

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**INCIDENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE  
COCO Y VALOR DE pH DE LA FUENTE HIDRICA, EN LOS  
TIEMPOS DE MEZCLA Y CURADO DE MICRO  
PAVIMENTOS**

**Juan Francisco Naranjo Figueroa**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 11 de mayo de 2020

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**INCIDENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE COCO Y  
VALOR DE pH DE LA FUENTE HIDRICA, EN LOS TIEMPOS DE  
MEZCLA Y CURADO DE MICRO PAVIMENTOS**

**Juan Francisco Naranjo Figueroa**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Luis Gustavo Boada Parra, MSc**

Quito, 11 de mayo de 2020

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Juan Francisco Naranjo Figueroa

Código: 126263

Cédula de Identidad: 172505247-4

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2020

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

La utilización de materiales alternativos, amigables con el medio ambiente, en ingeniería ha sido fuente de estudio en los últimos años, debido a la contaminación que se genera en los procesos constructivos y sus derivados. La inclusión de fibras de coco, desecho del área agrícola, en micro pavimentos nace de sus propiedades y los beneficios que se ha demostrado tener en mezclas asfálticas en caliente. Se utilizó agregado proveniente de la planta de trituración Naranjo Lopez, agua potable y emulsión de tipo CQS-1h-P; siguiendo la normativa ISSA A 143, se realizaron ensayos de tiempo de mezcla (ISSA TB 113) y de cohesión (ISSA TB 139); donde se demostró que la fibra de coco reduce los tiempo de mezcla, rotura y curado debido a su capacidad de absorción y aeración. Lo cual aporta al desarrollo de cohesión de la mezcla en el tiempo, bajo condiciones favorables y no favorables, lo que permite una reducción en tiempo de apertura al tráfico. La inclusión de fibras de coco permitiría generar diseños de mezcla más eficientes y abaratar costos, además de ayudar al medio ambiente. Adicional se estudió el efecto del pH del agua que es utilizada en la mezcla de micro pavimentos, evidenciando que fuentes acidas desestabilizan las mezclas debido a la formación de micelas y fuentes básicas desestabilizan las mezclas debido a la pérdida de fuerza repulsiva entre partículas; confirmando que un pH neutro es ideal para conseguir mezclas estables.

Palabras clave: Micro pavimentos, fibra de coco, emulsión CQS-1h-P, tiempo de mezcla, cohesión, tiempo de rotura, tiempo de curado, valores de pH, micelas.

## ABSTRACT

The use of alternative materials, environmentally friendly, in engineering has been source of study in recent years, due to the contamination generated from the construction process and its derivatives. Coconut fibers (coir) is waste derived from the agricultural sector, and their addition in micro-surfacing arises from its properties and benefits shown in hot asphalt mixtures. Aggregate from the Naranjo Lopez crushing plant, drinking water, and CQS-1h-P asphalt emulsion were used. Under the performance guideline, ISSA A 143, the test method for determining mixing time (ISSA TB 113), and set and cure development (ISSA TB 139), tests were carried out. Where coconut fiber has shown to reduce mixing, set and curing times due to its absorption and aeration capacity. This contributes to the development of the mixture cohesion over time, under favorable and unfavorable conditions, reducing time in which micro-surfacing may be subjected to straight rolling traffic. The addition of coir allows to develop mix designs that would be more efficient at lower costs, as well as being environmentally friendly. Also, the effects of pH values from water used in the mixing process were studied, showing that acid sources destabilize the mixtures due to the formation of micelles and basic sources destabilize the mixtures due to the loss of repulsive force between particles. That confirms that a neutral pH value is suitable to achieve stable mixtures.

Key words: Micro-surfacing, coir, CQS-1h-P asphalt emulsion, mixing time, cohesion, set time, cure time, pH values, micelles.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	10
Diagnóstico.....	10
Antecedentes .....	11
Marco teórico .....	14
Micro pavimentos.....	14
Definición.....	14
Componentes .....	14
Agregado mineral.....	14
Emulsión asfáltica .....	15
Agua.....	16
Relleno mineral.....	17
Aditivos.....	18
Fibra de coco .....	18
Desarrollo.....	20
Materiales y metodología .....	20
Mezcla .....	20
Fibra de coco .....	22
Tiempo de mezcla.....	23
Cohesión .....	24
Resultados .....	27
Tiempo de mezcla.....	27
Cohesión .....	34
Ph.....	39
Conclusiones y recomendaciones .....	41
Referencias bibliográficas.....	44
Anexo A: Registro fotográfico.....	50

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Gradación para micro pavimentos .....	15
Tabla 2: Propiedades mecánicas de la fibra de coco.....	18
Tabla 3: Dosificaciones comunes para una mezcla de micro pavimento .....	20
Tabla 4: Granulometría del agregado .....	20
Tabla 5: Caracterización del agregado.....	21
Tabla 6: Caracterización de la emulsión asfáltica.....	22
Tabla 7: Especificación de tiempo de mezcla.....	23
Tabla 8: Especificación de cohesión.....	25
Tabla 9: Ensayos de mezcla con porcentajes estándar.....	27
Tabla 10: Ensayos de mezcla agregando cemento.....	28
Tabla 11: Ensayos de mezcla agregando cemento y fibras de coco .....	31
Tabla 12: Ensayos de mezcla agregando fibras de coco.....	32
Tabla 13: Dosificaciones finales para una mezcla de micro pavimento .....	35
Tabla 14: Resultados del ensayo de cohesión.....	35
Tabla 15: Tiempos de rotura según el valor de pH.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito .....	12
Figura 2: Índice de condición del pavimento (PCI) .....	13
Figura 3: Curva granulométrica del agregado .....	21
Figura 4: Ensayos tiempos de mezcla .....	24
Figura 5: Ensayo de cohesión .....	26
Figura 6: Comparación de ensayos con diferente porcentaje de agua .....	27
Figura 7: Ensayo de mezcla agregando fibras de tamaño original .....	29
Figura 8: Comparación del tamaño de las fibras .....	29
Figura 9: Ensayo de mezcla agregando fibras recortadas .....	30
Figura 10: Ensayo de mezcla agregando cemento y fibras recortadas .....	31
Figura 11: Ensayo de mezcla agregando fibras recortadas .....	32
Figura 12: Ensayo de mezcla B .....	35
Figura 13: Cohesión de mezclas A y B bajo condiciones favorables. ....	36
Figura 14: Cohesión de mezclas A y B bajo condiciones desfavorables.....	36
Figura 15: Curvas de cohesión.....	38
Figura 16: pH vs tiempo de rotura .....	40

## INTRODUCCIÓN

### Diagnóstico

El desempeño de un pavimento depende de sus condiciones estructurales, acorde a la capacidad de carga, y a su funcionamiento que describe si un camino se encuentra en buen estado para permitir un viaje cómodo y seguro a velocidades y costos razonables. La vida útil del pavimento depende de las condiciones del mismo, por lo cual existen mantenimientos rutinarios, así como tratamientos superficiales, que preservan y mejoran dichas condiciones con una relación directa entre tiempo y costo, esto significa que si se aplica un mantenimiento periódico los costos serían bajos, debido al buen estado del pavimento.

Las lechadas asfálticas y micro pavimentos son tratamientos superficiales utilizados para detener el deterioro y fisuramiento del pavimento. Entre sus ventajas se conoce que pueden ser aplicados a temperatura ambiente sin necesidad de compactación, y permite la rápida apertura al tráfico gracias a las emulsiones de curado rápido, cemento y aditivos. Sin embargo, no es una solución estructural por lo que no sirven para pavimentos que se encuentren muy deteriorados, y no pueden ser aplicados bajo lluvia o en temperaturas muy bajas. (Chan, 2020)

Un micro pavimento se compone de agregado, agua y emulsión como base, adicionalmente se coloca cemento y aditivos. Si bien existen recomendaciones y parámetros a seguir, no hay una formula específica ya que su comportamiento depende de varios factores como la naturaleza de los agregados, características de la emulsión, condiciones del sitio, condiciones climáticas, etc.

Por otro lado, en el área de construcción se utilizan recursos naturales como agua y agregados en grandes cantidades. Es por eso que se investiga la posibilidad de utilizar materiales alternativos, como lo son los provenientes del desperdicio de otros sectores tales como el doméstico, industrial y agrícola. Algunos componentes sustitutos que ya han sido

estudiados y en ciertos casos utilizados son: las cenizas volantes, humo de sílice, escorias de horno alto, nano sílice, nano titanio, bambú, cáscara de coco, palmera datilera, polvo de mármol residual, polvo de cuarzo, polvo de caucho, plástico, etc. (Sekar & Kandasamy, 2019)

La fibra de coco puede ser utilizada como un componente alternativo en las diferentes aplicaciones civiles como hormigón, pavimentos y suelos. Ya existen estudios sobre la fibra de coco, donde se utiliza la fibra como material alternativo en hormigón mostrando mejoras en la absorción de agua para el curado interno, aporte en la resistencia y reducción en el peso del mismo, por lo que se ha comprobado que es un sustituto para construcciones de poca importancia. Por otra parte, en cuanto a pavimentos, en el estudio realizado por Loaiza, García & Colorado se ha demostrado que las fibras de coco aportan resistencia al deslizamiento, aumento en la estabilidad de hasta 15% y menor grado de penetración del bitumen debido a que las fibras aportan a la adherencia entre partículas de los agregados.

### **Antecedentes**

Según Rivera (2015), especialista en transporte, “la red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento porque es el único medio que posibilita el transporte de personas y cargas.”

El área de influencia es el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), ubicado en el centro norte de la provincia de Pichincha, compuesto por más de 11 mil vías públicas. La red vial corresponde a una cantonal que se entiende como el conjunto de vías urbanas e interparroquiales administrada por EPPMOP. Dada su importancia, esta debe estar en óptimas condiciones en todo momento. Para lo cual se han desarrollado varios métodos para la preservación del pavimento, como lo son la rehabilitación y el mantenimiento vial.

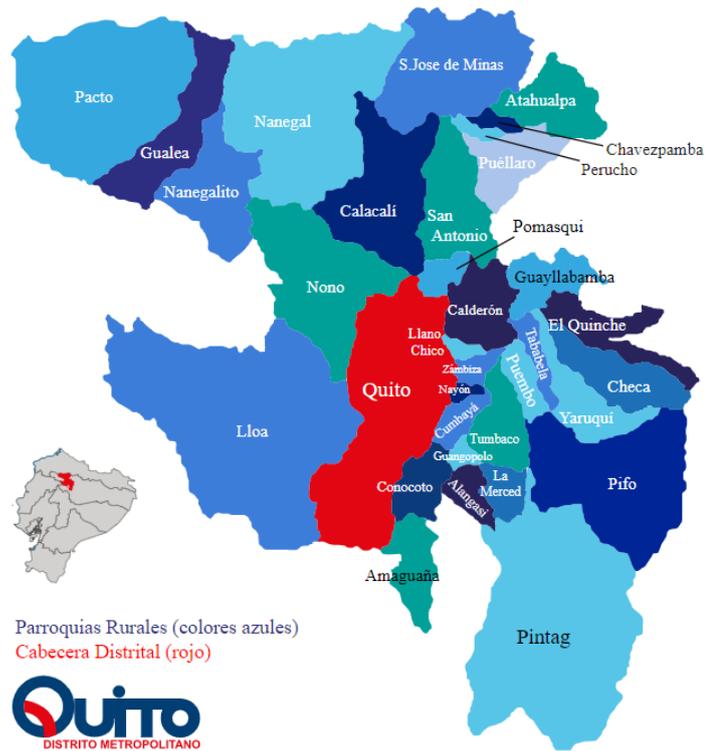


Figura 1: División parroquial del Distrito Metropolitano de Quito. Municipio de Quito (2020). Recuperado de <https://www.quito.gob.ec/>

EPPMOP cuenta con 28 brigadas operativas de mantenimiento vial que a través de cinco procesos técnicos cumple con el mejoramiento de la capa de rodadura, estos procesos dependen de las condiciones actuales de la superficie que puede verse afectada por situaciones climáticas, desgaste natural, afectaciones externas y los años de utilidad. Dichos procesos son: bacheo con mezcla asfáltica en frío, bacheo con mezcla asfáltica en caliente, bacheo con emulsión asfáltica, sello de fisuras y reparación de adoquinado. Desde el año 2016 se han registrado mejoras en más de 8400 ejes viales; sin embargo, el 80% de vías requieren un proceso de rehabilitación integral. (EPPMOP, 2019)

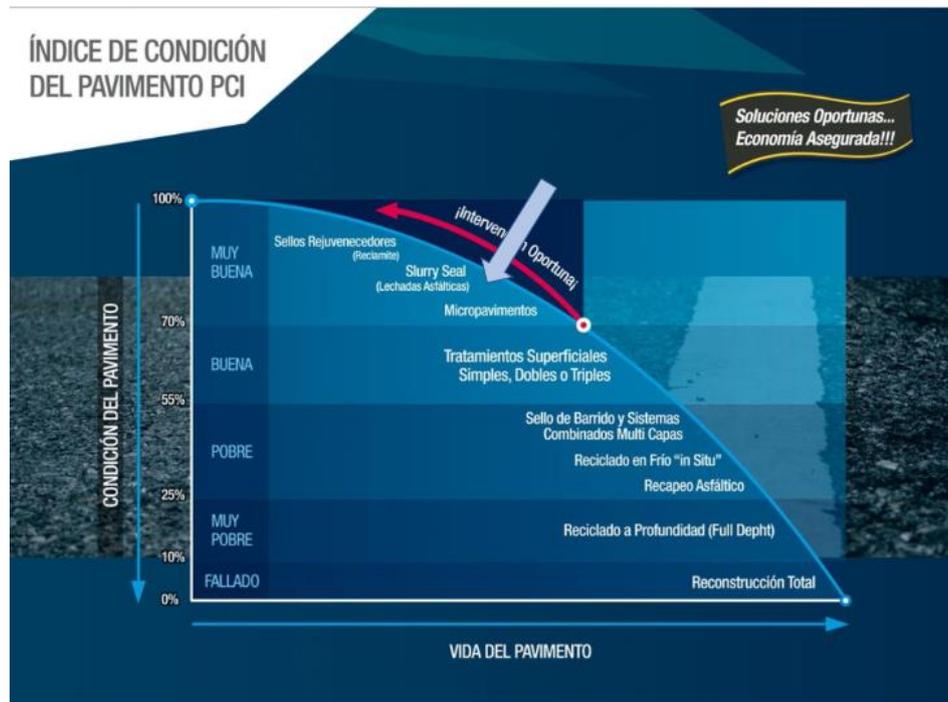


Figura 2: Índice de condición del pavimento (PCI). Chan, Patricio (2020)

Por otro lado, en cuanto al coco, en Ecuador la producción de palmas de coco se da en su gran mayoría en la costa, en las provincias de Esmeraldas, Manabí y Guayas, mientras que en la sierra se da en la provincia de Loja. Siendo Esmeraldas la provincia con mayor producción seguida de Manabí, la palma de coco se ha vuelto parte de las tradiciones y cultura de la provincia.

El presente estudio se enfoca en los tiempos de mezcla de micro pavimentos, y como estos se ven afectados debido a la variación de pH y adición de fibras de coco. Para lo cual se realizaron combinaciones utilizando agregado de la cantera Naranjo López, agua potable y emulsión CQS-1h-P. Existe una relación entre la variación de pH y los tiempos de mezcla, así como la adición de fibras naturales y mejora en la estabilidad de micro pavimentos modificados. Una reducción de tiempos de mezcla dentro de las especificaciones y mayor estabilidad en la misma significa reducción en los tiempos de apertura al tráfico. Se busca proponer formulaciones de trabajo y recomendaciones, que puedan aplicarse en el campo.

## MARCO TEÓRICO

### Micro Pavimentos

#### **Definición.**

Un micro pavimento es una mezcla de varios componentes y es utilizado como una medida preventiva para el cuidado de la capa de rodadura. Según MOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) define a un Micro Pavimento como una lechada asfáltica de mayor calidad, que permite apertura al tráfico en 1 hora, mientras que las lechadas asfálticas convencionales toman de 3 a 4 horas. Siguen la normativa ISSA A143 y nacionales MOP-001-F 2000. Con espesores de 6 – 10 mm, se adhiere a la superficie del pavimento con el objetivo de aportar al pavimento en sus propiedades de impermeabilidad, antideslizantes, resistencia al agrietamiento, recuperación de ahuellamientos, rugosidad, etc.; alargando el tiempo de vida útil de la misma. (MOP , 2002). El micro pavimento siendo de gran utilidad para el cuidado de la capa de rodadura, se presenta como una opción viable para el mantenimiento vial.

Para obtener un resultado óptimo los componentes deben ser de buena calidad, de acuerdo con ISSA (International Slurry Surfacing Association, 2010), un micro pavimento consiste en la mezcla de emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado mineral, agua, relleno mineral y aditivos. Al estar modificados con polímeros hacen al ligante más resistente a los cambios térmicos en la vía. Al ser producto la mixtura de varios componentes, se pueden desarrollar una variedad de fórmulas en base a las características de los mismos.

#### **Componentes**

##### ***Agregado Mineral***

Son de origen natural y representan entre el 80-90 % del peso de la mezcla por lo que el comportamiento del micro pavimento depende en gran parte de las características del agregado utilizado. Según MOP (2002), los agregados utilizados en micro pavimentos deben

cumplir con un óptimo control de calidad, para así obtener una mezcla de alto rendimiento. El proceso de trituración y manejo incluye control de la granulometría, fracturación de caras, limpieza y equivalente de arena. Además, los agregados deben ser 100% triturados y sin oscilaciones drásticas en su granulometría.

ISSA (2010) sugiere en su normativa, **ISSA A-143**, que el agregado mineral a utilizar debe ser de roca triturada como granito, escoria, piedra caliza u otros agregados de alta calidad, o combinaciones de ser el caso. Además, presenta dos tipos de granulometrías estándar a utilizar de acuerdo con la estructura existente, tráfico y condiciones climatológicas; que son acorde con las normativas AASHTO T 27 (ASTM C 136) y AASHTO T 11 (ASTM C 117).

*Tabla 1: Gradación para micro pavimentos*

TAMAÑO DEL TAMIZ	TIPO II PORCENTAJE QUE PASA	TIPO III PORCENTAJE QUE PASA	RESERVAS TOLERANCIA
<b>3/8 (9.5 mm)</b>	100	100	
<b># 4 (4.75 mm)</b>	90 - 100	70 - 90	± 5%
<b># 8 (2.36 mm)</b>	65 - 90	45 - 70	± 5%
<b># 16 (1.18 mm)</b>	45 - 70	28 - 50	± 5%
<b># 30 (600 µm)</b>	30 - 50	19 - 34	± 5%
<b># 50 (330 µm)</b>	18 - 30	12 - 25	± 4%
<b># 100 (150 µm)</b>	10 - 21	7 - 18	± 3%
<b># 200 (75 µm)</b>	5 - 15	5 - 15	± 2%

*Nota 1. (ISSA, 2010)*

### ***Emulsión Asfáltica***

Trabajar con asfalto a bajas temperaturas presenta un problema debido a sus propiedades, ya que su consistencia es viscosa y difícil de manipular, según Fernández, una emulsión se define como la dispersión homogénea de un líquido en otro; los cuales son inmiscibles entre sí (1983, p.63). Una emulsión asfáltica sería la mezcla entre asfalto y agua, de tipo directa ya que las partículas de asfalto se encuentran dispersas en agua. Esta es estable si las partículas de la fase dispersa están uniformemente distribuidas en el medio continuo, manteniéndose así en el transcurso del tiempo; mientras que una emulsión es inestable si las

partículas de la fase dispersa comienzan a unirse formando partículas más grandes (Rodríguez & Castaño, 2001). Para solucionar el problema de estabilidad en emulsiones se aplican emulsificantes que ayudan a controlar el comportamiento de las partículas.

Los emulsificantes cargan eléctricamente a las partículas con una misma polaridad, haciendo que por medio de repulsión electrostática la emulsión sea estable. Además de facilitar la dispersión y beneficiar a la adhesividad entre árido y ligante (Fernández, 1983). Acorde al emulsificante, la emulsión será catiónica o aniónica, y la estabilidad de la emulsión variará permitiendo la ruptura en un determinado tiempo. Las emulsiones utilizadas en micro pavimentos son catiónicas, de curando controlado (rápido o lento), de baja viscosidad, con una base asfáltica dura y modificada con polímeros. (Chan, 2020)

- **CSS-1H-P:** Slow Setting en inglés, se demoran en actuar con el agregado en contacto; por lo que se diseñan para un tiempo máximo de mezcla.
- **CQS-1H-P:** Quick Setting en inglés, actúa rápidamente con el agregado en contacto.

El pH juega un papel importante en la estabilidad de emulsiones, (Ashley & Irvin, 2019) exponen que en emulsiones catiónicas el pH bajo las mantiene estables, un cambio en su valor disminuye la fuerza de repulsión entre partículas causando el rompimiento de la mezcla. Estos valores de pH también entran en juego al adicionar el agua debido a que esta según su fuente puede ser ácida o alcalina.

### *Agua*

El agua se encuentra presente en las mezclas de varias formas: humedad de los agregados, agua introducida a la mezcla o como componente de una emulsión asfáltica. MOP en su normativa, **MOP – 001 – F 2002**, detalla al agua como el principal factor que determina la consistencia del micro pavimento, tanto en su producción como en su aplicación; siendo

fundamental en la estabilidad de la mezcla. Por lo que la cantidad de agua añadida depende del porcentaje de humedad de los agregados; generalmente se añade el 10% respecto al peso seco del agregado.

Sobre la calidad de la misma MOP (2002) e ISSA (2010), sugieren que el agua debe ser limpia, libre de sales solubles nocivas, contaminantes e impurezas, considerando al agua potable como satisfactoria para ser utilizada en mezclas. Dicha calidad se mide en base a su pH y dureza; según Gómez (2019) el pH es una medida de acidez de una solución, con una escala (logarítmica) de 0 – 14; siendo 7 un pH neutro los valores menores corresponden a ácidos y los valores mayores corresponde a básicos. Si bien el agua es el mismo elemento sin importar lugar, sus características pueden variar debido al medio en el que se encuentra.

Así mismo, Monteros (2019) en su estudio establece que a diferentes valores de pH en al agua, los tiempos de mezcla se afectan considerablemente. Una fuente hídrica ácida incrementa el tiempo de ruptura y mantiene a la mezcla “seca” en comparación de la dosificación aplicada; por otro lado una fuente básica disminuye el tiempo de ruptura y a pesar de mantener a la mezcla húmeda, la lleva a una ruptura repentina sin cumplir el mínimo tiempo, establecido por ISSA (2010), de 120 segundos. Al utilizar agua potable se espera un pH neutro, por lo que se esperan mezclas estables; sin embargo, al variar el valor de pH se puede modificar dicha estabilidad y con ellos los tiempos de ruptura ya sean para acelerar o retrasar el proceso.

### ***Relleno Mineral***

Se utiliza como relleno aportando consistencia, resistencia y durabilidad a la mezcla, además de acelerar o retrasar el rompimiento y curado de la mezcla. El material más utilizado como relleno es cemento Portland tipo 1, aprobado y recomendado por ISSA (2010), y se coloca hasta el 3% del peso de la mezcla. La adición de relleno mineral no es un componente

base, sin embargo, es utilizado en gran parte debido a sus características; además de aportar a la granulometría de la mezcla.

### ***Aditivos***

En algunos casos se utilizan aditivos para controlar el proceso de rotura y curado, son añadidos a la mezcla dentro de la emulsión. El aditivo se coloca hasta un 2% del volumen de emulsión e incrementa el costo en un rango de \$2.60 a \$5.20 por litro. (Raza, 1994). Al igual que el relleno mineral la adición de aditivos no es un componente base de la mezcla, pero se incluye para variar las características de la misma.

### **Fibra de coco**

La fibra de coco se obtiene del fruto de coco, en específico del coco maduro cuyo proceso de maduración demora unos 12 meses. El mesocarpio es la parte fibrosa del coco y tiene un espesor entre 1 - 5 cm alrededor del fruto; su contenido de celulosa varía entre 36 - 43% y de lignina varía entre 41 - 45%. Esto hace que las fibras sean resistentes y su descomposición sea lenta, además de su porosidad mayor al 90% permite la retención de agua de 538 ml/L y una capacidad de aeración del 45.5%, es decir un equilibrio entre retención de agua y capacidad de aeración; además posee un pH neutro entre 5.5 y 6.2. A continuación se muestran sus propiedades mecánicas.

*Tabla 2: Propiedades mecánicas de la fibra de coco*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Fuerza a tensión	220 MPa
Módulo de Young	6 GPa
Elongación al quiebre	15 - 25 %
Fuerza a flexión	29226 MPa
Fuerza de impacto	11 kJ/m <sup>2</sup>

*Nota 2. (Loaiza, Garcia, & Colorado, 2018)*

La fibra de coco aporta positivamente en cualquiera que sea su aplicación, Che & Ting (2019) presentan en una recopilación, los efectos de las fibras de coco en mezclas asfálticas gruesas, es decir mezclas en caliente mayores a 2 cm de espesor:

- Sirve como aditivo estabilizador en mezclas asfálticas que rodean los 180 °C.
- Incrementa el contenido de aglutinante a medida que los agregados se cubren por una delgada capa que previene la oxidación y separación de mezclas asfálticas.
- Su estructura única compensa la capacidad ante el agrietamiento en temperaturas bajas y reduce las fisuras de reflexión en la capa de rodadura.
- Mejora el rango de temperaturas en el cual el pavimento asfáltico puede trabajar sin degradarse, ni reducir su eficiencia.
- Reducen el flujo de aglutinante asfáltico disminuyendo la obstrucción de vacíos en la carpeta.
- Puede aumentar la resistencia a tracción al compactar el pavimento mediante Super Pave.

Por otro lado, su tiempo de degradación es de 4 años, mientras que un micro pavimento tiene una durabilidad de 3 a 5 años; teniendo tiempo de vida útil similares. Dadas las propiedades de la fibra de coco y los estudios realizados, es evidente que su aporte es significativo; por lo que se estudiara los efectos de estas en mezclas asfálticas en frío. Este producto se considera desecho de la industria agrícola por lo que es un excelente sustituto, que además de sus propiedades es una opción amigable con el medio ambiente, e incluso representaría una fuente adicional para quienes trabajan en la industria del coco.

## DESARROLLO

### Materiales y Metodología

#### Mezcla

Como se mencionó anteriormente un micro pavimento está compuesto de agregado, agua y emulsión; y en caso de que el diseño lo requiera se añade relleno mineral y aditivos. Según Chan (2020) una mezcla “estándar” de micro pavimento está entre los siguientes rangos; los porcentajes son por peso seco del agregado.

*Tabla 3: Dosificaciones comunes para una mezcla de micro pavimento*

<b>Agregado</b>	100%
<b>Agua</b>	8 - 15%
<b>Emulsión</b>	11 - 15%
<b>Relleno Mineral</b>	0 - 3%
<b>Aditivos</b>	Según sea necesario

*Nota 3. (Chan, 2020)*

El agregado utilizado se obtuvo de la planta de trituración de la empresa Naranjo López, ubicada en la vía E-35 (Pifo – Sangolquí), sector el Inga. El mismo es pasante del tamiz 3/8, 100% triturado, derivado de canto rodado y extraído de la mina “Osorio” en Pintag. Las características del agregado tienen una gran influencia en el comportamiento del micro pavimento, por lo que es importante caracterizar al agregado.

*Tabla 4: Granulometría del agregado*

TAMIZ	Tamaño (mm)	Pasante (%)	Faja Granulométrica (TIPO II)
<b>3/8"</b>	9.5	99.8	100
<b>N°4</b>	4.75	96.2	90 - 100
<b>N°8</b>	2.36	73.9	65 - 90
<b>N°16</b>	1.18	54.3	45 - 70
<b>N°30</b>	0.6	37.8	30 - 50
<b>N°50</b>	0.33	23.4	18 - 30
<b>N°100</b>	0.15	13.4	10 - 21
<b>N°200</b>	0.075	6.2	5 - 15

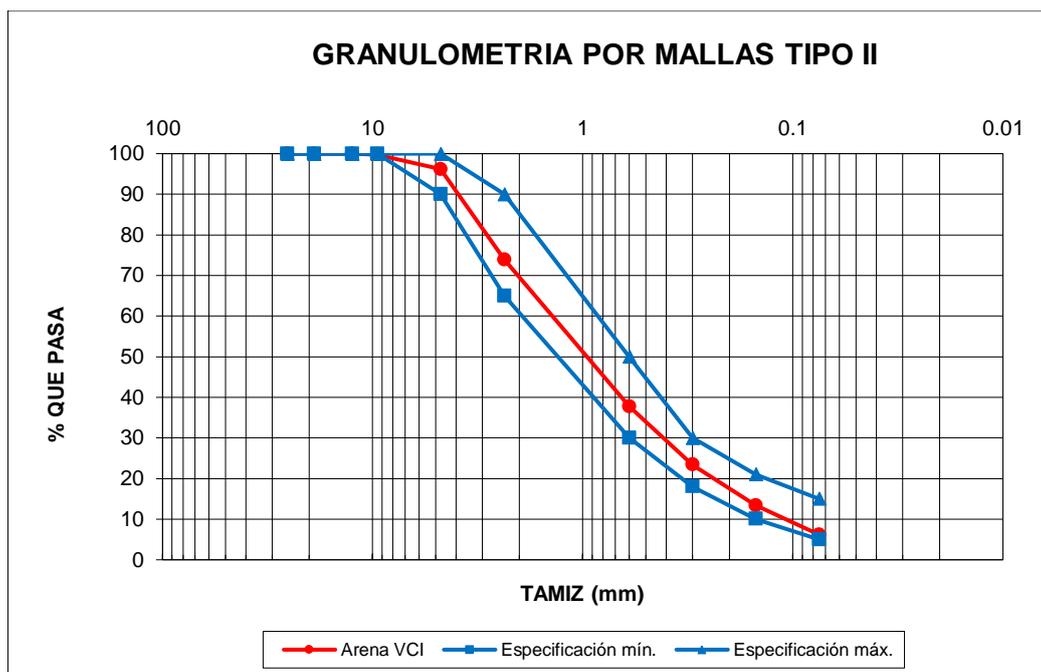


Figura 3: Curva granulométrica del agregado

La curva granulométrica se encuentra dentro de los límites de una gradación TIPO II, por lo que los micro pavimentos generados a partir de este agregado se deben utilizar como sello y relleno superficial.

Tabla 5: Caracterización del agregado

Ensayo	Método de Ensayo	Valor	Especificación
Equivalente de arena, suelos y agregados finos	ASTM D 2419	80.07	65 mínimo
Solidez de agregados por medio de sulfato de magnesio	ASTM C 88	10.72%	25% máximo
Resistencia a la degradación de agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles.	ASTM C 131	23.72%	30% máximo

Nota 4. (Monteros, 2019)

Las características del agregado analizado cumplen con las especificaciones planteadas por ISSA A-143, por lo que se puede clasificar como un agregado de calidad. Adicional, el ensayo de sanidad utilizado azul de metileno tuvo como resultado  $VA = 2.50$  (INV E-2335-07), por lo que su desempeño se califica como excelente.

La emulsión asfáltica utilizada corresponde a un curado controlado rápido, es decir CQS-1h-P, que cumple con las especificaciones propuestas por ISSA A-143 y son expuestas a continuación.

*Tabla 6: Caracterización de la emulsión asfáltica*

<b>Ensayo</b>	<b>Método de Ensayo</b>	<b>Valor</b>	<b>Especificación</b>
Estabilidad de asentamiento y almacenamiento del asfalto emulsionado	ASTM D 6930	0.31%	1% máximo
Destilación del asfalto emulsionado	ASTM D 6997	62.31%	62% mínimo
<b>Ensayos en residuo de asfalto emulsionado</b>			
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bolas)	ASTM D 36	58°C	135°F (57°C) mínimo
Penetración de materiales bituminosos a 77°F (25°C)	ASTM D 5	67	40-90

*Nota 5. (Chan, 2020)*

Las características de la emulsión utilizada cumplen con las especificaciones planteadas por ISSA A-143, por lo que se puede clasificar como una emulsión de calidad.

El agua utilizada es agua potable distribuida por EPMAPS, por lo que se trata de agua limpia y libre de impurezas; además, se realizaron mezclas utilizando como relleno mineral al cemento portland tipo 1. Ambos permitidos bajo la norma ISSA A-143.

### **Fibra de coco**

La fibra de coco utilizada en este estudio es un desperdicio derivado de la producción de cocadas en la provincia de Esmeraldas, sitio donde se da el coco con gran abundancia. Las fibras fueron limpiadas, removiendo impurezas presentes como tierra e insectos. Una vez limpias, las fibras se secaron en un horno durante 24h y separadas manualmente para ser colocadas en la mezcla. De la literatura se recopilan propiedades físicas más específicas como una longitud entre 15 – 35 cm, diámetro entre 0.15 – 0.80 mm y una densidad de 600 kg/m<sup>3</sup> (Hadiwardoyo, 2013).

### Tiempo de mezcla

Poder controlar el tiempo de mezcla de un micro pavimento es esencial, ya que si este es muy corto la trabajabilidad será reducida; por otro lado, si este es muy largo el trabajo no será eficiente. Cabe mencionar que el tiempo de mezcla es para una combinación específica de materiales, y a partir de los resultados obtenidos se varía cantidad o componentes; hasta obtener un tiempo de mezcla aceptable.

El ensayo se lo realizó bajo la normativa ISSA TB-113, se realizaron varios ensayos hasta obtener un tiempo de mezcla aceptable. En una bandeja se colocaron 300 gr de agregado y diferentes cantidades de relleno mineral según el número de ensayo, ambos componentes fueron mezclados en estado seco alrededor de 10 segundos. Se colocó diferentes cantidades de agua según el número de ensayo, y se mezcló alrededor de 20 segundos hasta hidratar los componentes. Se añade la emulsión asfáltica en diferentes cantidades según el número de ensayo, se inicia el cronómetro e inmediatamente la mezcla de los componentes, asegurándose de que esta sea uniforme. Para cada ensayo realizado se registraron los tiempos de mezcla y características notadas durante la misma. Cabe mencionar que los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente.

Se estima el tiempo que los materiales pueden ser mezclados antes de llegar a la ruptura, cerciorándose que estos sean adecuados para ser aplicados en campo. La normativa ISSA A-143 recomienda lo siguiente

*Tabla 7: Especificación de tiempo de mezcla*

Ensayo	ISSA TB No.	Especificación
Tiempo de mezcla a 77°F (25°C)	TB 113	Controlable hasta 120 segundos mínimo

*Nota 6. (ISSA, 2010)*



*Figura 4: Ensayos tiempos de mezcla*

### **Cohesión**

El tiempo de curado de un micro pavimento afecta directamente en su capacidad de carga, se espera que a mayor tiempo de curado la mezcla desarrolle mayor resistencia. Sin embargo, en la práctica en vías de alta sollicitación un mayor tiempo de espera significa una menor eficiencia del trabajo. El ensayo de cohesión determina el fraguado inicial y el desarrollo de curado de un micro pavimento como función de torque en el tiempo, es decir que permite cuantificar la cantidad de tiempo necesaria de un micro pavimento antes de ser sometido a cargas.

El ensayo se lo realizó bajo la normativa ISSA TB-139, se preparó una mezcla siguiendo el proceso mencionado anteriormente para tiempos de mezcla y se la colocó en anillos de 6mm, que se encontraban sobre cuadrados de tela asfáltica, y se enrazó la mezcla para dejar una superficie lisa. Para simular las condiciones en obra, se dejaron reposar los especímenes bajo sol y bajo sombra, y una vez que adquirieran cierta dureza el anillo fue removido, dejando pastillas para ser ensayadas.

El ensayo se lo realiza en un simulador de dirección asistida que mide el torque requerido para romper, en este caso, pastillas de 6mm de espesor x 60mm de diámetro; debajo de un pie de neopreno de 32 mm de diámetro, cargado a 200 KPa. El torquímetro encerado es colocado en el extremo superior de la barra, y la pastilla debajo del pie de neopreno; la barra desciende hasta topar la superficie de la pastilla y después de 5 a 6 segundos se gira el torquímetro horizontalmente y se registra el valor obtenido. Las pastillas fueron ensayadas en intervalos de tiempo de 30, 60, 120 y 180 min.

Como se mencionó se estima el tiempo de apertura al tráfico, debido a que el micro pavimento adquiere una cohesión aceptable para soportar dichas cargas. La normativa ISSA A-143 recomienda lo siguiente:

*Tabla 8: Especificación de cohesión*

<b>Ensayo</b>	<b>ISSA TB No.</b>	<b>Especificación</b>
Cohesión a 30 min. (fraguado)	TB 139	12 kg-cm mínimo
Cohesión a 60 min. (apertura al tránsito)		20 kg-cm o mínimo de espín cercano

*Nota 7. (ISSA, 2010)*



*Figura 5: Ensayo de cohesión*

La inclusión de fibras de coco y variación del pH en el agua utilizada, tienen influencia sobre los resultados obtenidos de ensayos de tiempo de mezcla y cohesión. Se espera que debido a las propiedades de la fibra de coco el agua sea absorbida, disminuyendo tiempos de mezcla y ayudando a la mezcla a alcanzar un nivel de cohesión óptimo en menores intervalos de tiempo, además de aportar resistencia a la misma. Por otro lado, al variar los niveles de pH se espera que se den reacciones químicas en la mezcla, influenciando el rompimiento, curado y fraguado del micro pavimento en un intervalo de tiempo deseado.

## Resultados

### Tiempo de mezcla

Los ensayos de tiempos de mezcla se realizaron en función de los valores típicos expuestos en la tabla 3, con los materiales base que son agregado, agua y emulsión.

*Tabla 9: Ensayos de mezcla con porcentajes estándar*

<b>Ensayo 1</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	8 seg.
	<b>Agua %</b>	10	Nada trabajable	
	<b>Emulsión %</b>	14		
<b>Ensayo 2</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	> 5 min
	<b>Agua %</b>	12	Rompe de los 15 a 20 min, cumpliendo con el mínimo. Sin embargo, no fluye, es viscosa.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
<b>Ensayo 3</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	> 5 min
	<b>Agua %</b>	13	Rompe más de los 20 min., cumpliendo con el mínimo. Fluye y tiene alta trabajabilidad	
	<b>Emulsión %</b>	14		



*Figura 6: Comparación de ensayos con diferente porcentaje de agua. Izquierda 13% y derecha 12%*

De acuerdo con los resultados obtenidos se varían las proporciones de mezcla, así como la adición de componentes. A los porcentajes del tercer ensayo de la tabla 9 se incluye cemento portland tipo 1 a la mezcla.

Tabla 10: Ensayos de mezcla agregando cemento

<b>Ensayo 4</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	> 5 min
	<b>Agua %</b>	13	A los 90 segundos se complica la mezcla, es decir pierde trabajabilidad. Pero cumple con el mínimo de ruptura de los 120 seg.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>cemento %</b>	1		
<b>Ensayo 5</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	180 seg.
	<b>Agua %</b>	13	Cumple con el tiempo mínimo de 120 seg. Pero no es trabajable.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>cemento %</b>	2		

Se observa que los porcentajes con los que se puede trabajar, dado las características del agregado, son los del 3er ensayo sin cemento y 4to ensayo incluyendo cemento. Se verifican los tiempos de rotura y se observa que el 3er ensayo cumple con el mínimo establecido presentando una buena trabajabilidad, sin embargo, su tiempo de rotura es muy alto; al incluir cemento en el 4to ensayo se puede evidenciar como el relleno mineral reduce el tiempo de mezcla, por lo que su rendimiento es mejor.

Una vez hallada la proporción de componentes con mejores resultados se incluye la fibra de coco a la mezcla, en un **0,5%** del peso de agregado seco. De igual manera se realizaron diferentes ensayos variando el orden en el cual las fibras son incluidas a la mezcla, cabe mencionar que las fibras fueron añadidas en su longitud original de 15 a 35 cm (fibras largas).

**1. Fibras largas colocadas después de mezclar: agregado + cemento + agua + emulsión.**

Al introducir las fibras, la mezcla se vuelve una pasta perdiendo su trabajabilidad.

**2. Fibras largas colocadas después de mezclar: agregado + cemento.**

Al introducir las fibras, estas se quedan juntas formando una aglomeración de material y fibras, imposibilitando la mezcla.

### 3. Fibras largas colocadas después de mezclar: agregado + cemento + agua.

Al introducir las fibras, estas se quedan juntas formando una aglomeración de material y fibras, imposibilitando la mezcla



*Figura 7: Ensayo de mezcla agregando fibras de tamaño original*

Es evidente que al introducir las fibras en su forma original es difícil mezclarlas, ya que estas se juntan formando un aglomerado y no se fusionan con el resto de los componentes. Por lo cual se recortó la longitud de las fibras para un mejor acoplamiento. De igual manera se realizaron diferentes ensayos variando el orden en el cual las fibras son incluidas a la mezcla.



*Figura 8: Comparación del tamaño de las fibras*

### 4. Fibras recortadas colocadas después de mezclar: agregado + cemento + agua.

Se observa que las fibras absorben el agua colocada, ya que la mezcla pierde trabajabilidad después de los 120 seg. Cumpliendo con el mínimo establecido y a diferencia de las fibras largas, estas se fusionan bien con el resto de los componentes.

**5. Fibras recortadas colocadas después de mezclar: agregado + cemento.**

Cumple con el mínimo establecido de 120 seg., y presenta una buena trabajabilidad.



*Figura 9: Ensayo de mezcla agregando fibras recortadas*

Al recortar la fibra de coco esta se mezcla adecuadamente, por lo que se procede a variar las cantidades de los componentes y analizar los resultados obtenidos, para así definir las proporciones que brinden mejores resultados.

Tabla 11: Ensayos de mezcla agregando cemento y fibras de coco

<b>Ensayo 6</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	120 seg
	<b>Agua %</b>	13	Al comenzar a mezclar resulta dificultoso, ya que es poco trabajable desde el inicio. Cumple con el mínimo; sin embargo, no es trabajable.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>Cemento %</b>	2		
	<b>Fibra coco %</b>	1		
<b>Ensayo 7</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	120 seg
	<b>Agua %</b>	14	Al comenzar a mezclar resulta dificultoso, ya que es poco trabajable desde el inicio. Cumple con el mínimo; sin embargo, no es trabajable.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>Cemento %</b>	2		
	<b>Fibra coco %</b>	1		
<b>Ensayo 8</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	> 5 min
	<b>Agua %</b>	16	Una mezcla bastante fluida, al llegar a los 4 min. (240 segundos) pierde trabajabilidad, pero sigue siendo fluida.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>Cemento %</b>	2		
	<b>Fibra coco %</b>	1		

Se puede observar que la fibra de coco absorbe el agua dentro de la mezcla haciendo que esta pierda trabajabilidad rápidamente, es decir que vuelve a la mezcla menos fluida y acelera el proceso de rompimiento. Por lo cual se procede a realizar ensayos retirando al cemento de sus componentes.



Figura 10: Ensayo de mezcla agregando cemento y fibras recortadas

Tabla 12: Ensayos de mezcla agregando fibras de coco

<b>Ensayo 9</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	60 seg
	<b>Agua %</b>	13	Al comenzar a mezclar resulta dificultoso, ya que es poco trabajable desde el inicio. Rompe antes del mínimo establecido.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>Fibra coco %</b>	1		
<b>Ensayo 10</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	180 seg
	<b>Agua %</b>	13	Al comenzar a mezclar resulta dificultoso, ya que es poco trabajable desde el inicio. Sin embargo, cumple con el mínimo establecido.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>Fibra coco %</b>	0.5		
<b>Ensayo 11</b>	<b>Material (g)</b>	300	<b>Tiempo</b>	180 seg
	<b>Agua %</b>	14	Cumple con el mínimo establecido y presenta alta trabajabilidad.	
	<b>Emulsión %</b>	14		
	<b>Fibra coco %</b>	0.5		

Debido a la alta capacidad para absorber y retener el agua, de las fibras, se disminuyó la cantidad de fibras y se aumentó la cantidad de agua dentro de la mezcla. Se observa en los ensayos 10 y 11 que cumplen con la especificación y son porcentajes que arrojan resultados aceptables. Sin embargo, se analiza la proporción del ensayo 11 debido a la alta trabajabilidad de la mezcla.



Figura 11: Ensayo de mezcla agregando fibras recortadas

En la tabla 9 se muestran las dosificaciones iniciales y debido a que el ensayo 1 no cumplió con la especificación, se incrementó el porcentaje de agua logrando cumplir con el tiempo mínimo y mejorar la trabajabilidad de la mezcla, lo que significa que se volvió más fluida. El que una mezcla sea trabajable es importante debido al equipo de trabajo, los componentes se mezclan dentro de la maquina esparcidora y esta se encarga de extender la mezcla sobre la superficie a tratar. En caso de que la mezcla no sea fluida, el tendido puede quedar irregular y llegar a necesitar de trabajo manual para lograr una superficie de lisa y delgada.

Se añade cemento como se muestra en la tabla 10 para analizar los efectos del relleno mineral. Se puede evidenciar que este disminuye los tiempos de mezcla y disminuye la fluidez de la misma, mientras mayor sea el porcentaje de relleno mineral menores serán los tiempos de mezcla y la fluidez. Si bien se logran disminuir los tiempos de mezcla, un exceso en el porcentaje de relleno puede ser perjudicial debido a la trabajabilidad y los problemas que esto representa, como ya fue mencionado anteriormente. Retomando la importancia de los tiempos de mezcla se busca un intervalo que sea óptimo, por lo que valores pequeños puede significar que la mezcla rompa antes de ser tendida, volviéndola inútil e ineficaz.

Para analizar el efecto de las fibras se añadieron a la mezcla con los porcentajes obtenidos anteriormente. Inicialmente, se incluyeron fibras largas con tamaños de 15 – 35 cm lo cual fue problemático debido a que no se fusionaban adecuadamente con los demás componentes, se intentó colocar las fibras en diferente orden: en estado seco, después de humedecer los materiales y por último después de incluir la emulsión asfáltica. En todas las variantes, las fibras se juntaban formando una masa que dificultaba el proceso de mezclado hasta el punto de dejar a la mezcla inservible. Si las fibras se colocaran en su forma original en la máquina de mezclado, se presentarían los mismos problemas mencionados anteriormente

además de presentar un esfuerzo adicional para la maquinaria llegando a causar daños en la misma, haciendo necesaria una mayor inversión económica.

Es así que se recortaron las fibras a un tamaño de 5 – 12.5 mm y se procedió a realizar los ensayos presentados en la tabla 11. Cabe mencionar que en dichos ensayos se incluyó relleno mineral y fibras de coco, por lo que en cada ensayo se incrementó el porcentaje de agua. Se puede notar que la inclusión de fibras disminuye los tiempos de mezcla y vuelve a la misma viscosa, lo que se atribuye a la capacidad de absorción de las fibras. Es decir que su añadidura tuvo un doble efecto, reducción en los tiempos de mezcla y reducción en la fluidez de la misma, a pesar de llegar hasta un 16% de agua los resultados fueron similares, por lo que para los siguientes ensayos se retiró al cemento de los componentes.

De los resultados de la tabla 12 se observa la gran influencia de las fibras sobre la mezcla. En el ensayo 9 se colocó 1% de fibras en la mezcla y como resultado el tiempo fue menor al especificado por norma y la trabajabilidad disminuye drásticamente desde el principio del proceso; a diferencia del ensayo 4 donde se colocó 1% de cemento y como resultado se obtuvo una mezcla con pérdida de trabajabilidad a partir de los 90 segundos pero que cumple con la especificación de tiempo. Por tal motivo la fibra de coco cumple con las mismas funciones que el relleno mineral, pero a mayor escala, lo que se atribuye su composición y a sus propiedades.

### **Cohesión**

Con una mezcla de proporciones ya definidas se elaboran dos muestras para ser analizadas bajo el ensayo de cohesión. Se busca comparar la incidencia de las fibras de coco en la cohesión del micro pavimento, por lo que una de las dos muestras no contiene fibras. Cabe mencionar que ambas muestras fueron ensayadas bajo las mismas condiciones para obtener resultados acertados.

Tabla 13: Dosificaciones finales para una mezcla de micro pavimento

Mezcla A: Con fibras		Mezcla B: Sin fibras	
Material (g)	300	Material (g)	300
Agua %	14	Agua %	14
Emulsión %	14	Emulsión %	14
Fibra coco %	0.5	Fibra coco %	0

Ambas muestras son iguales en proporciones para el resto de los componentes. En el momento de su preparación se pudo evidenciar que la mezcla B era bastante fluida a comparación de la mezcla A, lo que se atribuye a la ausencia de fibras en la misma. Cabe mencionar que es muy similar a la mezcla realizada en el ensayo 3 presentado en la tabla 9.



Figura 12: Ensayo de mezcla B

Para el análisis de cohesión, el procedimiento realizado fue el explicado anteriormente para ensayo de cohesión según la norma ISA TB 139, se comparan los resultados obtenidos de ambas muestras bajo las mismas condiciones.

Tabla 14: Resultados del ensayo de cohesión

Tiempo (min)	Expuestos al Sol		Sombra	
	A: con fibras	B	A	B
30	17	20	13	11
60	24	21	19	20
120	26	22	22	21
180	-	-	24	23

Se obtienen las curvas de cohesión para ambas mezclas sometida a iguales condiciones, dichas gráficas muestran el incremento de cohesión como torque en función del tiempo (Figuras 13 y 14).

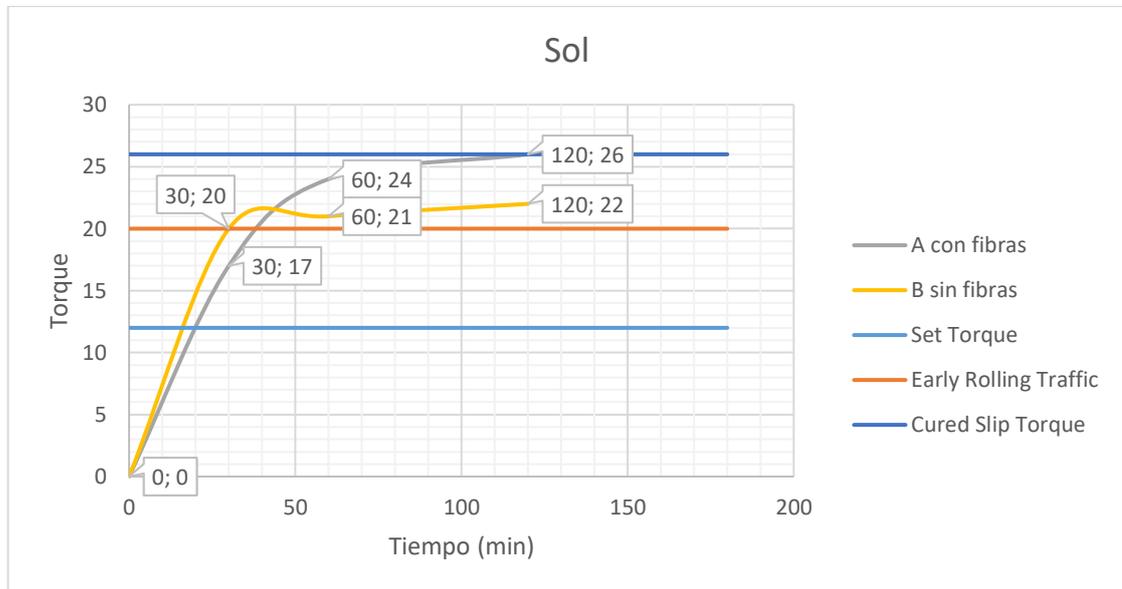


Figura 13: Cohesión de mezclas A y B bajo condiciones favorables.

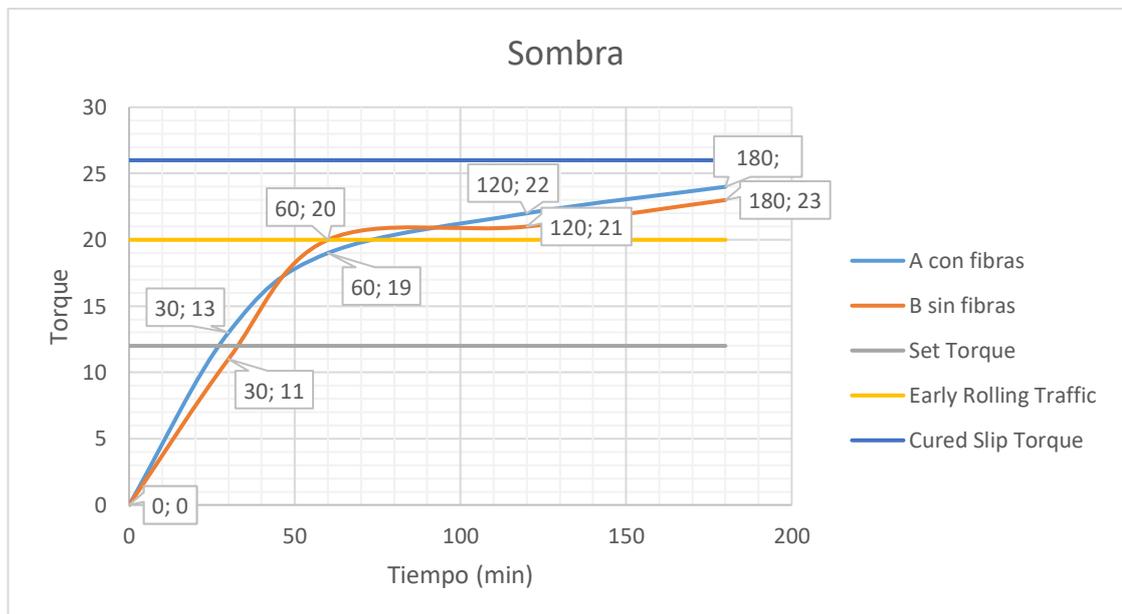


Figura 14: Cohesión de mezclas A y B bajo condiciones desfavorables.

Para comparar los efectos de la fibra de coco sobre la cohesión de la mezcla, se realizaron dos muestras A (con fibras) y B (sin fibras), con los porcentajes más idóneos obtenidos de los ensayos de tiempo de mezcla. Ambas muestras fueron preparadas, curadas y ensayadas bajo las mismas condiciones, donde se simuló condiciones favorables (sol) y desfavorables (sombra) que pueden darse en el campo.

Se recalca que la significancia del ensayo de cohesión es obtener la mínima cantidad de tiempo en que un micro pavimento adquiere suficiente la suficiente cohesión para soportar la carga vehicular. En el campo se busca ser eficientes por lo que el objetivo es realizar un buen trabajo en la menor cantidad de tiempo. Para lo cual se analizan los resultados con las especificaciones dadas por ISSA A-143 y presentadas en la tabla 8.

En la figura 13 se comparan los resultados de ambas mezclas bajo condiciones favorables, se observa que para la mezcla B (Sin fibras) el tiempo de ruptura es a los 16 minutos, tiempo de apertura al tráfico es a los 30 minutos y tiempo de curado es mayor a los 120 minutos; mientras que para la mezcla A (Con fibras) el tiempo de ruptura es a los 20 minutos, tiempo de apertura al tráfico es a los 38 minutos y tiempo de curado es a los 120 minutos. En la figura 14 se comparan los resultados de ambas mezclas bajo condiciones desfavorables, se observa que para la mezcla B (Sin fibras) el tiempo de ruptura es a los 33 minutos, tiempo de apertura al tráfico es a los 60 minutos y tiempo de curado es mayor a los 180 minutos; mientras que para la mezcla A (Con fibras) el tiempo de ruptura es a los 27 minutos, tiempo de apertura al tráfico es a los 74 minutos y tiempo de curado es mayor a los 180 minutos.

De acuerdo a las definiciones de tiempo especificadas en ISSA TB-139, bajo condiciones favorables ambas mezclas son de rompimiento rápido y rápida apertura al tráfico, sin embargo, se observa que la inclusión de fibras en la mezcla incrementa los valores de torque

a medida que transcurre el tiempo, es así que esta llega al curado antes que la mezcla sin fibras. Por otro lado, bajo condiciones desfavorables la mezcla sin fibras es de rompimiento lento y rápida apertura al tráfico, mientras la mezcla con fibras de rompimiento rápido y lenta apertura al tráfico; sin embargo, a los 60 min los valores de torque de ambas mezclas son muy similares y la mezcla B apenas cumple con el torque. Es así que, al igual que en condiciones favorables, la adición de fibra incrementa los valores de torque a medida que transcurre el tiempo, ambas mezclas se demoran más tiempo en llegar al curado debido a las condiciones desfavorables.

Con los resultados obtenidos y al analizar las gráficas 13 y 14, se observa que la adición de fibras ayuda a la cohesión de la mezcla, ya que su comportamiento en el tiempo tiende a ser más uniforme en comparación a la mezcla sin fibras. Ayuda al rompimiento de la mezcla y permite rápidas aperturas al tráfico incrementando su resistencia en el tiempo, mucho más rápido que una mezcla sin fibras; las curvas obtenidas de mezclas sin fibras se asemejan a la curva 3 de falso curado y apertura lenta al tráfico, presentada en la figura 15 debido a que alcanza torques altos en cortos tiempos, pero este valor disminuye después de un tiempo.

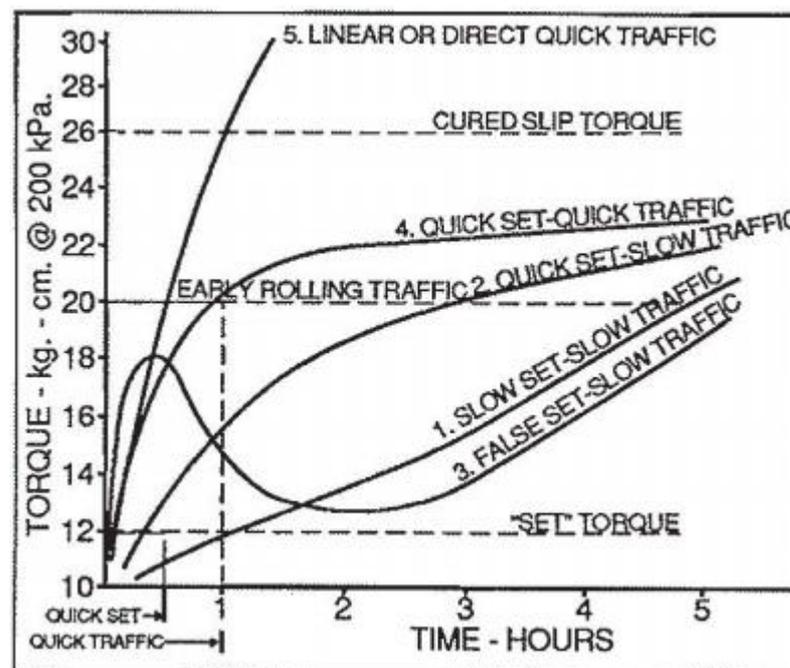


Figura 15: Curvas de cohesión. (ISSA, 2010)

## pH

Una vez analizados los efectos de la fibra de coco, se analiza los efectos de pH del agua en la mezcla; en base al estudio realizado por Monteros (2019) e investigación bibliográfica. Según Chan (2020) la emulsión utilizada (CQS-1h-P) está conformada por un emulsificante muy reactivo y sus valores de pH van de 1-3, los cuales varían según los requerimientos del proyecto. Esto significa que en base a los componentes principales agregado y agua, se diseña una emulsión específica que sea compatible con los demás componentes. El que una emulsión asfáltica sea estable significa que se mantiene en estado líquido durante el proceso de mezcla y a la vez debe tener una ruptura rápida para que el tiempo de apertura al tráfico sea corto. Típicamente el emulsificante utilizado para emulsiones CQS son aminas, que cargan positivamente a la emulsión por lo que requiere de valores de pH bajos (ácidos) para mantener su estabilidad.

Tanto la estabilidad como el rompimiento dependen del equilibrio de fuerzas de atracción y repulsión entre partículas, por lo que valores de pH altos (bases) generan mayor fuerza de atracción debido a su carga negativa, llevando a la mezcla a la ruptura. Por otro lado, bajos valores de pH (ácidos) llevan carga positiva y pueden generar micelas debido a un exceso de moléculas protonadas, causando inestabilidad y llevando a la mezcla a la ruptura. Sin embargo, el agua es un ácido/base <sup>1</sup>débil, por lo que su efecto es menor que el de otros ácidos y bases fuertes.

Es así que la emulsión CQS-1h-P es de carácter ácido y de acuerdo al valor de pH del agua utilizada en la mezcla los resultados pueden variar. El agua se encuentra presente en la mezcla de diferentes maneras, humedad de los agregados, agua de la emulsión y el agua añadida, ISSA recomienda que el agua utilizada para mezclar sea potable, es decir de pH

---

<sup>1</sup> El agua se comporta como ácido o base con respecto al valor de pH del otro elemento.

neutro. Sin embargo, las fuentes hídricas pueden ser varias y el contenido de pH variar de acuerdo a su origen. Monteros (2019) presenta en su estudio la incidencia del pH en los tiempos de mezcla y sus resultados para el agregado analizado fueron los siguientes

Tabla 15: Tiempos de rotura según el valor de pH

pH	Tiempo de rotura (s)
1.8	104
5.2	56
6.7	163
9	17.35

Nota 8: (Monteros, 2019)

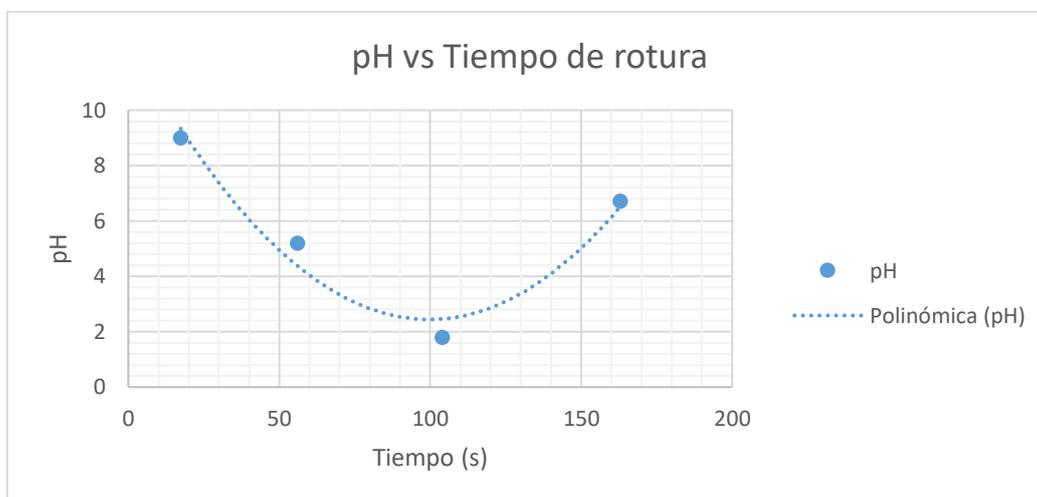


Figura 16: pH vs tiempo de rotura. (Monteros, 2019)

En la figura 16 se observa que al utilizar un pH neutro se obtiene un mayor tiempo de mezcla y por ende mayor estabilidad en la misma. Por otro lado, al trabajar con un valor de pH de 1.8 el tiempo disminuye en un 36% lo cual se atribuye a que el agua actúa como un ácido débil sin tener mayor incidencia. Al trabajar con un valor de pH de 5.2 el agua actúa como una base débil disminuyendo el tiempo de mezcla en un 66% y por ende la estabilidad de la misma. Por último, al trabajar con un valor de pH de 9 el agua actúa como una base disminuyendo el tiempo de mezcla en un 89% lo que se atribuye a la gran carga negativa de la misma, perdiendo la fuerza de repulsión entre partículas, volviendo inestable a la mezcla y por ende llevándola al rompimiento en un corto intervalo de tiempo.

Como se observó anteriormente los valores de pH afectan a la estabilidad de la emulsión y por ende inciden en los tiempos de ruptura, es decir los tiempos de apertura al tráfico que son analizados mediante el ensayo de cohesión. Una mezcla puede ser de ruptura rápida o lenta y de tiempo de apertura al tráfico rápida o lenta. Al poder controlar los tiempos de ruptura se puede realizar un trabajo más eficiente en base a las necesidades de la obra. Es así que al trabajar con valores de pH altos se espera que la mezcla incremente su cohesión en un corto intervalo de tiempo, y para valores de pH bajos se espera que la mezcla incremente su cohesión en un mayor tiempo. Mientras que un pH neutro brinda mayor estabilidad a la mezcla desarrollando cohesión en largos intervalos de tiempo.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los ensayos realizados evalúan la compatibilidad de los componentes bajo especificaciones dadas por ISSA A-143, con la finalidad de diseñar micro pavimentos de calidad. Se parte de dosificaciones estándares, las cuales varían de acuerdo a los resultados obtenidos, y en base a los requerimientos del proyecto se alteran las proporciones y componentes.

El uso de materiales alternativos como la fibra de coco es una alternativa económica, amigable con el ambiente y con resultados positivos. Dada las características de la fibra los tiempos de mezcla disminuyen y se nota un incremento en los valores alcanzados de cohesión tanto en condiciones favorables como desfavorables. Es evidente que la fibra cumple las mismas funciones que el relleno mineral y en menores dosificaciones, por lo que puede ser utilizado como un sustituto. Gran parte de la reducción de tiempos de mezcla se atribuye a la capacidad de la fibra de absorber y retener el agua por lo que su uso en situaciones desfavorables sería ideal. Al analizar las gráficas de cohesión se evidencia que en condiciones favorables los tiempos son menores, por lo que la temperatura es un factor a tomar en cuenta si se desea reducir tiempo de mezcla ya que la combinación de aditivos, relleno mineral, fibras,

valores de pH y demás, puede resultar contraproducente y no llegar a cumplir con los mínimos establecidos.

En cuanto a los valores de pH, los mejores resultados se obtienen con un valor neutro ya que al trabajar con una emulsión de curado rápido, los tiempos de mezcla cumplen con el mínimo sin necesidad de ser muy largos. Son varios los factores que se ven involucrados en tiempos de mezcla, al analizar la incidencia del pH. Los valores muy ácidos estimulan la formación de micelas, volviendo a la emulsión inestable; así como valores muy básicos incrementan las fuerzas de atracción entre partículas formando conglomerados que terminan en el rompimiento de la emulsión.

Así mismo, los agregados utilizados son en su gran mayoría alcalinos por lo que actúan como bases fuertes; de ahí la importancia de caracterizar física y químicamente a los agregados que vayan a ser utilizados. Materiales más finos significan mayor área superficial y por ende mayor área de carga; por lo que la granulometría del agregado es otro factor que influye en el rompimiento de la mezcla.

Como ya se mencionó el uso de fibras y variación de pH influyen en los tiempos de mezcla, y por ende en cohesión. Utilizar fuentes muy ácidas y muy básicas significa una reducción drástica de tiempo y por ende curado más rápido; sin embargo, tiempos acelerados no permiten que la mezcla desarrolle una adecuada cohesión limitando su resistencia. Lo ideal es trabajar con fuentes neutras o cercanas a valores neutros, pudiendo acelerar o disminuir tiempos de curado, en un intervalo razonable para que la mezcla pueda desarrollar una adecuada cohesión y por ende alcanzar valores óptimos de resistencia.

Los materiales utilizados resultaron ser de buena calidad y con los mismos se desarrolla una mezcla de micro pavimento eficiente, por lo que se pueden utilizar las proporciones presentadas para ser aplicadas en campo. La utilización de fibras de coco aporta positivamente

en los tiempos de mezcla, ruptura y curado, así como en la cohesión de la mezcla, por lo que se recomienda realizar los siguientes ensayos, con el fin de obtener un diseño definitivo utilizando fibras de coco.

- Decapado húmedo (ISSA TB 114)
- Pérdida por abrasión húmeda (ISSA TB 100)
- Desplazamiento lateral (ISSA TB 147)
- Asfalto excesivo por adhesión de arena LWT (ISSA TB 109)
- Compatibilidad de clasificación (ISSA TB 144)

Las especificaciones para los ensayos mencionados se encuentran en la normativa ISSA A 143, norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación. Una vez analizados los resultados, se puede apreciar de mejor manera cual es la incidencia de las fibras de coco dentro de una mezcla de micro pavimento y como estas aportan positivamente a la misma, mejorando sus propiedades y abaratando costos. Es decir, diseñar mezclas más eficientes y económicas con la inclusión de materiales alternativos que además beneficien al medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranberri, I. B. (Agosto de 2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3), 20. Recuperado el Enero de 2020, de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/AGO06/aranberri.pdf>
- Ashley, B., & Irvin, P. (Noviembre de 2019). Scientific Innovations in Microsurfacing and Slurry Seal Mixture Design. Iowa, Estados Unidos: Iowa State University: Institute for Transportation. Recuperado el Marzo de 2020, de [https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2020/03/microsurfacing\\_and\\_slurry\\_seal\\_mix\\_design\\_innovations\\_w\\_cvr.pdf](https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2020/03/microsurfacing_and_slurry_seal_mix_design_innovations_w_cvr.pdf)
- Boada, L. G., & Urgiles, L. M. (Marzo de 2011). Diseño y evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros, para agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el Distrito Metropolitano de Quito. 360. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el Enero de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/3087/T-ESPE-030896.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bolivar, V. (julio de 2017). Esmeraldas concentra la palma de coco. *Revista Lideres*. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.revistalideres.ec/lideres/esmeraldas-concentra-palma-coco-negocios.html>
- Bracho, C. (2008). Emulsiones Asfálticas. 46. (FIRP, Ed.) Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes. Recuperado el Enero de 2020, de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S365A.pdf>
- Chan, P. (2020). Micropavimentos y Slurry Seals. *Presentación EMULDEC*. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el Marzo de 2020

- Che, W., & Ting, T. (2019). Chemical and Physical Properties of Coconut Fiber in Asphalt Mixture: A Review. *Journal of Engineering and Science Research*. Taiping, Malasia: RMP Publications. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://www.jestrjournal.com/uploads/2/6/8/1/26810285/10032019-jesr-11-16.pdf>
- Cui, D., & Pang, J. (2017). The Effect of pH on the Properties of a Cationic Bitumen Emulsifier. Munich, Alemania: Carl Hanser Publisher. Recuperado el Abril de 2020, de <https://www.hanser-elibrary.com/doi/pdf/10.3139/113.110520>
- EPPMOP. (2019). *EPPMOP*. Recuperado el Enero de 2020, de EPPMOP portal web: <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/gestion-2019/obras-publicas/rehabilitacion-y-mantenimiento-vial.html>
- Fernández, J. (1983). *Pavimentos bituminosos en frío*. Barcelona, España: Editores técnicos asociados S.A. Recuperado el Enero de 2020
- Firoozifar, H. (Enero de 2010). THE EFFECT OF PH AND BITUMINOUS DENSITY ON STABILIZATION OF BITUMEN-IN-WATER EMULSION. *Petroleum and Coal*. Iran. Recuperado el Abril de 2020, de [https://www.researchgate.net/publication/43968851\\_THE\\_EFFECT\\_OF\\_PH\\_AND\\_BITUMINOUS\\_DENSITY\\_ON\\_STABILIZATION\\_OF\\_BITUMEN-IN-WATER\\_EMULSION](https://www.researchgate.net/publication/43968851_THE_EFFECT_OF_PH_AND_BITUMINOUS_DENSITY_ON_STABILIZATION_OF_BITUMEN-IN-WATER_EMULSION)
- Gobierno Provincial de Pichincha. (Agosto de 2017). *Gobierno Provincial de Pichincha*. Recuperado el Enero de 2020, de Gobierno Provincial de Pichincha portal web: <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/distrito-metropolitano-de-quito>
- Gómez, L. (Julio de 2009). Potencial de Hidrógeno, dureza, cloruros. *Indicadores de calidad del agua*. Guayaquil, Guayas, Ecuador. Recuperado el Enero de 2020, de DSpace ESPOL:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6166/1/INDICADORES%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EXPOSIC.pdf>

Hadiwardoyo, S. (2013). Evaluation of the addition of short coconut fibers on the characteristics of asphalt mixtures. *Civil and Environmental Research*. Indonesia. Recuperado el Marzo de 2020, de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31202759/Evaluation\\_of\\_the\\_addition\\_of\\_short\\_coconut\\_fibers\\_on\\_the\\_characteristics\\_of\\_asphalt\\_mixtures.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIISTE\\_International\\_Journals\\_Call\\_for\\_paper&X-A](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31202759/Evaluation_of_the_addition_of_short_coconut_fibers_on_the_characteristics_of_asphalt_mixtures.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIISTE_International_Journals_Call_for_paper&X-A)

ISSA. (Febrero de 2010). NCPP. *Micro Surfacing*. Annapolis, Maryland, Estados Unidos. Recuperado el Enero de 2020, de National Center For Pavement Preservation: <https://www.pavementpreservation.org/wp-content/uploads/presentations/Microsurfacing.pdf>

Jiménez, C. (2016). Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional. *Trabajo experimental*. (U. T. Ambato, Ed.) Ambato, Tungurahua, Ecuador. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25151/1/Tesis%201104%20-%20Jim%C3%A9nez%20Rojano%20Cristian%20Elias.pdf>

Loaiza, A., Garcia, E., & Colorado, H. (Diciembre de 2018). Evaluación de asfalto mezclado con polvo de corteza y fibras residuales de coco para aplicaciones estructurales. Santiago, Chile. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v17n3/0718-915X-rconst-17-03-00542.pdf>

- Mercado, R., Salager, J., Sadtler, V., Marchal, P., & Choplin, L. (Abril de 2014). Breaking of a cationic amine oil-in-water emulsion by pH increasing: Rheological monitoring to modelize asphalt emulsion rupture. Mérida, Venezuela: ELSEVIER. Recuperado el Abril de 2020, de [https://www.researchgate.net/publication/295562604\\_Breaking\\_of\\_a\\_cationic\\_amine\\_oil-in-water\\_emulsion\\_by\\_pH\\_increasing\\_Rheological\\_monitoring\\_to\\_modelize\\_asphalt\\_emulsion\\_rupture?enrichId=rgreq-fec2380218c260564f7e924916b66401-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWd](https://www.researchgate.net/publication/295562604_Breaking_of_a_cationic_amine_oil-in-water_emulsion_by_pH_increasing_Rheological_monitoring_to_modelize_asphalt_emulsion_rupture?enrichId=rgreq-fec2380218c260564f7e924916b66401-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWd)
- Monteros, E. (Diciembre de 2019). Incidencia de la calidad de agregados y calidad de agua en micro pavimentos dentro del Distrito Metropolitano de Quito. Quito, Pichincha, Ecuador: USFQ. Recuperado el Enero de 2020
- MOP. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito, Pichincha, Ecuador: MOP. Recuperado el Enero de 2020, de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf)
- Raza, H. (Junio de 1994). State of the practice design, construction, and performance of micro surfacing. Washington, Estados Unidos: U.S. Department of Transportation. Recuperado el Marzo de 2020
- Rivera, A. (5 de Diciembre de 2015). La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país. Piura, Perú. Recuperado el Enero de 2020, de <http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>

- Robati, M., Carter, A., & Perraton, D. (Febrero de 2013). Evaluation of test methods and selection of aggregate grading for type III application of micro-surfacing. *Conference Paper in International Journal on Pavement Engineering & Asphalt Technology*. Liverpool, Inglaterra. Recuperado el Abril de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/268037140>
- Rodriguez, R., & Castaño, V. (2001). Emulsiones Asfálticas. 48. Sanfandilla, Queretaro, México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el Enero de 2020, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
- Salager, J., Andérez, J., Briceño, M., Pérez, M., & Ramírez, M. (Diciembre de 2002). Emulsification yield related to formulation and composition variables as well as stirring energy. Mérida, Venezuela: Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. Recuperado el Abril de 2020, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702002000300001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702002000300001)
- Salomon, D. (Agosto de 2006). Asphalt Emulsion Technology . *TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E-C102* . (T. R. Board, Trad.) Washington, DC., Estados Unidos. Recuperado el Abril de 2020, de <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec102.pdf>
- Sekar, A., & Kandasamy, G. (Abril de 2019). Study on Durability Properties of Coconut Shell Concrete with Coconut Fiber. *Article*. India: MDPI Building Journals. Recuperado el Marzo de 2020, de [https://www.mdpi.com/2075-5309/9/5/107?type=check\\_update&version=2](https://www.mdpi.com/2075-5309/9/5/107?type=check_update&version=2)
- Ulloa, A. (Noviembre de 2012). Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. *Métodos y materiales*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado el Abril de 2020, de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/download/13469/13365/>

Universidad de Arizona. (Julio de 2005). La Química del Agua. *Tutorial de Química*. (U. d. Valencia, Trad.) Valencia, España: Universidad de Valencia. Recuperado el Enero de 2020, de <http://www.biologia.arizona.edu/biochemistry/tutorials/chemistry/page3.html>

**ANEXOS****ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO**

*Anexo A1: Planta de trituración Naranjo López*



*Anexo A2: Ensayo de sanidad de agregado utilizando azul de metileno*



*Anexo A3: Fabricación de una emulsión a nivel de laboratorio*



*Anexo A4: Pastillas para el ensayo de cohesión*



*Anexo A5: Pastillas curadas bajo sombra y sol*



*Anexo A6: Pastillas ensayadas*