para la extracción cuantitativa de materiales bituminosos en mezcla de pavimento asfáltico (ASTM D2172) o AASHTO T308/164, para así determinar el contenido de asfalto que contiene la mezcla asfáltica reciclada y este resultado define si o no necesitara añadir asfalto virgen para realizar la mezcla, debido que en Ecuador no existe una norma en la cual regula sobre el uso de las mezclas asfálticas recicladas se tomó como referencia del Manual de Carreteras de Chile, Sección 5.423.203, Material Recuperado (RAP) donde especifica que: si el porcentaje de cemento asfáltico que posee el RAP es menor a un 3,0%, el material recuperado (RAP) deberá considerarse sólo como un árido más dentro de la mezcla asfáltica (MOP-DGOP-Dirección de Vialidad Chile, 2018). Si el porcentaje de asfalto en el RAP es mayor que 3%, el % de asfalto a agregar será el óptimo teórico menos el % de asfalto del RAP. Luego, se llevó a cabo el ensayo granulométrico de la mezcla asfáltica reciclada y posteriormente con los datos obtenidos se efectuó el cálculo del contenido de asfalto óptimo teórico para elaborar la dosificación de las briquetas. Después, se elaboraron las briquetas de acuerdo a la dosificación para el diseño de la mezcla de material reciclado de asfalto con el aceite de motor. Se midieron las alturas y los pesos en saturado superficialmente seco, en aire y en agua, de todas las briquetas de acuerdo como lo establece la norma ASTM D2726.

Antes de efectuar el ensayo del método de Marshall a las briquetas fabricadas, se tomaron las medidas de las alturas de las briquetas, el peso saturado superficialmente seco, en aire y en agua de las briquetas para determinar las densidades de Bulk de éstas; y se realizó el ensayo del método de Marshall para determinar la estabilidad y flujo de las briquetas de acuerdo a la norma ASTM D1559.

Luego de tabulados los datos obtenidos se realizaron las gráficas de las curvas de: peso unitario vs. contenido de asfalto; estabilidad vs. contenido de asfalto; flujo vs. contenido de asfalto; porcentaje de vacíos V_a vs. contenido de asfalto; porcentaje de vacíos de agregado mineral VMA vs. contenido de asfalto; estabilidad vs. % aceite de motor reciclado; flujo vs. % aceite de motor reciclado; % aceite de motor reciclado vs propiedades de la mezcla asfáltica reciclada con aceite de motor reciclado; y, posteriormente por medio de las gráficas se calcula el asfalto óptimo entre la mezcla asfáltica reciclada y el aceite de motor reciclado. Asimismo se identificaron las propiedades físicas y químicas de la mezcla asfáltica reciclada, con el uso de 1 Kg de muestra de material, se muestran los resultados en el cuadro 2:

Cuadro 2 Resultados de ensayos de punto de inflamación y punto de combustión de la mezcla asfáltica reciclada y el aceite de motor reciclado.

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y PUNTO DE COMBUSTIÓN						
Código de muestra	Parámetro	Resultado (°C)	Desviación estándar	Norma de Ensayo	Temperatura ambiente promedio	Humedad relativa promedio
Mezcla asfáltica reciclada	Punto de inflamación	219	0.5	ASTM D92:01	28 °C	63%
	Punto de Combustión	240	0.5			

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Posteriormente se identificaron las propiedades físicas y químicas del aceite de motor reciclado, con el uso de 3 litros de aceite de motor reciclado (cuadro 3). Es importante conocer estas propiedades para realizar la combinación entre la mezcla de reciclado de asfalto y aceite de motor, sin exceder el rango de temperatura que arroja los resultados de los ensayos de punto de inflamación y combustión; y las fuerzas de cohesión en la mezcla de los materiales.

Cuadro 3 Resumen de resultados de caracterización del aceite de motor reciclado

RESUMEN DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO						
ENSAYOS ACEITE DE MOTOR RECICLADO	RANGOS		RESULTADOS			
	NORMA					
	DIN 51519 o ASTM D 2422		Temperatura		Condición	
	Min.	Max.	20 °C	40 °C	Cumple, se obtuvo la clasificación del aceite de motor reciclado usando la tabla A.1, de la norma DIN 5151 en función de la viscosidad cinemática la cual es de grado ISO VG 32 o según la norma SAE J300 es de grado 15W.	
Viscosidad Cinemática 40°C. mm ² /s (cSt)	28.8	35.2	90.65	32		
Viscosidad Dinámica 20°C (Pa.s)	-	-	0.068		-	
NORMA NTE INEN 2030:2011, tabla 5			RESULTADOS			
Punto de inflamación	190	-	Punto de inflamación	210.6	Cumple	
Punto de Combustión	-		Punto de Combustión	270.3	-	

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Una vez obtenido los datos del ensayo granulométrico se procede a realizar el cálculo del porcentaje de asfalto teórico en la mezcla mediante el uso de la fórmula empírica que establece el Asphalt Institute del año 1986 de USA, obteniendo los resultados siguientes:

Cuadro 4 Cálculo del porcentaje de asfalto teórico

Variabes	Formula	Resultado
a	Porcentaje retenido acumulado en el tamiz 2.36 mm (N° 8)	69.8
b	Es la diferencia entre el % pasante acumulado del tamiz 2.36 mm (N° 8) y el % pasante acumulado del tamiz 0.075 mm (No. 200)	26.5
c	Porcentaje de agregado mineral que pasa el tamiz 0.075 mm (No. 200)	3.7
k	El porcentaje de agregado mineral que pasa del tamiz 0.075 mm (No. 200) es menor al 5%	0.2
F	Gravas angulosas, redondeadas, trituradas de baja absorción.	0.6
P	$P=0.035a+0.045b+K*c +F$	4.976

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Reemplazando valores de las variables en la formula se tiene un resultado de: $P = 4.976\% \approx 5\%$, con un cemento asfáltico óptimo teórico en gramos: $1200 \text{ gr.} * 0.05 = 60 \text{ gr.}$ A partir de este valor, se realizó el cuadro de dosificación para la creación de las briquetas con diferentes porcentajes de asfalto y de aceite de motor reciclado.

Por otro lado, en la elaboración de las briquetas de la combinación de la mezcla asfáltica reciclada con el aceite de motor reciclado, se tiene que para cada variación de porcentaje de aceite de motor reciclado se fabricaran 3 briquetas las cuales son el 0%, 0,5%, 1,00% y el 1,50% y en total son 12 briquetas.

Figura 2

Incorporación del aceite de motor reciclado en la mezcla asfáltica reciclada.



Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Figura 3

Algunas de las briquetas elaboradas por la mezcla asfáltica reciclada con el aceite de motor reciclado



Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Luego, se ejecuta el ensayo del método Marshall, sin antes conocer el valor de la Gravedad específica bulk promedio de los agregados y el promedio de porcentaje de absorción de los agregados gruesos, intermedios y finos, para determinar los valores de porcentajes de vacíos y porcentaje de absorción del asfalto entre otros. Cuyos resultados son: para la gravedad específica bulk promedio de los agregados es de 2.643 gr/cm³ y para la absorción promedio de los agregados es de 0.6327.

Después, se detallan en el cuadro siguiente, los parámetros óptimos para el diseño de la mezcla asfáltica reciclada con el aceite de motor reciclado, que cumplen con la norma del MOP.

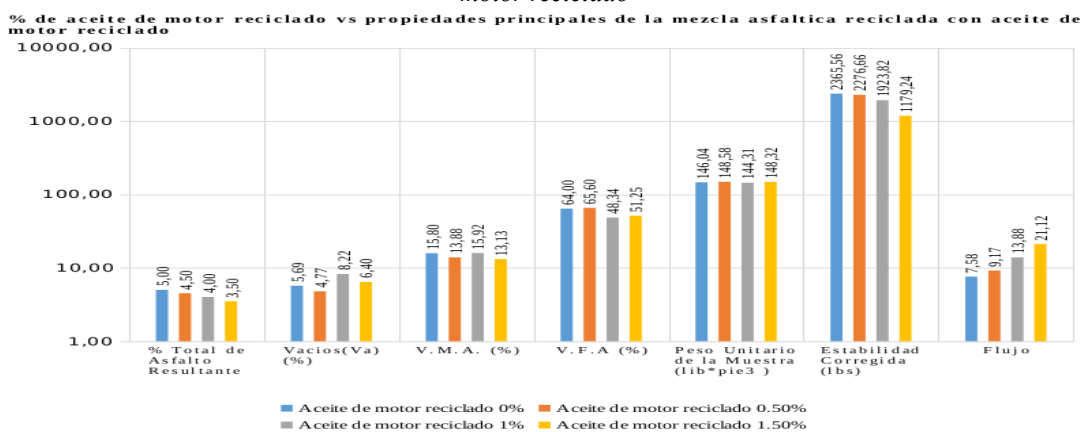
Cuadro 5 Tabla de parámetros óptimos obtenidos en relación al porcentaje de total de asfalto resultante

PARÁMETROS DE DISEÑO OPTIMO ENTRE LA MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA Y ACEITE DE MOTOR RECICLADA ENCONTRADOS EN LAS CURVAS									
MUESTRA	(Agregado) % Mezcla asfáltica Reciclada	% de aceite motor reciclado	% Total de Asfalto Resultante	Peso Unitario (lib*pie3)	Vacíos (Va) (%)	V.M.A (%)	V.F.A (%)	Estabilidad Corregida (lbs)	Flujo
OPTIMA	95%	0.42%	4.58%	148.50	4.65	13.95	66.5	2304	8.68
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 tabla 405.5.4					3% - 5%	Min. 13%	65% - 75%	Min. 1800lbs	8-14

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

En la figura 4, se muestra el Flujo vs. % Aceite de Motor Reciclado, se observa que al incrementar el porcentaje de incorporación del aceite de motor reciclado el valor del flujo aumenta y se representa por la siguiente ecuación: $y = -0.8222x^3 + 7.5x^2 - 0.3778x + 7.5833$.

Figura 4 Porcentaje de aceite de motor reciclado vs propiedades de la mezcla asfáltica reciclada con aceite de motor reciclado



Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

La incorporación de aceite de motor reciclado provocó disminución de sus propiedades y un comportamiento oscilante u inestable en los parámetros de la características del diseño de mezcla asfáltica reciclada como son: el porcentajes de vacíos (V_a), vacíos en el agregado mineral (V.M.A), vacíos llenos de asfalto (V.F.A), visualizándose sucesivamente en la gráfica puntos altos y bajos por cada incremento de porcentaje de aceite de motor reciclado a partir de la incorporación del 1% de aceite de motor reciclado en las mezclas de diseño.

Los únicos parámetros que presentaron curvas con puntos estables fue la: estabilidad y el flujo. Por tanto, se evidenció que conforme fue aumentando la incorporación de aceite de motor reciclado en la mezcla asfáltica reciclada el valor de la estabilidad fue descendiendo, hasta un punto crítico que sobrepasa el límite mínimo de estabilidad y no cumple con la especificación del MOP. En el flujo sucedió lo opuesto, en la cual se constató que el incremento del aceite de motor reciclado en las mezclas de diseño causó un aumento.

Ahora, se muestran los parámetros para evaluar si las propiedades de los diseños de las mezcla asfálticas recicladas con la incorporación de diferentes porcentajes de aceite de motor reciclado de cumplen con los parámetros indicados por la Norma de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 (cuadro 5).

Cuadro 5 *Parámetros de las propiedades mecánicas para mezclas asfálticas establecidos por el MOP*

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

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002, tabla 405.5.4

Finalmente, en el siguiente cuadro 6 se muestra la determinación de la evaluación de los resultados definitivos, a saber:

Cuadro 6 Evaluación de resultados de los parámetros obtenidos de la combinación entre la mezcla asfáltica reciclada con el aceite de motor reciclado

TABLA DE RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS DEL DISEÑO MEZCLA ASFALTICA RECICLADA CON EL ACEITE DE MOTOR RECICLADO								
MUESTRA	% de aceite de motor reciclado	% Total de Asfalto Resultante	Peso Unitario de la Muestra (lib*pie ³)	Vacios (Va) (%)	V.A.M. (%)	V.F.A (%)	Estabilidad Corregida (lbs)	Flujo
BASE (0% de aceite de motor reciclado)	0.00%	5.00%	146.04	5.69	15.80	64.00	2366	7.58
Condición				No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	Cumple
Observación: En este diseño de mezcla los parámetros de %Va. y el %V.F.A. no cumplen con las especificaciones técnicas del MOP								
OPTIMA Con el 0,42% de aceite de motor reciclado	0.42%	4.58%	148.50	4.65	13.95	66.50	2304	8.68
Condición				Todas cumplen				
Observación: Todos los parámetros de este diseño óptimo de mezcla cumple con toda las especificaciones del MOP.								
Con el 0,50% de aceite de motor reciclado	0.50%	4.50%	148.58	4.77	13.88	65.60	2277	9.17
Condición				Todas cumplen				
Observación: Todos los parámetros de este diseño de mezcla cumple con toda las especificaciones del MOP.								
Con el 1,00% de aceite de motor reciclado	1.00%	4.00%	144.31	8.22	15.92	48.34	1924	13.88
Condición				No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	Cumple
Observación: En este diseño de mezcla los parámetros de %Va. y el %V.F.A. no cumplen con las especificaciones técnicas del MOP								
Con el 1,50% de aceite de motor reciclado	1.50%	3.50%	148.32	6.40	13.13	51.25	1179	21.12
Condición				No cumple	Cumple	No cumple	No cumple	No cumple
Observación: En este diseño de mezcla los parámetros de %Va., el %V.F.A., Estabilidad y el Flujo no cumplen con las especificaciones técnicas del MOP.								
Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 tabla 405.5.4				3%-5%	Min. 13%	65%-75%	Min. 1800lbs	8-14

Fuente: Castillo & Yamasqui (2021)

Conclusión

Se realizó la evaluación del diseño de la mezcla asfáltica reciclada con el aceite de motor reciclado realizando diferentes variaciones de porcentajes de incorporación del aceite de motor reciclado, en dichas mezclas el aceite de motor reciclado interviene como ligante en la mezcla realizando en proporciones de sustitución con el asfalto y la mezcla asfáltica reciclada interviene como agregado en la mezcla de diseño, con el propósito de conocer los resultados de las propiedades mecánicas que generan entre la combinación entre la mezcla asfáltica reciclada con el aceite de motor reciclado.

Para cumplir con el objetivo se realizaron los siguientes ensayos como: Viscosidad Absoluta (Broockfield), Punto de inflamación, Ensayo de granulometría y el Ensayo de contenido de asfalto en la mezcla, según los resultados encontrados se concluye que el estado actual del asfalto de la mezcla asfáltica reciclada presenta un alto grado de envejecimiento, debido a que tiene un valor de contenido de asfalto por debajo del 5% óptimo y también el grado de viscosidad es muy bajo o blando, lo cual indica que es un asfalto del tipo AC-6, en consecuencia no cumple con las especificaciones técnicas del MOP-001-F-2002, esto indica los tipos de asfaltos a usar está entre el AC-20 y el AC-40, en la construcción de mezclas asfálticas, la gradación del agregado en la curva granulométrica presentó una tendencia al límite mínimo de las especificaciones del MOP-001-F-2002, esto se debe al desgaste por el sometimiento al fresado y así como lo demuestra el ensayo termogravimétrico, la cual indica que la mezcla asfáltica reciclada pierde el 2% de su composición en peso a una temperatura de 150 °C.

Basados en los resultados obtenidos se concluye que el aceite de motor reciclado demuestra degradación en sus propiedades, ya que su viscosidad es baja en comparación con los aceites nuevos de iguales características, esto se debe por su anterior uso en la cual fue sometido al desgaste con elementos mecánicos pero por otra parte es apta para incorporarla en la mezcla porque la temperatura del punto de inflamación está por encima de los 160°C de lo que especifica el MOP-001-F-2002, Sub-secciones 405-5.05.2. Literal b., para la elaboración de la mezcla asfáltica reciclada.

Finalmente, se puede concluir que la hipótesis de partida se cumple, debido a que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente usando mezcla asfáltica reciclada y aceite de motor reciclado cumplen con lo establecido en la norma técnica MOP-001-F 2002 de especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes de Ecuador, permitiendo su uso en vías secundarias o caminos vecinales.

Referencias

1. Ali, A., Mehta, Y., Nolan, A., Purdy, C., & Bennert, T. (2018). Investigación de los impactos del envejecimiento y los porcentajes de RAP sobre la eficacia de los rejuvenecedores de aglutinantes de asfalto. *Construction and Building Materials*, 211.
2. Arner, A., Barberán, R., y Mur, J. (2007). La Política de gestión de residuos: los aceites usados. <https://www.redalyc.org/pdf/969/96917230003.pdf>
3. Asphalt Institute. (1986). Manual Asphalt hot-mix recycling SERIES NO. 20 (MS20). <https://p2infohouse.org/ref/33/32444.pdf>
4. Autoridad de Tránsito Municipal de Guayaquil (ATM). (2018). Cantidad de vehículos matriculados en Guayaquil. <https://www.atm.gob.ec/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>
5. Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA). (2002). Revisión y análisis de las experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y Méjico respecto a los cinco elementos claves para el manejo ambiental de lubricantes usados. <https://cutt.ly/IETdZX5>
6. De Guayaquil, M. I. M. (2006). Factibilidad del manejo ambientalmente correcto (MAC) de los residuos aceitosos en Guayaquil. <https://cutt.ly/JETdswE>
7. Ecuador, República de. (2002). Especificaciones generales especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. MOP-001-F-2002. <https://cutt.ly/yEYyAqT>
8. Eleyedath, A., & Krishna, A. (2020). Uso de aceite de motor usado en materiales que contienen componentes asfálticos. In Pacheco-Torgal, Amirkhanian, Wang, & Schlangen, *Eco-efficient pavement construction materials* (pp. 33-50). Woodhead Publishing.
9. European Asphalt Pavement Association (EAPA). (2019). Asphalt in figures. <https://cutt.ly/kETHizo>
10. European Commission (2001). Critical Review of Existing Studies and Life Cycle Analysis on the Regeneration and Incineration of Waste Oils. European Commission.
11. Groupement Européen de l'Industrie de la Régénération (GEIR). (2018). GEIR news December 2018. <https://cutt.ly/WEUkEOM>
12. Hartmann, C. (2019). Re-refining success. <https://cutt.ly/AETdhuX>
13. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación.

14. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2018). Información Económica Ambiental en Empresas (ENESEM). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
15. Martínez, J., Rojas, A. y Bernal, K. (2018). Estudio de mezclas asfálticas recicladas (reclaimed asphalt pavement) modificado con diferentes porcentajes de WEO (Waste engine oil). <https://cutt.ly/hETdQNS>
16. Ministerio del Ambiente y Agua. (2020). Por primera vez Ecuador reciclará el 100% de lubricantes usados. <https://cutt.ly/TETdYhN>
17. Ministerio del Ambiente. (2013). Acuerdo Ministerial N. 042. <https://cutt.ly/5ETNpCi>
18. Mohajeri, M., Molenaar, A., y Van de Ven, M. (2015). Mezcla de betún virgen y aglutinante de AR en mezclas con altas cantidades de AR. In Huang & Di Benedetto, *Advances in Asphalt Materials: Road and Pavement Construction* (pp.363-392). Laramie: Elsevier.
19. MOP-DGOP-Dirección de Vialidad Chile. (2018). Manual de Carreteras de Chile, Volumen N° 5. <https://cutt.ly/CEYu2wI>
20. Norma ASTM C127. (s/f). Método de Prueba Estándar para la: Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción de Agregado Grueso. <https://cutt.ly/mEUlktS>
21. Norma ASTM C128. (s/f). Método de Prueba Estándar para la: Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción de Agregado Fino. <https://cutt.ly/KEUzjKQ>
22. Norma ASTM D1559 AASHTO T 225. (s/f). Diseño de mezclas método Marshall e interpretación de resultados. <https://cutt.ly/geyuzfk>
23. Norma ASTM D2172. (s/f). Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures. <https://cutt.ly/REYuAd4>
24. Norma ASTM D2726. (s/f). Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bitumi. <https://cutt.ly/wEYip5R>
25. Norma ASTM D3203. (s/f). Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures. <https://cutt.ly/uEUlysq>
26. Poulidakos, L., Papadaskalopoulou, C., Hofko, B., Gschosser, F., Cannone, A., Bueno, M., Arrigadaa, M., Sousaf, J., Ruizg, R., Petith, C., Loizidoub, M. & Partl, M. (2017). Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction. <https://cutt.ly/DET1egQ>

27. Schimmoller, V., Holtz, K., Eighmy, T., Wiles, C., Smith, M., Malasheskie, G., Rohrbach, G., Schaftlein, S., Helms, G., Campbell, R., Van Deusen, C., Ford, B. & Almborg, J. (2000). Recycled Materials in European Highway Environments. <https://cutt.ly/2ETBSAz>
28. Sistema Integrado de Gestión de Aceites Usados de España (SIGAUS). (2020). 135.600 t de aceites usados gestionadas por SIGAUS en 2019. <https://cutt.ly/2ETfxRC>
29. Teintze, L. (1991). Used Oil Issues and Opportunities,. Estados Unidos: Texaco Inc.
30. Teoh, W., Noor, Z., & Swee, Y. (2018). Catalyzed waste engine oil as alternative binder of roofing tiles. <https://cutt.ly/sEUdGR2>
31. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2020). Descripción de proyecto de investigación. <https://cutt.ly/tETfRGq>
32. Wang, D., Cannone, A., Hoon, K., Riccardi, C., & Wistuba, M. (2020). Experimental Investigation of Performance Properties of Asphalt Mixture Designed with the Re-recycled RAP and EAFSS. <https://cutt.ly/WET1ddu>
33. Xiao, F., Yao, S., Wang, J., Xinghai, L., & Amirkhanian, S. (2018). Construction and Building Materials. <https://cutt.ly/wET0NBo>