

EMULSIONES ASFÁLTICAS EN LAS VÍAS DE PORTOVIEJO Y SU UTILIZACIÓN RACIONAL COMO SUSTITUTO DEL BETÚN

EMULSIONS IN THE ROADS OF PORTOVIEJO AND THEIR RATIONAL USE AS A SUBSTITUTE FOR BITUMEN

Lucy Elizabeth Solórzano Villegas^{1*}

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Carrera de Ingeniería Civil, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-5304>. Correo: lucy.solorzano@unesum.edu.ec

Luis Alfonso Moreno Ponce²

² Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Carrera de Ingeniería Civil, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9880-1310> , Correo: luis.moreno@unesum.edu.ec

María Lorena Ponce Vences³

³ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador, Carrera de Ingeniería Civil, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4302-5713>, Correo: maria.ponce@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: lucy.solorzano@unesum.edu.ec

Resumen

La construcción de carreteras está en aumento en todo el mundo y el agua se considera un componente para reemplazo de combustible en mezclas bituminosas, dado que, se emulsiona mediante un proceso químico con el betún y se obtiene la denominada emulsión asfáltica. La presente investigación tiene como objetivo analizar la factibilidad de implementar emulsiones asfálticas en las mezclas como capas de rodadura en la red vial de la ciudad Portoviejo, realizando ensayos de laboratorio por medio de probetas hasta determinar las dosis apropiadas que cumpla con las características de la zona. Para ello, se utilizaron en total tres especímenes para la elaboración de las pruebas de cada material, la indagación tuvo un enfoque cuantitativo, de campo y experimental. Con los resultados de las muestras de emulsión y micro-pavimento se determinó el factor principal, por el cual, el empleo de esta tecnología no ha dado buenos resultados en los últimos años, revelando las condiciones aceptables y funcionales para su desarrollo.

Palabras clave: asfálticas; betún; emulsiones; vías.

Abstract



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial “ALEMA-Pentaciencias” E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Road construction is increasing worldwide and water is considered a component for fuel replacement in bituminous mixtures, since it is emulsified by a chemical process with bitumen and the so-called asphalt emulsion is obtained. The objective of this research is to analyze the feasibility of implementing asphalt emulsions in mixtures as wearing courses in the road network of the city of Portoviejo, carrying out laboratory tests by means of test tubes to determine the appropriate doses that meet the characteristics of the area. For this purpose, a total of three specimens were used for the elaboration of the tests of each material; the research had a quantitative, field and experimental approach. With the results of the emulsion and micro-surfacing samples, the main factor was determined, for which the use of this technology has not given good results in recent years, revealing the acceptable and functional conditions for its development.

Keywords: asphalt; bitumen; emulsions; roads.

Fecha de recibido: 12/04/2022

Fecha de aceptado: 28/07/2022

Fecha de publicado: 01/08/2022

Introducción

Portoviejo es una ciudad que se encuentra en pleno camino al desarrollo, especialmente en el campo vial, tanto en su zona rural como en la zona urbana se han venido creando nuevas vías, la mayoría de ellas quedan a nivel de material granular de mejoramiento, sobre todo esto se ha venido dando los últimos 20 años, pero estas vías necesitan ser rehabilitadas a un nivel de mayor durabilidad y confort.

Es por esto, que se ha venido interviniendo en ellas colocándoles doble riego asfáltico o en su lugar carpeta asfáltica utilizando el tradicional Betún de asfalto en caliente. Este tipo de mezcla asfáltica ha dado buenos resultados, pero también es cierto que este método significa un aumento en la contaminación ambiental, y llevarlo a cabo requiere un tiempo más o menos prolongado. A pesar de ser esta una alternativa ya utilizada con hace algún tiempo en otros países como Estados Unidos, México, Chile, Argentina y países europeos, todavía en Ecuador no se ha generalizado su uso, y se argumenta varios motivos como por ejemplo su costo y lo más importante el desconocimiento sobre todo en nuestra provincia de cómo se debe implementar esta tecnología, lo cual provoca cierto recelo o temor de contratantes y constructores a emplearlo masivamente.

El objetivo primordial de esta investigación consiste en analizar cuan factible es la implementación de Emulsiones Asfálticas en las mezclas como capas de rodadura en la red vial de la ciudad Portoviejo. Este análisis no pretende demostrar que las emulsiones asfálticas son mejor o peor opción al momento de utilizarla en mezcla para la capa de rodadura de las vías de la ciudad Portoviejo, solo trata de estudiar lo que se ha venido haciendo y a su vez establecer en que se podría perfeccionar para que su uso de excelentes resultados.

El desarrollo de esta indagación resalta el estudio del marco conceptual y teórico del petróleo y las emulsiones asfálticas. A su vez, manifiesta la recopilación de información sobre las vías en las cuales ha dado resultados

favorables la implementación de las emulsiones asfálticas, y mediante pruebas de revestimiento, adherencia, muestras compactas, densidad de la masa y estabilidad, exteriorizar los posibles motivos por los cuales no ha funcionado esta metodología en otras ocasiones. El impacto de este procedimiento integral de diseño incrementará la probabilidad de que futuros proyectos de reciclado en frío con emulsión, sean exitosos. Para fundamentar el proceso de estudio. A continuación, se describen los elementos teóricos que justifican las características y necesidades de la investigación:

Emulsión de asfalto para la construcción y mantenimiento de carreteras

Producción de asfalto de mezcla fría basado en emulsiones

El mezclado de emulsiones en una planta central o estacionaria permite la producción de mezclas de una calidad muy alta debido a un control de materiales más preciso. La baja temperatura de fabricación y compactación en la mezcla asfáltica en frío conlleva muchas ventajas potenciales. Los beneficios más importantes son la reducción de emisiones, la reducción del consumo de combustible y mejores condiciones de trabajo para los trabajadores. Mientras que la disminución del consumo de combustible obviamente ahorra dinero. La aplicación de CMA también genera gastos que deben tenerse en cuenta. Con especial atención a los gastos financieros y las ventajas, esta sección describe los aspectos positivos y negativos del uso de CMA (Shobhit & Bhupendra, 2021).

Diseño y Producción de la Mezcla - Diseño de Mezclas de Emulsiones de Gradación Abierta (MEGA)

En Ontario la norma para el diseño del proceso de mezcla de MEGA consiste en mezclar cantidades medidas de agregados y emulsión por un periodo de tiempo decidido con anterioridad y así determinar la capacidad de la emulsión para cubrir el agregado adecuadamente. El proceso del diseño de mezcla generalmente ha indicado que se requiere entre el 5.0% y el 6.0% de Catiónico de Endurecimiento Mediano (CMS-2) para encubrir adecuadamente el agregado seleccionado. El agregado seleccionado generalmente es un agregado limpio y grueso.

La interacción entre el asfalto y el relleno juega un papel clave en el desempeño de las mezclas asfálticas y está influenciada por las propiedades del material. La cantidad de cemento utilizada en este estudio fue 1,0%, 1,5% y 2,0% de la masa total de RAP y agregados nuevos. La cantidad de asfalto emulsionado se fijó en 2,2%, 2,9%, 3,6% y 4,3% de la masa de agregado total. Para poder quitar lo pegajoso de la superficie y permitir la circulación del tráfico, una cubierta de agregado se esparce sobre la superficie después de pasar el rodillo por primera vez. Está cubierta de agregado también le da cohesión a la superficie y rellena los espacios vacíos en la MEGA. El agregado que se utiliza es arena y el ritmo de aplicación es aproximadamente de 5.0 Kg. /m² (Pi et al., 2019).

Producción y Diseño de Mezcla – Material Granular Estabilizado con Emulsión (MGEE)

El procedimiento que se sigue en Ontario para el procedimiento del diseño de la mezcla del MGEE consiste en mezclar cantidades medidas de agregado y emulsión para determinar las distintas normas según las propiedades de lo mezclado. El procedimiento del diseño de la mezcla indica generalmente que se requiere entre el 5.0% y el 6.0% de Catiónico de Endurecimiento Lento (CSS-1) para conseguir una mezcla óptima.

Normalmente el agregado consiste de agregado fino y grueso, de un tamaño menor de 16mm. La gradación escogida es por lo general continua (Pi et al., 2019).

Algunas técnicas especiales utilizando emulsiones de asfalto proporcionan beneficios tales como:

Tabla 1: Técnicas de aplicación de emulsión de asfalto

Técnicas de Aplicación	Beneficios
Sellado con "chip" doble o triple	Incremento en la vida de servicio.
Aglutinantes modificados	Tiempo de cierre más corto, retención mejor de los "chips", incremento de vida de servicio.
Agregados precubierto.	Tiempo de cierre más corto, retención mejor de los "chips", color más negro.
Sellado con arena.	Menos desmoronaje y descascarado.
Sellado "sándwich".	Vida de servicio más larga, sella pavimentos purgados, apropiado para carreteras con un alto volumen de tráfico.
Sellado "cape"	Menos agregados sueltos, menos ruido de neumáticos, vida de servicio más larga, volumen alto de tráfico.

Fuentes: Datos obtenidos de la web

Sistemas de Micro-pavimentos

Las mayores diferencias entre los variados sistemas de micro-pavimentos, se deben a los tipos de emulsificante y polímeros usados. Aunque el micro-pavimento puede ser diseñado aniónico, todas las emulsiones usadas hasta el presente para micro-pavimentos en los Estados Unidos, han sido catiónicas. El micropavimento se utiliza principalmente para mejorar la fricción de la superficie y para rellenar surcos de ruedas. Cuando se diseña y construye correctamente, ha demostrado un buen rendimiento durante 4 a 7 años (Bhargava et al., 2021). Dado que el micropavimento se aplica en una capa delgada, de 10 a 13 mm, su uso debe limitarse a pavimentos estructuralmente sólidos. El único problema de ingeniería no resuelto relacionado con esta tecnología es la falta de procedimientos de prueba de diseño de mezcla estándar.

Máquina Mezcladora/Aplicadora

Para aplicar micro-pavimentos en carreteras de alto volumen de tráfico, se usa una máquina de mezclado, carga y aplicación continua (ver Figura 1). Estas máquinas son capaces de recibir materiales de camiones alimentadores, mientras ellas continúan mezclando y aplicando la mezcla. Este tipo de máquinas tienen estaciones de manejo en el lado opuesto, para optimizar la alineación longitudinal durante la aplicación. Las máquinas permiten al operador (en la parte trasera de la máquina) un total control de la velocidad durante la colocación. El control de velocidad es importante cuando se recuperan ahuellamientos en carriles de circulación con variaciones en su profundidad, ya que permite al operador ajustar el suministro de material simplemente ajustando la velocidad. El conductor al frente de la máquina, es responsable solo de la alineación de la máquina durante la aplicación (Laguna & Suárez, 2021).



Figura 1: Máquina típica de aplicación continua de micro-pavimentos.

Fuente: Datos obtenidos de la web

Caja recuperadora de ahuellamientos

Para recuperar los ahuellamientos en carriles, se utiliza una caja especialmente diseñada. Usualmente se suministran en dos tamaños: 1.5 y 1.8 mts, cuya estructura tienen dos cámaras perfiladas horizontalmente en “V”, con la punta de la “V” hacia la parte trasera de la caja. La caja está provista de dos ejes con gusanos sinfín para agitar continuamente el material, está diseñada para impulsar los agregados de mayor tamaño, hacia la parte más profunda y central del ahuellamiento o canal.

Estas cajas tienen una o dos placas metálicas de nivelación y una banda de caucho para el enrasado final. Los ahuellamientos hasta de 38 mm pueden ser llenados con un solo pase (aunque no es recomendable). Las cajas son ajustadas para dejar una ligera corona en la superficie, para que pueda ser compensada con la compactación inicial del tráfico (Gómez, 2017).

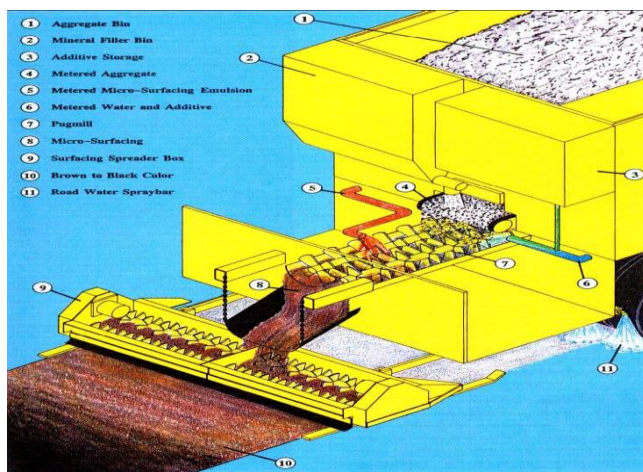


Figura 2: Esquema del proceso de producción de micro-pavimento.

Fuente: Datos obtenidos de la web

Control de calidad de la Emulsión Asfáltica

La mayoría de las pruebas son ASTM D244 Y AASHTO T 59; Carga de la partícula, Viscosidad, Potencial de perder la emulsividad, El tiempo que toma, Estabilidad en el almacenamiento, Mezclaje, Prueba de tamiz, Revestimiento y resistencia al agua, Recuperación elástica, Ductilidad, Punto R&B de relajamiento, Resistencia a la tensión, Dureza y tenacidad, Residuos por destilación.

Consideraciones sobre la mezcla fría. - Selección de “gradación abierta” (OGEM), material granulado estabilizado con emulsión (ESGM) o “gradación espesa” (DGEM).

Si es una emulsión que fragua en tiempo median; el tipo de piedra; los aditivos; así mismo se necesitan pruebas de mezclas en el laboratorio como lo son: Gradación, % emulsión, tipo de piedra, fuerza de estabilidad.

Mezcla de “Gradación-abierta”

- Los Angeles Abrasion loss	35% max.
- Absorción % masa	2% max.
- Finos de 75µm	2-6% max.
- Piedra plana o alargada	20% max.
- Piedra triturada	90% min.

Diseño pavimentos de mezcla fría

Gradación abierta

El contenido de la emulsión se determina comparando el peso del agregado con el residuo líquido del asfalto [diseño para un residuo de asfalto de 10gms]. Las pruebas son iguales como para las de gradación densa. El sellado de la superficie con emulsiones.

Gradación densa

- Tipo de emulsión; Fraguado lento (alta cantidad de finos de 75 µm) o Frague medio (baja cantidad de finos de 75 µm)
- Tipo aniónico o catiónico
- Contenido de la emulsión – basado en el % de piedra que pasa 4.75mm

$$\% = [(0.06 \times B) + (0.01 \times C)] \times 100$$

A= % de residuo de emulsión

B= % de la piedra seca pasando un tamiz de 4.75mm

C= 100-B = agregado seco retenido en el tamiz de 4.75mm

Probando el diseño de la mezcla:

Se deben realizar varias pruebas, en primer lugar, las Pruebas de revestimiento, luego Pruebas de adherencia, Pruebas de muestras compactas, Volumétrica (densidad de la masa), Estabilidad [min. 2224N después de 2 horas secando al aire] (Bhargava et al., 2021).

Micro-revestimiento de alto rendimiento

Las emulsiones se usan con éxito en: el micro-revestimiento para impermeabilizar y mejorar la fricción en las pistas de aterrizaje, los avances en la tecnología de las emulsiones hacen posible que las mezclas de emulsiones puedan ser utilizadas en una amplia variedad de construcción, rehabilitación y mantenimiento de carreteras, pavimentos para tráfico pesado [graduación abierta y densa], reducir el grosor que se requiere para las superficies del rodado, superficies de desgaste temporarias y mejorar la piedra de calidad mínima.

Es importante señalar que, el rendimiento de un pavimento depende de su condición estructural y funcional. Mientras que la condición estructural depende de la capacidad de carga del pavimento y de la base, la condición funcional describe cuan “buena” es una vía para permitir al usuario moverse desde un punto A hasta un punto B bajo condiciones aceptables de confort y seguridad, a costos y velocidad aceptables (Shobhit & Bhupendra, 2021).

Materiales y métodos

Para la obtención de un análisis de implementación de emulsiones asfálticas, un primer paso es la selección de las variables que los investigadores consideren necesarias en su desarrollo, para lo cual se realiza un estudio de suelos y asfalto que determine las características de estos materiales en la zona de Portoviejo y sus alrededores. La investigación tuvo un enfoque de campo y experimental, que sustenta sus bases en los recorridos realizados a las vías que en su momento trabajaron con las Emulsiones Asfálticas, ejerciendo un trabajo de campo recopilando datos que fueron analizados en oficina y laboratorio. A su vez, se realizó consultas a los diferentes constructores de estas vías acerca de las características de las emulsiones asfálticas que utilizaron y su proceso constructivo.

Por último, se comparó esta información con lo recomendado en los contenidos científicos acerca de las características adecuadas de una Emulsión Asfáltica y los requerimientos necesarios para una correcta implementación en las vías. A continuación, se detalla el marco conceptual y teórico del objeto de estudio.

Pruebas y selección de materiales

Para elaborar una mezcla con emulsión para micro-pavimentos se realizaron ensayos de materiales para determinar si los materiales obtenidos en las minas y fuentes de la zona que circunda el cantón Portoviejo son aptos para la mezcla. El primer paso en el diseño de una mezcla para micro-pavimentos, es la selección de los agregados y la emulsión asfáltica modificada con polímeros. La mayoría de las pruebas a los componentes de la mezcla son las establecidas por la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) y la *American Society of Testing Materials* (ASTM) (Gómez, 2017).

Agregados

Los agregados (excluyendo finos minerales) constituyen entre el 82 y 90 % del peso del micropavimento, dependiendo de la granulometría de los agregados y la aplicación, éstos tienen una gran influencia en el rendimiento de los micro-pavimentos. Para obtener mejores resultados, los agregados deben ser 100 %

triturados, limpios, resistentes y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia, mezclado y colocación. Los agregados triturados preferentemente deberán de ser angulares y no contener muchas partículas planas ni alargadas. La granulometría del agregado y otros componentes de la mezcla requeridos por los Estados, normalmente siguen las recomendaciones de la ISSA (Asociación Internacional de Pavimentación con Lechada) con variaciones menores (ver tabla 3)

Tabla 2: Composición de los sistemas de micro-pavimento

STATE	ISSA	ISSA	PA	OK	OH	TX	TN	VA	AZ
TYPE	II	III	B	II	-	GR-2	-	C	III
SIEVE SIZE mm (inches)	% PASSING								
9.5 (#3/8)	100	100	95-100	99-100	100	99-100	100	100	100
4.75 (#4)	90-100	70-90	65-85	80-94	85-100	86-94	64-100	70-95	55-74
2.36 (#8)	65-90	45-70	46-65		50-80	45-65	40-75	45-70	45-55
2.00 (#10)				40-60					
1.18 (#16)	45-70	28-50	28-45		40-65	25-46	25-60	32-54	25-40
0.60 (#30)	30-50	19-34	19-34		25-45	15-35	16-39	23-38	19-34
0.40 (#42)				12-30					
0.30(#50)	18-30	12-25	10-23		13-25	10-25	8-29	16-29	10-20
0.22 (#70)				8-20					
0.15 (#100)	10-21	7-18				7-18	5-20	9-20	7-18
0.075 #200)	5-15	5-15	4-10	5-15	5-15	5-15	2-14	5-15	5-15
Residual asphalt*	5.5-9.5	5.5-9.5	5.5-7.5	6-9	6-8	6-9	5-9	5-7.5	6-11.5
Mineral Filler	0-3	0-3	0.5-2.5	1.5-3.0	0.5-2.5	0.5-3.0	0.5-3.0	0.25-3.0	0.1-1.0
Polymer modifier **	3 min.	3 min.	as req.	3 min	as req.	as req.	as req.	2.8 min.	5 min.
Application rate kg/m ²	5.4-10.6	8.1-16.2	13.3-21.3	13.3	11.7-16.2	13.3	10.6-16.2	10.6-18.7	
Water and additive***									

Fuente: Datos obtenidos de la web.

Selección de agregados

Los agregados para el micro-pavimento deben de ser de alta calidad. Las actuales especificaciones generalmente identifican los tipos de agregados que pueden ser usados en micro-pavimentos.

El constructor, con las recomendaciones del laboratorio de diseño de mezclas, selecciona el tipo de agregado y la fuente apropiada que más se adapte a la operación, notifica al laboratorio de mezclas de su selección y de ser necesario proporciona una muestra de agregado para uso del laboratorio. Para la elaboración de este proyecto se tomó como ejemplo la colocación del micro-pavimento en la Autovía Portoviejo – Manta, dado lo importante que es esta carretera para el cantón Portoviejo y por ende para toda la Provincia de Manabí.

Finos minerales

Los finos minerales cumplen dos propósitos principales: a) minimizar la segregación de los agregados y b) incrementar o reducir el sistema con el cual la mezcla alcanza su rompimiento y su fraguado. Para la mayoría de los agregados, los finos minerales acortan el tiempo de rompimiento. El cemento Pórtland y la cal hidratada han sido usados como finos minerales para micro-pavimentos. Los finos minerales, típicamente incrementan la estructura del residuo asfáltico. Para la mayoría de agregados, los finos minerales son requeridos para que la mezcla obtenga un fraguado apropiado (Coronel, 2017).

Tabla 3: Pruebas de agregados común utilizadas para micro-pavimentos

TEST	Standard			Significance of the Test	Commonly used values for micro-surfacing
	ASTM	AASHTO	ISSA		
Soundness	C88	T104		Durability, resistance to weathering disintegration	15-20 % max. weight loss
LA Abrasion	C131	T96		Hardness, resistance to weathering disintegration	30% max weight loss
Particle Shape and Texture	D3398 D4791			Workability, strength and skid resistance	100 % crushed; good texture
Gradation	C136	T27		Calculation of AC content, maintain proper void content, affects surface texture workability	ISSA Type II and III
Sand equivalent	D2419	T176		Determine the amount of clay or plastic fines	60 min.
Unit weight	C29	T19		Determines change in unit weight of aggregate with change in moisture content	
Specific Gravity	C127 C128	T84		Determination of AC content	
Methylene Blue Value			TB 145	Determines fines reactivity	15 max*

* This value represents the maximum amount of methylene blue commonly allowed for the test. Only few laboratories run this test.

Fuente: Datos obtenidos de la web.

Los finos minerales particularmente el cemento portland, puede también ser usado para mejorar la granulometría, pero su costo puede ser prohibitivo. Normalmente se especifica hasta un 3 % de cemento portland (o ¼ a ¾ de cal hidratada) por el peso seco del agregado.

Pruebas

Gómez (2017) revela que los productores de emulsión realizan una serie de pruebas estándar a las emulsiones y al asfalto residual, para determinar su viabilidad de uso en micro-pavimentos y asegurarse de cumplir con las especificaciones Estatales. Algunas de las pruebas comúnmente usadas son:

Pruebas a las emulsiones asfálticas

- Viscosidad Saybolt Furol @ 25° C, seg. AASHTO T50 ASTM D244
- Pruebas de sedimentación AASHTO T59 ASTM D244
- Prueba del tamiz AASHTO T59 ASTM D244
- Carga de partícula AASHTO T59 ASTM D244
- Prueba del pH ISSA

Pruebas al residuo por evaporación

- Viscosidad absoluta, 60° C, poises ASTM 2171
- Penetración, 100 gm./5seg. @ 25° C AASHTO T49 ASTM D2397
- Punto de ablandamiento AASHTO T49 ASTM D36
- Ductilidad @ 25° C, 5 cm./min. cm. ASTM D113
- Contenido de polímeros en el residuo ISSA

La Tabla 4 muestra las pruebas a emulsiones y al residuo asfáltico requeridas por algunos Estados. Una discusión sobre estas pruebas está incluida en el Apéndice A. Existe una buena posibilidad que muchas de las

pruebas que se efectúan actualmente; como la viscosidad, punto de ablandamiento y penetración, puedan ser reemplazadas por especificaciones para ligantes en el *Strategic Highway Research Program* (SHRP).

Tabla 4: Prueba de emulsión y residuo

STATE	VA	AZ	TX	OK
TEST ON EMULSION				
Viscosity @ 25°C, sec	15-50	20-100	20-100	
Storage Stability, 24 hrs, %	0.1 max.	0.01*-1	0-1	0-1
Sieve, %		0.01-0.1	0-0.1	0-0.1
Particle charge	positive	Positive	positive	positive
Residue, %	57 min.	60-61.5*	62 min	62 min.
TEST ON RESIDUE				
Absolute Viscosity, 60° C, poises	8,000 min	6,621*-8,000		8,000
Penetration, 100 gm, 5 sec.		40-100	55-90	4-90
Softening point, ° C	59 min.	60-69*	57 min.	57 min.
Ductility, 25° C, 5cm/minute		40-119	70	70
Solubility in Trichloroethylene, %	97.5		97	97

Fuente: Datos obtenidos de la web.

Agua

El agua es el medio utilizado para las mezclas de micro-pavimentos. Es el principal factor en la determinación de la consistencia en la mezcla. Es introducida en las mezclas, de tres maneras: como humedad contenida en los agregados, como agua de mezclado y como uno de los dos constituyentes mayores presentes en la emulsión asfáltica. Cualquier agua potable puede ser usada en micro-pavimentos, por lo que normalmente la calidad no es tan importante como la cantidad.

Dependiendo de la condición del agua y del porcentaje de absorción en los agregados, buenas mezclas para micro-pavimentos pueden ubicarse en un rango limitado como contenido total de humedad, típicamente del 4 – 12 % respecto al peso seco del agregado. Cantidades menores de agua son usadas en climas fríos y mayores durante climas calientes. Las mezclas con muy bajo contenido de humedad, son muy difíciles de esparcir y resultara con una muy baja adhesión al pavimento existente. Por otra parte, las mezclas que contienen más del 12 % de agua, pueden ser demasiado fluidas segregando la mezcla, como se evidencia al asentarse el agregado dejando en suspensión al ligante emulsionado (Naranjo, 2020).

Polímeros

La adición de polímeros típicamente incrementa la rigidez del asfalto y mejora su susceptibilidad a cambios de temperatura. El incremento de las propiedades incrementa la resistencia a ahuellamientos en climas cálidos y permite el uso de bases de cemento asfáltico relativamente más blando, que, a la vez, provee un mejor comportamiento en bajas temperaturas. Los ligantes modificados con polímeros, también muestran mejoras en las propiedades de cohesión y adhesión. Los polímeros pueden ser adicionados en la solución con el

emulsificante, o bien pueden ser mezclados con el cemento asfáltico base ya sea en la refinería o en la planta de emulsión, pero siempre antes de la emulsificación. El primer método es preferido por algunos productores de emulsión, ya que puede ocurrir cierta degradación en los enlaces químicos (redes) del polímero debido al calor.

Pruebas de laboratorio, indican que la rigidez de la mezcla es también sensitiva a la cantidad de emulsión asfáltica. Algunos estudios de laboratorio indican que la adición de polímeros, usualmente se obtiene un buen resultado con contenidos de la emulsión del 10 – 12 %. En relación del peso del agregado. La cantidad y conveniencia (compatibilidad) de los polímeros es actualmente determinada por pruebas de viscosidad y punto de ablandamiento en los cementos asfálticos. Si un polímero no contribuye a mejorar el comportamiento característico de la mezcla, esto rápidamente resultara evidente en las pruebas de mezcla y residuo asfáltico (Billmeyer, 2020).

Pruebas de mezclado

Como cualquier mezcla para superficies, la buena calidad de los materiales es importante para el uso apropiado de las mezclas de micro-pavimentos. Sin embargo, solamente materiales de buena calidad no aseguran una mezcla satisfactoria de micro-pavimentos ya que pueden ser incompatibles cuando se mezclan entre ellos. Es por esta razón que las pruebas a la mezcla son tan importantes en la evaluación del micro-pavimento. Las pruebas de mezclado se realizan para determinar: características de mezclado y aplicación de los componentes y contenido óptimo de cemento asfáltico. La mayor parte de las siguientes pruebas bajo normas ISSA, están descritas en los *Design Technical Bulletins* (TB).

Mezclado y características de aplicación

El micro-pavimento es una mezcla de varios materiales, cualquier cambio en uno de ellos puede cambiar el comportamiento del sistema. De acuerdo a esto, se preparan cierto número de especímenes de laboratorio y se someten a pruebas empíricas. Esto involucra, preparación de muestras de prueba con variaciones en el contenido de emulsión asfáltica, agua, finos minerales y aditivos, para determinar los efectos del cambio en características de mezclado, rompimiento y deposición, con el objeto de asegurar un buen control del sistema en campo.

Después que la consistencia de la mezcla es determinada en pruebas iniciales, se preparan nuevamente muestras de prueba para determinar el contenido óptimo de finos y los efectos de los finos minerales en valores de cohesión en húmedo. Estas mezclas son preparadas con contenidos constantes de emulsión asfáltica e incrementos porcentuales del 0.25 – 1 % de cemento portland o cal hidratada respectivamente.

Una vez que haya sido determinado el contenido deseado de finos minerales, de nuevo se preparan muestras de prueba con contenidos constantes de finos minerales, pero con variaciones en el contenido de emulsión asfáltica. Otra prueba realizada por algunos laboratorios durante esta etapa, es la prueba del pH. Esta prueba mide el pH del agua exudada del espécimen de la muestra, usando papel de tornasol (litmus paper). Un cambio en el pH de 2 a 10, de la emulsión final en la mezcla inmediata al fraguado, se considera deseable para mezclas de micro-pavimento.

Prueba de cohesión (ISSA TB-139)

La prueba de cohesión es usada para clasificar los sistemas de micro-pavimentos de acuerdo al tiempo de rotura y apertura al tráfico. La prueba de cohesión (foto 1) es la simulación del giro torsional del neumático de un vehículo, que mide el torque necesario para desintegrar una muestra de mezcla, de 6-8 mm de espesor por 600 mm de diámetro bajo la acción de un vástago neumático con una almohadilla de caucho de 32 mm de diámetro a una presión de 200 kPa (25 lb./ft²). Las medidas de torque son efectuadas con intervalos de tiempo de 20, 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después del desmoldado.

Un sistema es definido de “rotura rápida”, si desarrolla un valor de torque de 1.2 N/m dentro de los 20-30 min. Similarmente un “sistema de apertura rápida al tráfico” es definido como la mezcla que desarrolla 1.96 N/m de torque dentro de los 60 min. Un torque de 1.2 N/m es considerado el valor de cohesión al cual la mezcla se consolida, es resistente al agua y no puede ser re-mezclada. A un valor de 1.96 N/m se ha producido suficiente cohesión para permitir circulación de tráfico. La ISSA usa 5 sistemas para clasificar varios tipos de morteros asfálticos y sistemas de micro-pavimentos. Todos los micro-pavimentos son diseñados como sistemas de rotura rápida y de apertura al tráfico.

Procedimientos ISSA

Bajo procedimientos ISSA, el contenido óptimo de asfalto es determinado al combinar gráficamente los resultados de la Prueba Abrasión en Húmedo (Wet Track Abrasion Test ó WTAT) y la Prueba de Rueda Cargada (Loaded Wheel Test ó LWT). La figura 3 (a, b y c) muestran cómo el contenido óptimo de asfalto puede ser determinado por la combinación grafica de WTAT y LWT, dentro de un rango aceptable. Los contenidos máximo y mínimo de asfalto, deben estar dentro del rango maestro de especificación. ISSA recomienda que el contenido de asfalto residual deba estar en un rango de 5.5 – 9.5 %. Las pruebas WTAT y LWT serán discutidas más adelante.

Prueba de Abrasion en Húmedo ISSA TB 100 - (Wet Track Abrasion Test) – Esta prueba determina la resistencia a la abrasión de mezclas de micro-pavimentos relacionada con el contenido de asfalto, siendo ésta una de las dos pruebas que ISSA utiliza para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esta prueba simula condiciones de abrasión en pavimentos mojados, tales como un vehículo circulando en una curva y frenando. La prueba WTAT de una muestra saturada por 6 días, generalmente no se requiere. Sin embargo, debido al incremento en la severidad de la saturación a los 6 días, es preferido por algunos laboratorios y agencias para predecir el comportamiento del sistema (Pi et al., 2019).

Recomendaciones y limitaciones de diseño ISSA

Las pruebas de laboratorio han demostrado que la precisión y reproducibilidad de los resultados, pueden ser afectadas por muchos factores. El micro-pavimento es un sistema sensitivo al agua, ya que una variación del 1-2% en el contenido de agua, puede tener un efecto significativo en los resultados de laboratorio y en la calidad de la aplicación. El diseño de mezcla deberá permitir al operador de la máquina, mezclar los ingredientes con pocas cantidades de agua y de aditivo de control. La preparación de las muestras tiene considerable influencia en los resultados de laboratorio. Si no se toma extremo cuidado en la preparación de las muestras, se puede producir una segregación de los agregados.

Los valores de torque son medidos en el laboratorio bajo condiciones específicas (no se ha establecido la correlación con el comportamiento del pavimento en campo). El mezclado y la prueba de cohesión en húmedo, deberán de realizarse para varios contenidos de humedad, humedades relativas y temperaturas, para simular las condiciones que se esperan en campo. En adición, se han reportado que algunos agregados que cumplen los estándares de torque de ISSA para 60 minutos, no han podido cumplir con los de 30 minutos. Algunos laboratorios también usan un análisis subjetivo para determinar el torque.

Los requerimientos sobre la gravedad específica son muy subjetivos, debido al procedimiento de muestreo, ya que la muestra total para LWT es pesada húmeda y seca para obtener la gravedad específica. Después de la compactación, la misma prueba es repetida, el problema es que solo del 50 – 60 % de la muestra es compactada. Variaciones en la gravedad específica de las muestras, pueden también cambiar los resultados en la LWT - para evitar esto - la industria debe evaluar los procedimientos y estándares de esta prueba, mediante conducción de pruebas adicionales con diferentes agregados (Laguna & Suárez, 2021).

Procedimientos para Flujo y Estabilidad Marshall (ASTM D 1559 Modificada, AASHTO T245)

El segundo método comúnmente usado para determinar/confirmar el contenido óptimo de asfalto, es a través del uso del criterio de mezclas asfálticas en caliente. Ya que estos son sistemas de emulsión en frío modificados con polímeros, los procedimientos de pruebas de Flujo y Estabilidad han sido modificados para permitir el secado por aire y a baja temperatura (por lo menos 3 días de curado al aire, 18-20 horas de secado en horno a 60° C antes de la compactación a 135° C), asimismo las briquetas son compactadas con 50 golpes por lado.

Bajo este procedimiento, varias muestras para prueba son preparadas para diversas combinaciones de agregados y contenido de asfalto. Los contenidos de asfalto son seleccionados para proveer vacíos totales en la mezcla (VTM) entre 4.5 - 5.5 %.

Limitaciones del Diseño Marshall

Garnica Anguas et al., (2020) manifiesta que la aplicabilidad de esta prueba para mezclas asfálticas en caliente (HMA) en micro-pavimentos, es cuestionable. La serie Marshall usa muestras grandes con diferentes contenidos de asfalto que son secadas, calentadas a 135° C y compactadas para bajar el contenido de vacíos. Las mezclas de micro-pavimentos nunca alcanzan estas temperaturas ni se compactan para bajar el contenido de vacíos. Observaciones en campo han encontrado vacíos del 10 – 15 % después de 1 o 2 años de su colocación.

Existe la necesidad de correlacionar los vacíos medidos durante el diseño por el método de mezcla en caliente, con los vacíos reales en el campo. Un laboratorio de materiales que ha desarrollado una prueba en frío del procedimiento Marshall para estimar vacíos en el campo, relaciona los vacíos en campo con los vacíos obtenidos por el procedimiento modificado de pruebas para HMA.

Pruebas de comportamiento a largo plazo

El paso final en procedimientos de diseño de mezclas para micro-pavimentos, son las pruebas de simulación en el campo. Estas son pruebas ISSA y no están incluidas en ningún listado de pruebas estándar AASHTO o ASTM. Estas pruebas, proveen a la industria de una medida de comportamiento futuro de la mezcla en el campo.

Equipo de Pruebas de Rueda Cargada Múltiple (MLWT) ISSA TB 147B

El MLWT es usado para estudiar los valores de compactación de varias muestras de asfalto simultáneamente. Muestras que usan agregados de 0 a 5 mm o de 0 a 8 mm, son vaciadas en especímenes alargados de 13 a 19 mm de espesor por 50 mm de ancho y 380 mm de longitud. Estas muestras son curadas al aire por 24 horas y después secadas a 60° C durante 18 – 20 horas. Las muestras son medidas y compactadas con 57 kg durante 1,000 ciclos, con una temperatura ambiente de 21° C. al final de la prueba, se determinan los porcentajes de desplazamiento vertical (profundidad del surco), desplazamientos laterales y densidades de compactación. Para esta prueba puede usarse el equipo estándar de rueda cargada o la máquina de 3 carriles.

Aspectos generales de diseño

El propósito principal de todas las pruebas de diseño a esta altura, es determinar la compatibilidad de los diversos materiales. Aunque se necesita más trabajo para validar y estandarizar los procedimientos para pruebas de diseño de mezcla ISSA, la experiencia en campo indica que los micro-pavimentos por lo general se han comportado bien de acuerdo a lo previsto, cuando una mezcla ha cumplido con los requerimientos de pruebas ISSA. Además del diseño, es esencial un control de calidad efectivo para obtener resultados satisfactorios y el éxito del sistema a largo plazo. La tabla 4 proporciona los requerimientos de pruebas para mezclas en algunos Estados.

Actualmente, algunas de las pruebas de mezclado relacionadas con el comportamiento a largo plazo, no están bien definidas. Además, no todas las pruebas son usadas por cada laboratorio. La industria está tratando de corregir estos problemas, acordando en un número uniforme de pruebas que puedan ser repetidas, aceptadas y usadas por todos sus miembros, por lo que está buscando trabajar con ASTM/AASHTO para estandarizar sus pruebas. La FHWA estará trabajando conjuntamente con Agencias Estatales de Caminos y la industria para este fin. Los datos necesarios para su respectivo análisis, se recolectaron asistiendo en recorridos a las vías en las que se ha implementado emulsiones asfálticas, visita a las fuentes de los materiales y entrevista con sus propietarios, así mismo los resultados que se obtendrán de los ensayos de laboratorio.

Resultados y discusión

Para la obtención de datos necesarios sobre la calidad y características de los materiales que son parte de una mezcla para la elaboración de un micro-pavimento con emulsión asfáltica se tomaron muestras de diferentes características y se llevaron a cabo ensayos y pruebas de laboratorio para seleccionar los materiales que cumplan con los requisitos que permitan la obtención de un micro-pavimento con emulsión asfáltica que se mantenga en tiempo y que brinde un buen servicio a los usuarios de la vías en el cantón Portoviejo.

Los proyectos fueron seleccionados para representar varios climas, condiciones de pavimentos en carreteras de moderado y alto tráfico. Se discutió con representantes de agencias usuarias y de la industria, para recopilar información acerca de uso, comportamiento y costos de los micro-pavimentos. Adicionalmente, se hicieron visitas a los laboratorios de materiales y canteras, para obtener información acerca de mezclas y de la operación de equipos. En primer lugar, se tomaron las muestras de material granular, para realizar los ensayos correspondientes de granulometría, y luego de varias muestras se llegó a la que arrojó el siguiente resultado, el cual se mantiene dentro de rango que indican las especificaciones. (Ver Figura 3).

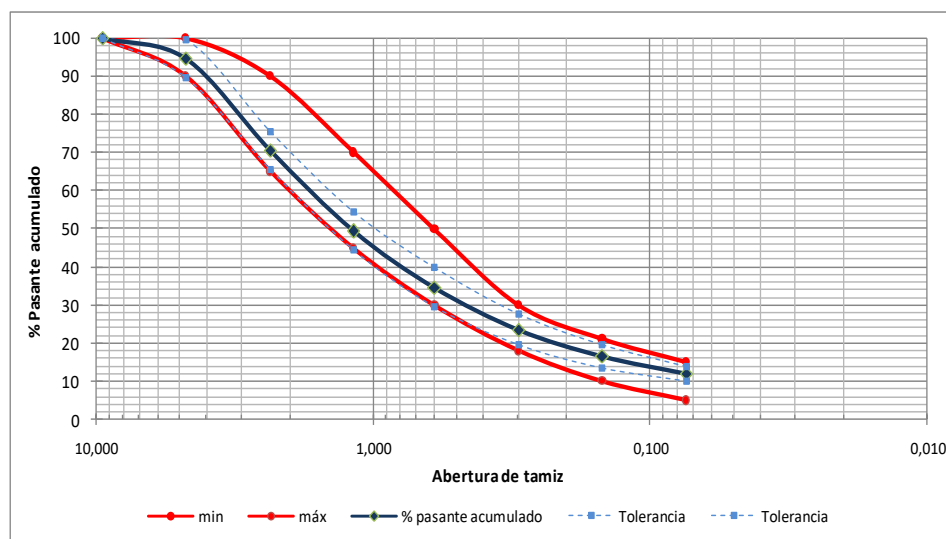


Figura 3: Granulometría de la combinación de agregados, se determina gruesa, puesto que, está retenido 100% en el tamiz

Fuente: Elaboración propia

Luego de la realización de este ensayo se procedió con el siguiente que es determinar la resistencia al desgaste de los áridos. Este ensayo se lo realiza mediante la Máquina de los Ángeles y con una carga abrasiva de seis esferas, se obtuvo el coeficiente de desgaste de 20,60 por ciento. (El procedimiento del ensayo y sus resultados pueden ser revisados en los anexos de laboratorio).

El siguiente estudio a realizarse fue el ensayo para determinar la Gravedad Específica y absorción del agregado fino de la muestra para determinar si es o no apto como agregado para micro-pavimento.

El éxito de la mezcla asfáltica depende además del agregado del tipo de emulsión y de su calidad como tal, es por esto que durante la investigación se realizaron pruebas hasta determinar cuál es la más idónea para aplicarla en la mezcla de emulsión asfáltica en nuestro medio. El primer ensayo que se le realizó a la emulsión fue el de Contenido de asfalto residual según la norma ASTM seguido del ensayo de Viscosidad Saybolt, y la prueba de la malla No. 20.

Así mismo, se le realizaron las pruebas al residuo como Penetración, Punto de ablandamiento, Ductilidad.

Luego de realizarle estas pruebas a diferentes muestras de emulsión, se escogió la que cumple con las exigencias requeridas para ser parte de una mezcla de emulsión asfáltica que funcione óptimamente en nuestro medio, es decir, las vías de la ciudad Portoviejo.

Se realizó el ensayo de prueba de cohesión a la muestra de micro-pavimento ISSA tipo II y se obtuvo los siguientes resultados que se aprecia en el cuadro:

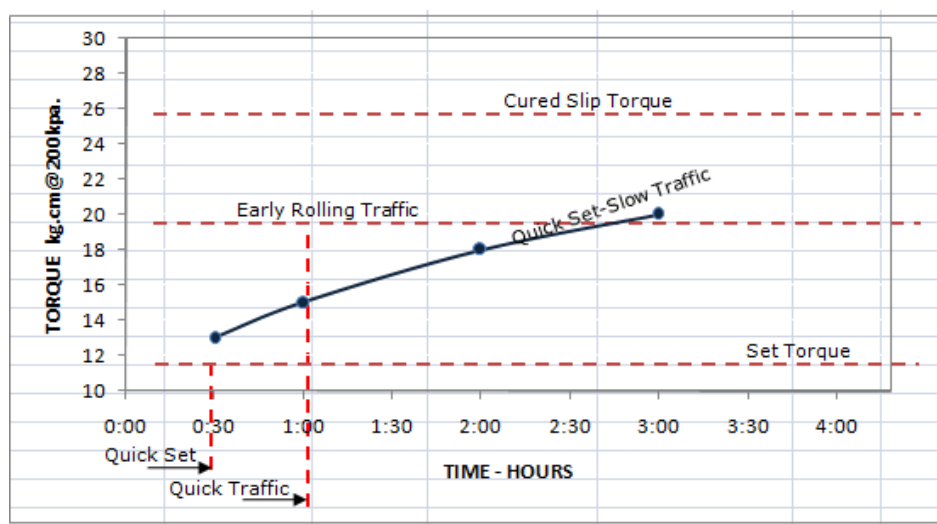


Figura 4: Simulación del giro torsional del neumático de un vehículo, mide el torque necesario para desintegrar una muestra de mezcla, de 6-8 mm de espesor por 600 mm de diámetro.

Fuente: Elaboración propia

Las medidas de torque fueron efectuadas con intervalos de tiempo de 20, 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después del mezclado. Todos los micro-pavimentos son diseñados como sistemas de rompimiento rápido y de apertura rápida al tráfico. Así mismo se le realizaron otros ensayos a las diferentes muestras de mezcla para micro-pavimento los cuales se detallan a continuación: Contenido mínimo de asfalto. (Método de prueba para abrasión húmeda). Contenido máximo de asfalto. (Método de prueba de la rueda cargada).

Para el desarrollo exitoso del trabajo de investigación, se realizaron las inspecciones a sitios donde se han implementado emulsión y se llevaron a cabo los diferentes ensayos de laboratorio requeridos. De esta manera se pudo determinar cuáles son las características que deben poseer los materiales para utilizarlos como parte de la mezcla de emulsión asfáltica, entonces se demuestra que es factible la utilización de las emulsiones como reemplazo del betún siempre y cuando se cumplan con esos requerimientos. De igual manera es importante que la mano de obra en la colocación de capa de rodadura en base a Emulsiones asfálticas sea de buena calidad y debidamente supervisada por técnicos conocedores de la materia. Por todo lo anterior, se ha comprobado que es posible el uso de emulsiones siempre que se cumplan las especificaciones, procedimientos e instrucciones técnicas que rigen el trabajo con ellas.

Conclusiones

Una vez de la revisión del material bibliográfico y al análisis de los resultados, se concluye que las especificaciones de construcción que rigen en Ecuador; exigen emplear, un asfalto mucho más suave en las emulsiones asfálticas y mucho más duro en los cementos asfálticos con polímeros o sin ellos. Sin embargo, esta gran diferencia es la clave para obtener estabilidades y densidades tan altas en las mezclas asfálticas con emulsión; Por lo que se puede denominar a las mezclas en frío con emulsión, como concreto asfáltico hidráulico, dado que, su resistencia progresa con el tiempo de curado.

Con respecto a las condiciones atmosféricas el micro-pavimento no deberá ser colocado si la temperatura del pavimento o la temperatura ambiente son menores de 10° C, si está lloviendo o si hay un pronóstico de temperaturas por debajo de 0° C durante las 24 horas siguientes a su colocación. Además, los proyectos que han fracasado son aquellos que se han implementado en condiciones de frío y/o lluvia. Esto se da porque en clima frío el micro-pavimento puede grietarse o desintegrarse o si se coloca en un día muy caliente y seco, la superficie puede romper demasiado rápido, causando retención de agua retardando el curado interior. En cambio, en un clima caliente se requiere un cambio de formulación para tiempos de mezclado más largos y permitir al micro-pavimento sea aplicado apropiadamente.

En consecuencia, los productos de emulsión de asfalto se han convertido en una alternativa rentable para la construcción de carreteras y para el prolongamiento de la vida del asfalto, ofreciendo a los ingenieros opciones rentables para la rehabilitación de pavimentos dañados y productos para el mantenimiento preventivo. Es importante que investigaciones futuras realicen pruebas de cohesión en campo para determinar exactamente cuándo se debe permitir el tráfico circular después de la aplicación, tal como lo está haciendo la Asociación Internacional de Pavimentación con Lechada (ISSA).

Referencias

- Bhargava, N., Kumar, S., & Teiborlang, L. (2021). Systematic approach to address challenges in microsurfacing mix design. *Elsevier*, 270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121759>
- Billmeyer, F. W. (2020). *Ciencias de los polímeros* (Reverté (ed.); Reverté).
- Coronel, O. (2017). Micropavimento: Alternativa técnico-económica para la pavimentación del Asentamiento Humano Lomas de Marchan-Pucusana/Lima, 2017. *Universidad César Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/13034>
- Garnica, P., Delgado, H., & Sandoval, C. (2020). *Análisis comparativo de los métodos marshall y superpave para compactación de mezclas asfálticas*.
- Gómez, C. (2017). Uso, aplicaciones y pruebas de las Emulsiones Asfálticas. *Universidad José Carlos Mariátegui*. <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/265>
- Laguna, J., & Suárez, Y. (2021). *Diseño del micropavimento para el mantenimiento del pavimento flexible de la Avenida Guillermo Billinghurst en San Juan de Miraflores – 2020*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74458>
- Naranjo, J. (2020). Incidencia de la incorporación de fibras de coco y valor de pH de la fuente hídrica, en los

tiempos de mezcla y curado de micro pavimentos. *Universidad San Francisco de Quito*.
<https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9196>

Pi, Y., Huang, Z., Pi, Y., Li, G., & Li, Y. (2019). Composition Design and Performance Evaluation of Emulsified Asphalt Cold Recycled Mixtures. *MDPI*, 12(17).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma12172682>

Shobhit, J., & Bhupendra, S. (2021). Cold mix asphalt: An overview. *Elsevier*, 280, 2.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124378>