



Accede a apuntes, guías, libros y más de tu carrera

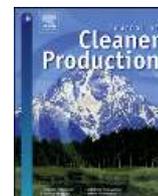
articulo-cientifico-1

9 pag.



listas de contenidos ofrecidos en ScienceDirect

## Journal of Cleaner Production

revista Página de inicio: [www.elsevier.com/localizar/jclepro](http://www.elsevier.com/localizar/jclepro)

## Optimización de bio-asfalto usando bio-aceite y agua destilada

Zhang Ran <sup>un</sup>, Hainian Wang <sup>un</sup>, \* , Usted Zhanping <sup>segundo</sup>, Xin Jiang <sup>un</sup>, Xu Yang <sup>do</sup><sup>un</sup> Escuela de la autopista, Chang ' una universidad, Sur Erhuan Sección Media, Xi ' una, Shaanxi, 710064, China<sup>segundo</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Tecnológica de Michigan, 1400 Townsend Drive, Houghton, MI, 49931, EE.UU.<sup>do</sup> Facultad de Ingeniería, Campus Sunway, Universidad de Monash, Bandar Sunway, Subang Jaya, Selangor, 47500, Malasia

## información del artículo

Historia del artículo:

Recibido el 20 de marzo de 2017

Recibido en forma 24 de junio de 2017

revisada

Aceptado 19 de julio 2017

palabras clave:

método de optimización

Bio-asfalto Bio-aceite

En agua destilada Florida factores

influyentes

## abstracto

El objetivo de esta investigación es el de mejorar las prestaciones de alta temperatura y propiedades anti-envejecimiento de la bio-asfalto. En este papel, el bio-asfalto se preparó utilizando bio-aceite para modificar el asfalto de petróleo, y el contenido de bio-aceite eran 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Se aplicó la prueba de espectrómetro de gas cromatógrafo de masas (GCMS) para caracterizar los compuestos químicos en bio-aceite. La transformada de Fourier se utilizó la prueba espectroscopia infrarroja (FTIR) para determinar si algunos compuestos fueron retirados de bio-aceite en base a los grupos funcionales presentes. A continuación, la rotación delgada fi Im horno se utilizó la prueba (RTFO) para verificar si el alto rendimiento de temperatura y anti-envejecimiento propiedades de bio-asfalto mejorado. Además, el diseño experimental ortogonal y la prueba de reómetro de corte dinámico (DSR) se emplearon para estudiar el efecto de los parámetros del proceso de optimización en actuaciones de alta temperatura. Se encontró que una gran cantidad de componentes de peso ligero polares se puede quitar de bio-aceite utilizando agua destilada. Durante el proceso de tratamiento de bio-aceite, la relación de masa de agua-aceite tenía un signi fi no puede in-

Florida influencia sobre la alta temperatura de bio-asfalto mientras se agita tiempo y la temperatura de agitación no eran signi fi factores cativos. Además, las propiedades anti-celo de bio-asfalto tenían una tendencia creciente cuando la relación de masa de agua-aceite varió de 1: 1 a 2: 1 y alcanzó un máximo cuando la relación de masa de agua-aceite fue de 2: 1. El bio- proceso de optimización de aceite participa de agitar la mezcla de agua-aceite durante 10 min a 50 C con una relación de masa de agua-aceite de 2: 1. El uso de bio-aceite y el agua destilada es fiable en la optimización de bio-asfalto como el rendimiento de alto rendimiento temperatura y anti-envejecimiento de bio-asfalto fueron mejorado después de bio-aceite se trató con agua destilada.

© 2017 Elsevier Ltd. Todos los derechos reservados.

## 1. Introducción

Con un inventario limitado de petróleo crudo y creciente demanda de asfalto de petróleo en la técnica de caminos, la industria del asfalto se enfrenta a una escasez de carreras de larga duración. Los investigadores e ingenieros han estado buscando métodos para reducir el uso de asfalto de petróleo virgen. El uso de materiales alternativos es una de las maneras más eficaces y respetuosos del medio ambiente para resolver este problema ( Yang et al., 2014A, b.; Dinis-Almeida y Afonso, 2015; Mohd Hasan y Usted, 2016; Wang et al., 2016 ). En la actualidad, los investigadores han encontrado que la bio-aceite es una opción potencial debido a sus características de capacidad de renovación, respeto al medio ambiente y la amplia gama de fuentes ( Colbert et al., 2016.; Zhang et al., 2017 ). Es ampliamente

generada a partir de materiales de biomasa, tales como microalgas ( Yang et al., 2013 ), desecho animal ( Fini et al., 2011; Mills-Beale et al., 2012 ), Rastrojo de maíz ( Raouf y Williams, 2010 ), Patio de residuos urbanos ( Hill y Jennings, 2011 ), Té y residuos de café ( Chaiya, 2011; Uzun et al., 2010 ), Semilla de colza y soja ( Onay y Koçkar, 2006; ens s €

onz y Kaynar de 2006 ), Etc. En general, la bio-aceite se produce a través de tecnologías de pirólisis, que dividen la pirólisis rápida, lenta pirólisis, gasificación y carbonización, fi de cationes de acuerdo con la temperatura y tiempo de residencia ( Yang et al., 2014A, b ). Entre ellos, la pirólisis rápida es el más ampliamente usado debido a diversas ventajas de simplicidad, de alta tasa de rendimiento, bajo coste y así sucesivamente ( Akhtar et al., 2010; Bridgwater y Peacocke, 2000; Mohan et al., 2006 ). En pirólisis rápida, materiales de base se calientan rápidamente a 450 mi 600 C, libre de oxígeno. Durante el proceso de pirólisis rápida, la biomasa se descompone en vapor y carbones de leña, a continuación, los vapores se condensan para obtener gas y líquido. Después del proceso, tres componentes principales son generados, incluyendo biochars, gases y líquidos. El líquido es considerado como el bio-aceite. Bioaceite es una solución / dispersión acuosa de compuestos oxigenados que contienen una cierta cantidad de agua, dependiendo del tipo de materias primas que

\* Autor correspondiente.

Correos electrónicos: shaozhang11@163.com (R. Zhang), wanghncd@gmail.com (H. Wang), zyyou@mtu.edu (Z.), jiangxinchd@126.com (X. Jiang), xu.yang@monash.edu (X. Yang).

está compuesto por. El pH de bio-aceites fue probado para estar en el rango entre 2.5 y 3.5 ( Ba et al., 2004; Yang et al., 2017 ). Los componentes de bio-aceites se pueden separar a través de destilación fraccionada. La destilación fracción de rastrojo de maíz bio-aceite mostró que el agua es en la fracción ligera; compuestos aromáticos y oxigenados están en la luz a las fracciones intermedias; y compuestos fenólicos entran en la fracción pesada ( Capunitan y Capareda, 2013 ). bio-aceite ligero puede ser utilizado para la re fi Ning bio-gasolina, biodiesel y otros combustibles; BioOil pesado puede ser utilizado para la combustión de la caldera. En este estudio, la bio-aceite se refiere a la bio-aceite pesado.

Aceites biológicos se han utilizado para modificar o parcialmente reemplazar aglutinantes de asfalto de petróleo en la estructura de pavimento de asfalto ( Asli et al, 2012.; Usted et al., 2011 ). Muchos estudios anteriores se centraron en el método de generación y de la química básica y las propiedades físicas de modificación de biocombustible fi asfalto ed. Usted y sus colegas ( Yang y Usted, 2015; Yang et al. 2013, 2014A, b ) Hecho una evaluación completa sobre el rendimiento de los aglutinantes de asfalto y mezclas de modi fi ed con un bajo porcentaje de bio-aceites usados madera. Se encontró que la adición de bio-aceites signi fi cativamente mejorado el rendimiento de asfalto fatiga mezcla, no tenía signi fi efecto de peralte en el rendimiento de celo y módulo dinámico, pero afectada ligeramente la resistencia a la tracción. Su estudio también sugiere que con un aumento en la fracción de bio-aceite, la compatibilidad con el asfalto de petróleo disminuiría. Wang et al., (2014) usada bio-aceite genera a través de los recursos de madera para reemplazar parte del asfalto de petróleo y se encontró que el rendimiento a alta temperatura no era mejor que la de asfalto de petróleo. Fini et al., (2012) utilizó pirólisis para generar bioaceite a partir de residuos porcina y se encontró que se puede mejorar la resistencia bajo grieta temperatura de aglutinantes de asfalto, pero el rendimiento anti-envejecimiento a altas temperaturas era peor que la de los asfaltos de petróleo. El rendimiento de envejecimiento de la bio-asfalto fue investigado por Yang et al., (2014A, b ) A través de la adición de tan alta como 70% de bio-aceites en asfalto de petróleo. Su fi hallazgos mostraron que el envejecimiento de bio-aceite puede atribuirse a tres factores: la oxidación, polimerización, y la pérdida de compuestos de peso ligero.

A través de estas investigaciones, las actuaciones de alta temperatura de asfalto modificado fi ed con bio-aceite fuese desfavorable en comparación con el aglutinante de base, por lo que los individuos utilizan bio-aceite acompañado con otros aditivos para modificar el aglutinante de base para mejorar todos los tipos de actuaciones. Por ejemplo, Peralta et al., (2012) añadido polvo de caucho a la dosis de 10% y 15% en bio-asfalto. Después de hacer las modi goma fi ed asfalto, la composición química y el grado PG de asfalto se ensayaron por medio de un espectro infrarrojo y el experimento reológico. Los resultados mostraron que el polvo de caucho tenía una buena compatibilidad con bio-asfalto. Cuando el contenido de polvo de caucho fue del 10% y 15%, el grado PG de asfalto biológica alcanzó PG58-22 y PG64-22. Onochie et al., (2013) añadido 2% de nano-arcilla y 4% de nano-silicio en estiércol de cerdo biológicamente modi fi asfalto ed. La alta viscosidad y temperatura de experimentos de barrido de frecuencia de corte dinámico se procesaron. Los resultados mostraron que nano-materiales pueden mejorar las propiedades de alta temperatura y las propiedades anti-envejecimiento en algún grado.

A pesar de estos signi fi avances de investigación de consideración en la mejora de las actuaciones de bio-asfalto, poca investigación existente evalúa el tratamiento de la misma bio-aceite. Esta es también la solución más fundamental. Por lo tanto, este estudio exploró las composiciones bio-petróleo y presentada el esquema de optimización de bio-asfalto usando bio-aceite y agua destilada.

## 2. Motivaciones y objetivos de la investigación

la especificación fi Objetivos C de este estudio son los siguientes:

- 1) Explorar los componentes químicos de bio-aceite para obtener una mejor comprensión de la misma.

- 2) Presentar un enfoque de optimización de bio-asfalto en base a los componentes de bio-aceite con agua destilada y verificar el enfoque de optimización con pruebas de laboratorio.

- 3) Analizar el en Florida influencia del enfoque de optimización de los factores en las alturas funcionamiento de la temperatura y las propiedades de bioasphalt anti-envejecimiento y determinar el mejor enfoque de optimización de bioasphalt.

## 3. Materiales y preparación

### 3.1. ligante asfáltico

Carpeta de 70 grado de penetración se aplicó como el aglutinante base. Las propiedades técnicas se presentan en tabla 1 .

### 3.2. Bio-aceite

El bio-aceite usado en este estudio se generó a través de pirólisis rápida de serrín producido en la provincia de Shandong en China. La temperatura de calentamiento de pirólisis rápida era 500 mi 650 C, velocidad de calentamiento fue 104 mi 105 C / s y el tiempo de residencia fue de menos de 2s. This bioaceite es de color negro-marrón y tiene certainplasticity a temperatura ambiente, como se presenta en Figura 1 . Las composiciones elementales y las propiedades físicas y químicas de este tipo de bio-aceite se muestran en la Tabla 2 .

### 3.3. Procedimiento de optimización usando agua destilada

Se añadió agua destilada en el bio-aceite, se agitó bien, y después la solución mixta de algunos compuestos y agua destilada se alojaba en la capa superior y se vertió tanto como sea posible. Basado en las investigaciones anteriores, muchos compuestos de peso ligero es uno de themain factores contribuyen a la peor de rendimiento a alta temperatura y el rendimiento anti-envejecimiento ( Yang et al., 2014A, b, 2017 ). Hay dos razones compuestos resolubles de agua fueron eliminadas de bio-óleo original. En primer lugar es que este bio-aceite se va a aplicar en la industria de asfalto para pavimentación de carreteras propósito. Por lo tanto, los componentes que se pueden resolver de agua no son buenas para el desempeño de pavimentación. En segundo lugar, estos componentes ligeros se volatilizan fácilmente durante la construcción, lo que puede traer problema de salud para los trabajadores. Además, el bio-aceite se aplicó como una modi fi er para mejorar el rendimiento a alta temperatura del asfalto, y también muchos compuestos ligeros no eran favorables para este propósito.

En realidad, los investigadores en este campo han estado haciendo el esfuerzo por reducir los componentes de peso ligero y mitigar el envejecimiento durante la alta temperatura. Con el tiempo, se encontró que el agua es un bien, si no el mejor, el solvente hasta el momento debido a tres razones. Primero, puede resolver muchos compuestos polares a una temperatura baja (por ejemplo 30 mi 70 C), en el que el envejecimiento de bio-aceite no es signi fi hipocresía. En segundo lugar, el agua destilada no trae preocupaciones medioambientales o de salud, incluso hay un poco de agua residual después del tratamiento. El agua va a salir durante la construcción. Hasta cierto punto, se puede incluso mejorar la trabajabilidad de las mezclas de asfalto en la producción. En tercer lugar, puesto que el exceso de agua se ha eliminado, el agua residual dentro de la bio-aceite tratado no es segregado. Esto es favorable para los siguientes procedimientos a la mezcla de biocombustible con asfalto.

### 3.4. Preparación de bio-asfaltos

Sobre la base de investigaciones anteriores ( Zhao, 2014 ), Bio-aceite y de petróleo asfalto tiene una buena compatibilidad, así que no hay necesidad de equipo especial de molienda. En este estudio, el aglutinante de asfalto de petróleo y bio-aceite eran fi calentada primero a 145 C y 125 C, respectivamente. Después, se añadió bio-aceite en el aglutinante de base y se mezcla con un mezclador de cizallamiento de alta velocidad durante 20 minutos a 135 C con una velocidad de rotación de

tabla 1

Propiedades técnicas del asfalto base 70 grado de penetración.

Propiedad	Unidades	Resultados de la prueba	Requerimientos técnicos	especi fi cación
Penetración	0.1 mm	73	<b>60 mi 80</b>	T0604-2011
índice de penetración	mi	0.34	<b>1.5 ~ p 1.0</b>	T0604-2011
Punto de ablandamiento	do	48	46	T0606-2011
Ductilidad a 10 C	Cm	26	20	T0605-2011
Densidad a 15 C	<b>g cm 3</b>	1.038	registros medidos	T0603-2011
viscosidad dinámica a 60 C	Pa S s	235	180	T0620-2011
<b>Después de RTFO (163 C, 85min) Pérdida de</b>				
masa	%	0.29	<b>± 0.8</b>	T0610-2011
índice de penetración residual (25 DO)	%	66	61	T0604-2011
ductilidad residual (10 DO)	cm	7.3	6	T0605-2011



Figura 1. Bio-aceite a temperatura ambiente.

Tabla 2

composiciones elementales y las propiedades físicas y químicas de bio-aceite.

Parámetro	Elementos/%				Densidad / g cm 3	pH
	do	H	O	norte		
Resultados de la prueba	<b>54 mi 56 5.5 mi 7,2 35 mi 45 0 mi 0,2 1,1</b>					2.6

5000 r / min. El aglutinante petroleum asphalt en este studywas también el aglomerante de control asfalto. Para preparar los ligantes bio-asfalto, los aglutinantes de asfalto de control se mezclaron con 10%, 15%, 20%, 25% y 30% de bio-aceite. Por lo tanto, un total de siete mezclas de aglutinante de asfalto fueron investigados en este estudio. Los dos tipos de bio-asfaltos, original de bio-asfalto (con bio-oleo original) y se trató bio-asfalto (con bio-aceite después del tratamiento), tenían el mismo procedimiento de preparación en este estudio.

#### 4. Plan Experimental

##### 4.1. espectrómetro de masas de cromatografía de gases de prueba (GC-MS)

Se realizó un análisis GC-MS para analizar la composición de bio-aceite ( Hofer et al., 2015 ) Utilizando equipo estadounidense Hewlett-Packard con las ventajas de velocidad de análisis rápido, de alta precisión,

alta sensibilidad y así sucesivamente. La cromatografía de gases es el ideal

"inyector " por espectrometría de masas. Después de la separación cromatográfica, la muestra entra en el espectrómetro de masas como una sustancia pura. Las condiciones de cromatografía de gases fueron las siguientes: temperatura de entrada fue 290 C, temperatura inicial fue de 40 C, se llevó a cabo a temperatura constante durante 2 minutos, la temperatura se elevó a 290 C en 4 C / min y la temperatura se mantuvo durante 20 min; el helio gas portador Florida velocidad de flujo fue de 1,2 mL / min. El espectrómetro de masas es el ideal " detector " para cromatografía de gases. condiciones de espectrometría de masas fueron los siguientes: fuente de iones fue el impacto de electrones (EI), la energía de haz de electrones era 70 eV; temperatura de la fuente de iones fue de 260 C, temperatura de la línea de transmisión fue de 280 C; rango de barrido de la masa era 50 mi 650 m / z y el período de exploración fue de 100 ms.

##### 4.2. Transformada de Fourier prueba de espectroscopia infrarroja (FTIR)

La espectroscopía infrarroja por transformada de fourier experimento se utiliza principalmente para proporcionar una estructura de material y la información de grupo funcional ( Byler y Susi, 1986 ). En este estudio, el equipo experimental fue BRUKER TENSOR ii Transformada de Fourier espectrómetro infrarrojo realizado por una compañía alemana. El escaneo speedwas 40 hojas por segundo, la resolución was 0.4 cm 1, y el alcance de detección era de 8000 mi 350 cm 1. Se estudió la espectroscopia infrarroja del BioOil original y BioOil tratada.

##### 4.3. Rodando delgada fi horno lm de prueba (RTFO)

Con el fin de determinar si las actuaciones de bio-asfaltos mejorados después de bio-aceite se trató con agua destilada, se aplicó la prueba RTFO a bio-asfaltos. Mientras tanto, originales bio-asfaltos eran el grupo de control. índice de penetración residual, incremento punto de reblandecimiento y la pérdida de masa fueron los índices de evaluación. La prueba RTFO en este estudio siguió a la especificación estándar de prueba fi ed en AASHTO T 240 ( AASHTO de 2009 ). Los aglutinantes de asfalto se acondicionaron en el horno a 163 C durante 85 min.

##### 4.4. Un diseño experimental ortogonal

El diseño experimental ortogonal es un método de diseño para analizar múltiples factores utilizando una tabla ortogonal ordenada para organizar la prueba ( Gao et al, 2016.; He et al., 2015 ). De acuerdo con la ortogonalidad, se selecciona un experimento combinación horizontal representativa, y los resultados experimentales se analizan y se procesa. Los efectos de diferentes factores sobre los índices experimentales son estudiados y en el grado de Florida uencia se investiga. Como resultado, un EF fi ciente, se obtiene una rápida y económica diseño experimental. Los experimentos ortogonales están dispuestos como sigue:

1) Seleccionar en Florida factores influyentes y niveles.

Basándose en esta investigación, el proceso de bio-aceite tratado con agua destilada se ve afectada principalmente por tiempo de agitación, la temperatura y el consumo de agua con agitación. Por lo tanto, la prueba ortogonal utiliza tres factores, A, B, C, y tres niveles, 1, 2, 3, respectivamente, así como las temperaturas de agitación de 30 C, 50 C y 70 C, relación de masa de agua-aceite de 1: 1, 2: 1 y 3: 1 y tiempos de agitación de 5 min, 10 min, y el esquema de diseño ortogonal 15 min. El se muestra en la **Tabla 3**.

2) Determinar los índices de evaluación.

Con el fin de estudiar los efectos de los anteriores tres factores en las propiedades de alta temperatura y anti-envejecimiento de la bio-asfaltos, se utilizaron tres índices de evaluación: **penetración, punto de ablandamiento y el factor de antrutting ( $G^* / \text{sen } \theta$ ).**

4.5. reómetro de corte dinámico de prueba (DSR)

Se desarrolló la prueba de DSR para caracterizar las propiedades viscoelásticas de los aglutinantes de asfalto en una amplia gama de temperaturas y frecuencias. En este estudio, la prueba de DSR se llevó a cabo por un modelo reómetro Bohlin CVO 120. baño Awater se utilizó para controlar la temperatura. Una carga de cizallamiento sinusoidal se aplicó sobre el espécimen de **aglutinante para obtener el módulo dinámico de cizalla ( $G^*$ ) y el ángulo de fase ( $\theta$ ).** El nivel máximo de deformación por esfuerzo cortante se controló a 10%. El efecto de los aceites biológicos en el  $G^*$  y  $\theta$  **También se investigó. El celo potencial índice de  $G^* / \text{sen } \theta$  en 1,59 Hz continuación se calculó** para evaluar las actuaciones de alta temperatura. El procedimiento estándar de la prueba de DSR sigue AASHTO T 315 (Wang et al., 2012). Este estudio tiene como objetivo investigar el efecto de los parámetros de optimización de alta temperatura de celo funcionamiento de la resistencia con el fin de determinar el parámetro de tratamiento óptima.

los Florida diagrama de flujo de procedimientos de diseño experimental se muestra en **Figura 2**.

**Paso 1: Proponer el enfoque de optimización de bio-asfalto usando bio-aceite y agua destilada.**

Se aplicó la prueba de GC-MS para analizar los compuestos químicos en bio-aceite. Un **significante fi cantidad** de información material sobre los enlaces químicos y la estructura de material puede ser obtenido (Yang et al., 2013). Como puede verse a partir **Fig. 3**, Es obvio que el espectro infrarrojo de la bio-aceite después del tratamiento difería de la bio-aceite original, y muchos picos eran más pequeñas o incluso desapareció. Esto indicaba que algunos compuestos eran más bajos en el contenido o incluso eliminarse por completo. Basado en el principio de compatibilidad proximidad, algunos compuestos polares y compuestos ponderados de luz deben ser tomadas por el agua destilada. El pico a 1014 **cm<sup>-1</sup>** y el pico a 1111 **cm<sup>-1</sup>** fueron la **extrínseca flexión vibraciones de C mi O en fenol en la fi área de huella digital o la extrínseca vibraciones de C flexión mi H en piridina, ambos son compuestos de peso ligero. El debilitamiento del pico a 1014 cm<sup>-1</sup> y la desaparición del pico a 1111 cm<sup>-1</sup> ilustran que fueron tomadas a partir de bio-aceite por agua destilada en algún grado. Los picos a 1447 cm<sup>-1</sup> y en 1605 cm<sup>-1</sup> presenta el tramo de anillo C] C desde**

**Paso 2: Verificar el enfoque de optimización.** La prueba de RTFO y tres índices de evaluación se aplicaron para verificar si las propiedades de alta temperatura y anti-envejecimiento de bio-asfalto mejorado.

**Paso 3: En la investigación de la Florida factores influyentes del enfoque de optimización.** El diseño experimental ortogonal y la prueba de reómetro de corte dinámico (DSR) se emplearon para estudiar el efecto de los parámetros del proceso de optimización de alta temperatura y las propiedades anti-envejecimiento de bio-asfalto.

**Etapas 4: Determinar el mejor enfoque de optimización de bioasphalt.**

5. Resultados y discusión

5.1. prueba de GC-MS

La idea básica de la prueba de GC-MS es calentar el bio-aceite a 300 C y luego analizar el gas volátil. La cromatografía de gases se puede utilizar para analizar cómo muchos compuestos químicos están presentes en los gases volátiles, y espectrometría de masas puede utilizarse para identificar los compuestos químicos. Bio-aceite es un tipo de material complejo. Los principales compuestos químicos de los gases volátiles se resumen en la

**Tabla 4 . Se puede observar que hay muchos compuestos en bio-aceite; gases volátiles eran sustancias principalmente ligeras de peso molecular, y el peso molecular de las sustancias siguientes eran todos de menos de 250 g / mol. Yang ha encontrado que el envejecimiento de bio-aceite puede atribuirse a tres factores: la oxidación, polimerización, y la pérdida de compuestos de peso ligero ( Yang et al., 2014A, b, 2017 ). Así, la eliminación de compuestos de peso ligero tal vez un buen enfoque para mejorar la anti-envejecimiento de bio-aceite. El área del pico de una sustancia tiene un alto contenido relativo; cuanto mayor es el área del pico, mayor es el contenido de grupos funcionales en bio-aceite. Hay diferentes tipos de fenol, cada alta en contenido. Fenoles pertenecen a moléculas polares, que son similares a H<sub>2</sub>O. Sobre la base de la " compatibilidad similares "**

principio, se utilizó agua destilada para disolver bio-aceite y eliminar las moléculas polares y otros compuestos ligeros ponderada.

5.2. prueba de FTIR

Después de la bio-aceite se trató con agua destilada, el original bio-aceite y bio-aceite tratado se analizaron por la prueba de FTIR. Los espectros de infrarrojo del original de bio-aceite y bio-aceite después del tratamiento se muestran en la **Fig. 3**.

metodología FTIR puede detectar vibraciones moleculares que pueden estar en la forma de dos átomos de una molécula diatómica que experimentan un simple movimiento acoplado a cada átomo individual en un gran movimiento de someterse molécula polifuncional. De los espectros infrarrojos, **información material sobre los enlaces químicos y la estructura de material puede ser obtenido ( Yang et al., 2013 ). Como puede verse a partir Fig. 3 , Es obvio que el espectro infrarrojo de la bio-aceite** después del tratamiento difería de la bio-aceite original, y muchos picos eran más pequeñas o incluso desapareció. Esto indicaba que algunos compuestos eran más bajos en el contenido o incluso eliminarse por completo. Basado en el principio de compatibilidad proximidad, algunos compuestos polares y compuestos ponderados de luz deben ser tomadas por el agua destilada. El pico a 1014 **cm<sup>-1</sup>** y el pico a 1111 **cm<sup>-1</sup>** fueron la **extrínseca flexión vibraciones de C mi O en fenol en la fi área de huella digital o la extrínseca vibraciones de C flexión mi H en piridina, ambos son compuestos de peso ligero. El debilitamiento del pico a 1014 cm<sup>-1</sup> y la desaparición del pico a 1111 cm<sup>-1</sup> ilustran que fueron tomadas a partir de bio-aceite por agua destilada en algún grado. Los picos a 1447 cm<sup>-1</sup> y en 1605 cm<sup>-1</sup> presenta el tramo de anillo C] C desde**

Tabla 3

El esquema de diseño ortogonal de las pruebas de laboratorio.

Número	tiempo de agitación / min	La agitación de temperatura / ° do	Water-aceite de relación de masas	combinaciones de prueba
	UN	segundo	do	
1 mi 1	1	1	1	5 min, 30 C, 1: 1
1 mi 2	1	2	3	5 min, 50 C, 3: 1
1 mi 3	1	3	2	5 min, 70 C, 2: 1
2 mi 1	2	1	2	10 min, 30 C, 2: 1
2 mi 2	2	2	1	10 min, 50 C, 1: 1
2 mi 3	2	3	3	10 min, 70 C, 3: 1
3 mi 1	3	1	3	15 min, 30 C, 3: 1
3 mi 2	3	2	2	15 min, 50 C, 2: 1
3 mi 3	3	3	1	15 min, 70 C, 1: 1

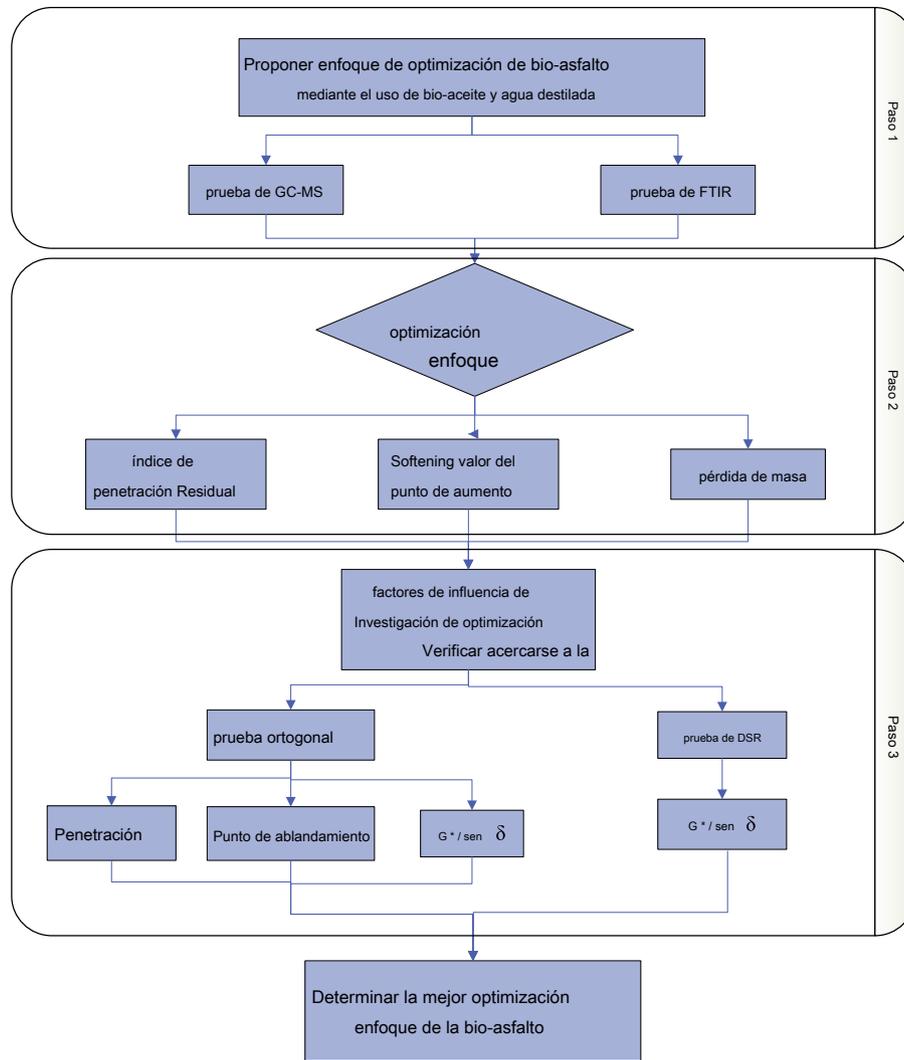


Figura 2. Diagrama de flujo de los procedimientos de diseño experimental.

compuestos aromáticos. Por lo tanto, era evidente que muchos tipos de compuestos ponderados ligeros se eliminaron en parte de bio-aceite. Es eficaz para eliminar los componentes de luz en bio-aceite en parte usando agua destilada.

El pico a  $1700\text{ cm}^{-1}$  puede indicar C=O estiramiento a partir de ácidos carboxílicos. Los picos a  $2839\text{ cm}^{-1}$  y  $2945\text{ cm}^{-1}$  son también los picos característicos de ácido carboxílico; su presencia en bio-aceite puede explicar el valor pH baja de bio-aceites. Después del tratamiento, el contenido de agua puede reducirse en bio-aceite como un poco de agua se enjuagó con agua destilada basado en el principio de compatibilidad de proximidad. Después del tratamiento, el bio-aceite tiene una pérdida de masa tenía una significación de cambio no puede, como el valor absoluto de pérdida de masa fue inferior a 0,8, que satisfacen los requisitos. Esto indicó que el rendimiento anti-envejecimiento mejoró después de bio-aceite se trató con agua destilada. Así, este enfoque de optimización es fiable para eliminar los compuestos Aligerados y mejorar el rendimiento de alta temperatura y anti-envejecimiento propiedades de bio-asfalto.

### 5.3. Verificar el método de optimización mediante la prueba de RTFO

Se aplicó la prueba de RTFO para verificar la viabilidad de utilizar agua destilada para optimizar bio-asfalto para mejorar las propiedades de alta temperatura y anti-envejecimiento. índice de penetración residual, la diferencia en punto de reblandecimiento y la pérdida de masa fueron seleccionados como la

índices de evaluación. específicamente, se usaron diferentes contenidos de bio-aceite: 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Los resultados del ensayo se compararon entre originales bio-asfaltos y bio-asfaltos tratados con agua destilada, como se muestra en Tabla 5. Como puede verse a partir Tabla 6, Los tres índices mejoraron después de bio-

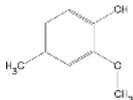
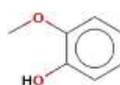
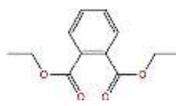
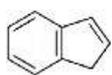
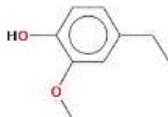
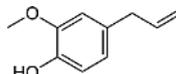
aceite era treatedwith agua destilada. índice de penetración residual tenía un incremento máximo del 39,1% cuando el contenido de bio-aceite fue del 20%. El punto de reblandecimiento casi disminuyó en  $4\text{ C}$  después del tratamiento de bio-aceite. Más importante aún, después del tratamiento, la pérdida de masa tenía una significación de cambio no puede, como el valor absoluto de pérdida de masa fue inferior a 0,8, que satisfacen los requisitos. Esto indicó que el rendimiento anti-envejecimiento mejoró después de bio-aceite se trató con agua destilada. Así, este enfoque de optimización es fiable para eliminar los compuestos Aligerados y mejorar el rendimiento de alta temperatura y anti-envejecimiento propiedades de bio-asfalto.

### 5.4. Análisis de de Florida factores influyentes para método de optimización

#### 5.4.1. El análisis gama de prueba ortogonal

La penetración se utiliza para medir la consistencia de aglutinantes de asfalto a  $25\text{ C}$ , que se aproxima temperaturas de servicio promedio de los pavimentos de mezcla caliente. Tiene una buena relación con la resistencia a la deformación de asfalto. La prueba de punto de reblandecimiento es

Tabla 4  
análisis compuesto químico de fracciones bio-petróleo.

pico #	área del pico del total (%)	Nombre	Fórmula	Peso molecular (g / mol)	Estructura
1	10.856	El fenol, 2-metoxi-4-metil-	$C_{10}H_{10}O_2$	138.166	
2	9.842	Naftalina	$C_{10}H_8$	128.1705	
3	9.725	El fenol, 2-metoxi-	$C_7H_8O_2$	124.139	
4	8.362	dietil ftalato	$C_{12}H_{14}O_4$	222.24	
5	8.270	pentadecano	$C_{15}H_{32}$	212.42	
6	7.575	2-ciclopenten-1-ona	$C_5H_6O$	82.04	
7	6.851	indeno	$C_9H_8$	116.163	
8	5.863	El fenol, 4-etil-2-metoxi-	$C_{10}H_{12}O_2$	152.1904	
9	4.997	hexadecano	$C_{16}H_{34}$	226.448	
10	4.488	tolueno	$C_7H_8$	92.14	
11	4.240	eugenol	$C_{10}H_{12}O_2$	164.2	

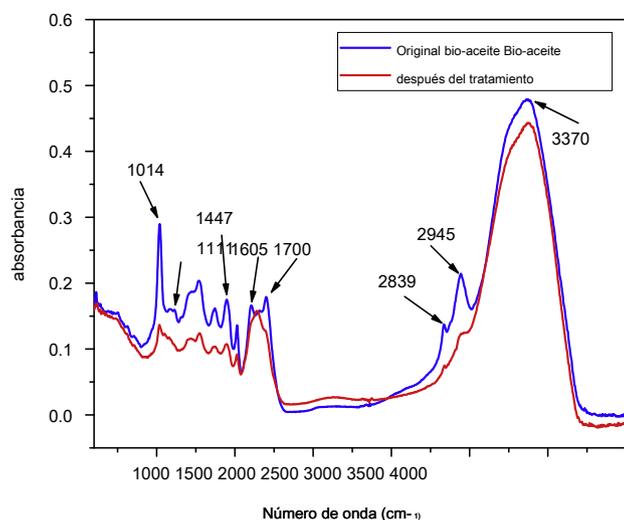


Fig. 3. Los espectros infrarrojos de original de bio-aceite y bio-aceite después del tratamiento.

en el aglutinante de asfalto. punto de reblandecimiento es la temperatura a la que el aglutinante de asfalto no puede soportar el peso de una bola de acero y se inicia Florida debido. Además, el punto de reblandecimiento puede volver Florida ect la alta resistencia a la temperatura a la deformación en algún grado. Mientras tanto, el factor de resistencia a la formación de surcos ( $G^* / \text{sen } \theta$ ) puede volver directamente Florida ect la resistencia a la deformación a altas temperaturas. Por lo tanto, la penetración, punto de reblandecimiento y anti-formación de surcos se utilizaron como los índices de evaluación. Se evaluaron Bioasphalts con 15% bio-aceite después de bio-aceite se trató con agua destilada. Los resultados de la prueba se muestran en la ortogonal

Tabla 6 .

Con el fin de determinar los factores primarios y secundarios entre tiempo de agitación, la temperatura y la relación de masa de agua-aceite se agitaba, se aplicó un análisis de rango, como se muestra en **Tabla 7** . El extremum representa el grado de en Florida influencia del factor, y mayor es el valor extremo, mayor es el grado de en Florida uencia. Se puede observar a partir **Tabla 7** que, independientemente del índice de evaluación, la relación de masa de agua-aceite era la más en Florida el factor influyente. Para la penetración, la extremumof thewateroil relación de masa era tan alto como 12,50, mientras que los otros dos factores acaba de llegar a 2,33. Además, para  $G^* / \text{sen } \theta$  a los 58 años C, el punto extremo de la relación de masa de agua-aceite era 1,30, 1,08 y 0,81 mayor que la de agitar tiempo y la temperatura de agitación, respectivamente. especi fi camente, el orden de en Florida influencia de los tres factores en el índice de evaluación es como sigue:

utilizado para determinar la temperatura a la que se produce un cambio de fase

Tabla 5

Los resultados de la prueba RTFO.

índices de evaluación	Bio-asfaltos	contenido Bio-aceite (%) 10				
		15	20	25	30	
índice de penetración residual (%)	Original	49.4	48.9	47.3	46.8	46.3
	Después del tratamiento	62.2	62.4	65.8	60.2	60.1
Diferencia de punto de reblandecimiento ( DO)	Original	9.4	9.6	10.5	12.4	12.9
	Después del tratamiento	5.4	4.2	7.9	8.9	8.4
pérdida de masa	Original	1.14	1.23	1.56	1.78	1.82
	Después del tratamiento	0.29	0.39	0.54	0.73	0.79

Tabla 6

resultados de la prueba ortogonales.

Penetración Número (0,1 mm) Temperatura de reblandecimiento ( C ) G * / sen re a 58 C (KPa) 1 mi 1			
	75.0	47.1	3,314
1 mi 2	72.0	48.0	3,998
1 mi 3	65.5	49.0	3,984
2 mi 1	68.0	48.1	3,983
2 mi 2	78.5	46.1	3,139
2 mi 3	71.5	48.6	4,141
3 mi 1	66.5	48.6	3,689
3 mi 2	67.5	49.4	5,225
3 mi 3	79.0	46.0	2,944

Tabla 7

Intervalo de los resultados de las pruebas ortogonales.

índices de evaluación	factores	K1	K2	K3	k1	K2	K3	extremum
Penetración (0,1 mm)	tiempo de agitación	211	218	213	70.33	72.67	71.00	2.33
	temperatura de agitación	209.5	216.5	216	69.83	72.17	72.00	2.33
	relación de masa de aceite en agua	232.5	201	238.5	77.50	67.00	79.50	12.50
Punto de ablandamiento ( DO)	tiempo de agitación	144.1	142.8	143.1	48.03	47.60	47.70	0.43
	temperatura de agitación	143.8	143.5	143.6	47.93	47.83	47.87	0.10
	relación de masa de aceite en agua	139.2	146.5	145.2	46.40	48.83	48.40	2.43
G * / sen re a los 58 años C (KPa)	tiempo de agitación	11.196	11.263	11.858	3.73	3.75	3.95	0.22
	temperatura de agitación	10.886	12.362	11.069	3.63	4.12	3.69	0.49
	relación de masa de aceite en agua	9.297	13.192	11.828	3.10	4.40	3.94	1.30

Nota:  $K_{1,2,3}$  y  $k_{1,2,3}$  es la suma de resultados de las pruebas correspondientes a una variedad de factores en el mismo nivel;  $k_{1,2,3}$  es la media de los resultados de las pruebas correspondientes a una variedad de factores en el mismo nivel.

Penetración: agua-aceite de relación de masa > tiempo de agitación > temperatura de agitar;

Punto de reblandecimiento: relación de masa de agua-aceite > tiempo de agitación > temperatura se agita;

En celo factor de: masa de agua-aceite proporción > agitación temperatura > tiempo de agitación.

#### 5.4.2. El análisis de varianza de prueba ortogonal

El análisis de varianza considera las relaciones primarias y secundarias de cada factor en los índices de evaluación desde el punto de vista extremo, pero no especificamente determinar el grado de influencia en Florida, es decir, no puede juzgar con precisión el efecto de cada factor sobre los índices de evaluación. Con el fin de compensar los problemas existentes en el método de análisis de rango, se utilizó el método de análisis de la varianza para analizar los resultados de la prueba. De acuerdo con los resultados de la prueba ortogonal, los datos se procesaron por software de análisis estadístico SPSS, en el cual el nivel de significancia fue del 5%, y los resultados de análisis de varianza se muestran en la Tabla 8. Cuando el valor de P es menor que 0,05, el factor se considera que tiene un efecto significativo en los resultados de la prueba. Es obvio que los valores de P que corresponden a la relación de masa de agua-aceite eran todos de menos de 0,05, siendo estos 0,043, 0,017 y 0,049. Esto indica que la relación de masas de agua-aceite tuvo una significación significativa en las actuaciones de alta temperatura. Sin embargo, para la temperatura de tiempo de agitación y agitación, su impacto en el rendimiento no era significativo.

todos los valores de P fueron mayores que 0.05. Therefore, en el uso de agua destilada para la optimización de bio-asfalto, se debe prestar especial atención al contenido de agua.

#### 5.4.3. Efecto de la relación de masa de agua-aceite en actuaciones de temperatura altas

Como se muestra arriba, la relación de masa de agua-aceite era un factor influyente. Por lo tanto, con el fin de determinar la relación de masas optimumwateroil, en Florida influencia de la relación de masa de agua-aceite en las actuaciones de alta temperatura fue investigada, como se muestra en Fig. 4. Basado en la investigación anterior, revolviendo tiempo y la temperatura de agitar

No eran factores significativos. Por otra parte, bio-aceite no tiene una buena compatibilidad con agua destilada si la temperatura es demasiado baja. Por otro lado, el bio-aceite es propenso a envejecimiento si la temperatura es demasiado alta. Por lo tanto, se determinó la temperatura como 50 C. Por otra parte, el tiempo de agitación fue seleccionado como 10 min. Bio-asfaltos se estudiaron con contenido de 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, respectivamente.

A partir de los resultados de la prueba de DSR de diferentes bio-asfaltos ( Fig. 4 ), el factor de resistencia ( G \* / sen re ) de diferentes bio-asfaltos tenían una tendencia aproximada afectada por la relación de masa de agua-aceite. Se puede observar que el G \* / sen re tenía una tendencia creciente cuando la relación de masa de agua-aceite varió de 1: 1 a 2: 1. El valor de G \* / sen re alcanzó un máximo cuando la relación de masa de agua-aceite fue de 2: 1. El G \* / sen re no tienen mucho cambio cuando el contenido de agua destilada excede de 2: 1, que fue especialmente evidente para los bio-asfaltos con el contenido del 20%, 25% y 30%. Esto indica que la relación de masa agua-aceite de 2: 1 es suficiente en la disolución de la sustancia soluble en agua; más agua provoca un aumento en el costo y no es necesario.

En general, los parámetros de optimización de bio-aceite se determinaron como un tiempo de agitación de 10 min, temperatura de 50 C y la relación de masa de 2-agua de agitación de aceite: 1.

## 6. Conclusiones

En este estudio, los componentes complejos de la bio-aceite fueron investigadas por GC-MS. A continuación, las pruebas de ensayo y RTFO FTIR se aplicaron a

Tabla 8

El análisis de varianza de prueba ortogonal.

índices de evaluación	En Florida factores uir	Suma de los cuadrados de las desviaciones	grado de libertad	Mean Square	valor estadístico (F)	signifi cancia (P)
Penetración (0,1 mm)	tiempo de agitación	8,667	2	4,333	1,061	0,485
	temperatura de agitación	10,167	2	5,083	1,245	0,445
	relación de masa de agua-aceite 180,500		2	90,250	22,102	0,043
Punto de ablandamiento ( DO)	tiempo de agitación	0,349	2	0,174	0,460	0,661
	temperatura de agitación	0,016	2	0,008	0,010	0,990
	relación de masa de agua-aceite 10,109		2	5,054	13,321	0,017
G * / sen $\theta$ a los 58 años C (KPa)	tiempo de agitación	0,089	2	0,044	0,136	0,881
	temperatura de agitación	0,432	2	0,216	1,164	0,400
	relación de masa de agua-aceite 2,604		2	1,302	7,023	0,049

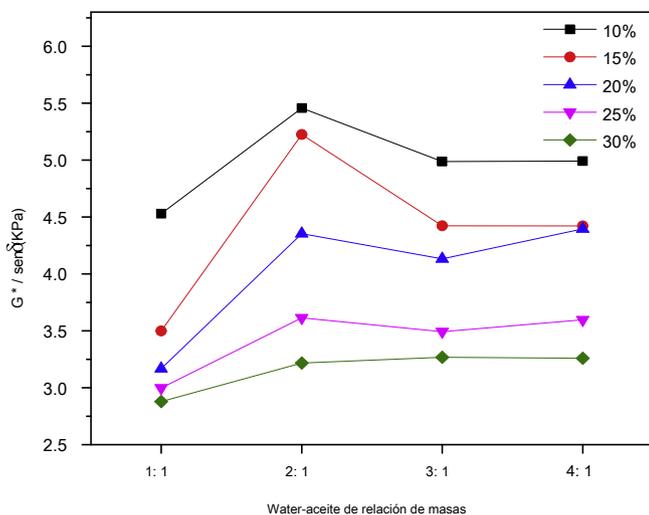


Fig. 4. En Florida influencia de la relación de masa de agua-aceite en la formación de surcos de resistencia.

estudian si los componentes de peso ligero se retiraron de la bio-aceite y si el rendimiento a alta temperatura y las propiedades anti-envejecimiento mejorado después de que el tratamiento de la bio-aceite con agua destilada. Además, se aplicó el diseño experimental ortogonal para determinar el signifi cancia de la optimización de la en Florida factores influyentes, y la prueba de DSR se llevó a cabo para determinar los parámetros óptimos. Con base en los resultados preliminares, se hicieron las siguientes conclusiones:

- 1) Bio-aceite es un tipo de material complejo, incluyendo muchos compuestos químicos, así como muchos de luz ponderada componentes polares tales como fenol, tolueno, eugenol, etc.
- 2) Una gran cantidad de componentes de peso ligero polares se puede quitar de bio-aceite utilizando agua destilada.
- 3) una relación de masa de agua-aceite de 2: 1 es sufi ciente para disolver el agua sustancias solubles como la alta temperatura de celo funcionamiento de la resistencia es mejor bajo esta condición. Por otra parte, el proceso de tratamiento óptimo para el bio-aceite es agitar con agua destilada a 50 C durante 10 min con una relación de agua-aceite de 2: 1.
- 4) Es confiable para optimizar bio-asfalto mediante el uso de bio-aceite y agua destilada para el alto rendimiento de temperatura y las propiedades anti-envejecimiento se mejoraron tras el tratamiento de bio-aceite.

Expresiones de gratitud

Esta investigación es apoyada por la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (No.51378074, 51578075), el Proyecto de Investigación Fundamental y Aplicada del Departamento de Transporte Nacional de China (2014 319 812 180), y el Fondo Especial para la Ciencia Básica de Investigación de la Central de Universidades, Chang ' una universidad

(CHD310821153503).

## referencias

- AASHTO de 2009. Método Estándar de Ensayo para efecto del calor y del aire en una película en movimiento  
Carpeta de asfalto (balanceo delgada fi Im Horno de prueba). Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte de fi funcionarios .
- Akhtar, Javaid, Soo Kim, Kuang, NorAishah Saidina, Amin, 2010. La licuefacción de vacio manrojo fruto de la palma (EPFB) en agua comprimido caliente alcalina. *Renovar. Energy* 35, 1220 mi 1227 .
- Asli, Hallizza, Ahmadinia, Esmail, Zargar, Majid, Karim, Mohamed Rehan, 2012. Investigación de las propiedades físicas del aceite de cocina usado mi aglutinante de betún rejuvenecido. *Constr. Construir. Mater.* 37, 398 mi 405 .
- Ba, Tuya, Chaala, Abdelkader, García-Pérez, Manuel, Roy, Christian, 2004. coloidal propiedades de bio-aceites obtenidos por pirólisis de vacio de la corteza de madera blanda. Estabilidad de almacenamiento. *Energía y combustibles* 18, 188 mi 201 .
- Bridgwater, AV, Peacocke, GVC, 2000. procesos de pirólisis rápida de biomasa. *Renovar. Sostener. Energía Rev.* 4, 1 mi 73 .
- Byler, Michael D, Susi, Heino, 1986. El examen de la estructura secundaria de proteínas por espectros FTIR deconvolved. *Biopolímeros* 25, 469 mi 487 .
- Capunitan, Jewel A., Capareda, Sergio C., 2013. Caracterización y separación de rastrojo de maíz bio-aceite por destilación fraccionada. *Combustible* 112, 60 mi 73 .
- Chaiya, Chaiyan de 2011. La producción de biocombustible a partir de residuos de café mediante pirólisis proceso. *En: Actas del Congreso Mundial de Ingeniería y Ciencias de la Computación*, pp 19 mi 21 .
- Colbert, Baron, Mohd Hasan, Mohd Rosli, Usted, Zhanping, 2016. Una estrategia híbrida en seleccionar diversas combinaciones de materiales sostenibles innovadoras para pavimentos asfálticos. *J. Traf fi c Transp. Ing. Engl. Ed.* 3, 89 mi 103 .
- Dinis-Almeida, Marisa, Afonso, M arcia Lopes, 2015. mezcla caliente asfalto reciclado mi un solución sostenible. *J. Limpio. Pinchar.* 107, 310 mi 316 .
- Fini, Elham H., Kalberer, Eric W., Shahbazi, Abolghasem, 2011. Biobinder de cerdos estiércol: alternativa sostenible para el ligante asfáltico. *En: Transportation Research Board 90ª Reunión Anual* .
- Fini, Elham H., Al-Qadi, Imad L., Usted, Zhanping, Zada, Boubacar, Mills-Beale, J., 2012. El reemplazo parcial de aglutinante de asfalto con bio-aglutinante: caracterización y modi fi cación. *En t. J. Pavement Eng.* 13, 515 mi 522 .
- Gao, Jie, Yin, Jun Zhu, Feifei, Chen Xin, Tong, Ming, Kang, Wanzhong, Zhou, Yanbo, Lu, Jun, 2016. Orthogonal diseño de prueba para optimizar los parámetros de funcionamiento de CO 2 de desorción de un híbrido disolvente MEA-metanol en un separador de embalaje. *J. Inst Taiwán. Chem. Ing.* 64, 196 mi 202 .
- Éi, Gang, Zhang, Liyuan, Zhou, Dali, Zou, Yuanwen, Wang, Fanhou de 2015. El condición óptima para H2TIO3 mi preparación adsorbente de litio y Li b con la adsorción fi confirmada por una prueba de diseño ortogonal. *Ionics* 21, 2219 mi 2226 .
- Hill, Daniel R., Jennings, Aaron A., 2011. Biosphalt de desechos de jardín urbano carbonización: un estudio de los estudiantes. *Citeseer* .
- Hofer, Lukas, Wurz, Peter, Buch, Arnaud, Cabane, Michel, Coll, Patrice, Coscia, David, Gerasimov, Mikhail, Lasi, Davide, Saggir, Alexandr, Szopa, Cyril, 2015. Prototipo del cromatógrafo de gases mi espectrómetro de masas para investigar las especies volátiles en el suelo lunar de la misión Luna-Resurs. *Planeta. Espacio de ciencia.* 111, 126 mi 133 .
- Mills-Beale, Julian, Usted, Zhanping, Fini, Elham, Zada, Boubacar, Huei Lee, Chee, Yap, Yugo Khin, 2012. El envejecimiento en Florida influencia en las propiedades de reología de modi asfalto base de petróleo fi ed con biobinder. *J. Mater. Civ. Ing.* 26, 358 mi 366 .
- Mohan, Dinesh, Pittman, Charles U., Steele, Philip H., 2006. La pirólisis de la madera / biomasa para bio-aceite: una revisión crítica. *Energía y combustibles* 20, 848 mi 889 .
- Mohd Hasan, Mohd Rosli, Usted, Zhanping, 2016. etanol a base de asfalto espumado como alternativa potencial para la tecnología de baja emisión de asfalto. *J. Traf fi c Transp. Ing. Engl. Ed.* 3, 116 mi 126 .
- Onay, Ozlem, Koçkar, O Mete, 2006. La pirólisis de colza en un reactor de caída libre para producción de bio-aceite. *Combustible* 85, 1921 mi 1928 .
- Onochie, Albert, Fini, Elham, Yang, Xu, Mills-Beale, Julian, Usted, Zhanping, 2013. Caracterización reológica de nano-partículas basado bio-modi fi aglutinante ed. *En: Transportation Research Board 92ª Reunión Anual* .
- Peralta, Joana, Raouf, Mohamed Abdel, Tang, Sheng, Williams, R Christopher, 2012. modi asfalto bio-renovables fi ERS y sustitutos de asfalto. *En: Bioenergía Sostenible y bioproductos. Saltador* .
- Raouf, Mohamed Abdel, Williams, Christopher R, 2010. La reología de fraccionado comstover bio-aceite como material de pavimento. *En t. J. Pavimentos* 9 .

- ens s 6z, Sevgi, Kaynar, \_ Ilke, 2006. La producción de Bio-aceite de soja (Glycine max L.); las propiedades del combustible de Bio-aceite. *Ind. De cultivos. Pinchar*. 23, 99 mi 105 .
- Uzun, Burcu, Bas ak, Apaydin-Varol, Esin, Ates, Funda, Nurgül € Ozbay, Eren Putún, AYS correo, 2010. La producción de combustible sintético a partir de residuos de té: caracterización de bio-aceite y la bio-char. *Combustible* 89, 176 mi 184 .
- Wang, Hainian, Usted, Zhanping, Mills-Beale, Julian, Hao, Peiwen, 2012. Laboratorio evaluación de alta viscosidad a temperatura y baja rigidez temperatura de aglutinante de asfalto con caucho de neumáticos de desecho de alto por ciento. *Constr. Construir. Mater.* 26, 583 mi 590 .
- Wang, Hainian, Gao, Junfeng, Usted, Zhanping, 2014. Los avances en bio-ligante apli- de cationes en el pavimento de carreteras. *J. Wuhan Univ. Technol.* 36, 4 .
- Wang, Hainian, Zhang, Ran, Chen, Yu, Usted, Zhanping, Fang, junio, 2016. Estudio sobre microestructura de la tecnología CT recubierto de goma reciclada mezcla de asfalto caliente de rayos X basada. *Constr. Construir. Mater.* 121, 177 mi 184 .
- Yang, Xu, Usted, Zhanping, 2015. Evaluación de rendimiento de alta temperatura de biocombustible modi fi ed ligantes asfálticos utilizando las pruebas DSR y MSCR. *Constr. Construir. Mater.* 76, 380 mi 387 .
- Yang, Xu, Usted, Zhan-Ping, Dai, Qing-Li, 2013. Evaluación del desempeño del asfalto aglutinante modi fi cado por biocombustible generado a partir de los recursos de madera de desecho. *En t. J. Pavement Res. Technol.* 6, 431 mi 439 .
- Yang, Xu, Usted, Zhanping, Dai va a todos, Mills-Beale, Julian, 2014A. Mecánico rendimiento de mezclas asfálticas caciones fi cado por los bio-aceites derivados recursos de madera fromwaste. *Constr. Construir. Mater.* 51, 424 mi 431 .
- Yang, Xu, Usted, Zhanping, Mills-Beale, Julian, 2014b. aglutinantes de asfalto mezclan con un alto porcentaje de biobinders: mecanismo de envejecimiento utilizando FTIR y reología. *J. Mater. Civ. Ing.* 27, 04014157 .
- Yang, Xu, Mills-Beale, Julian, Usted, Zhanping, 2017. Caracterización química y envejecimiento oxidativo de la bio-asfalto y su compatibilidad con el asfalto de petróleo. *J. Limpio. Pinchar.* 142, 1837 mi 1847 .
- Yao, Hui, Usted, Zhanping, Li, Liang, Wei Goh, Shu, Hwei Lee, Chee, Khin Yap, Yugo, Shi, Xianming, 2013. propiedades reológicas y de análisis químico de nanopartículas de arcilla y carbono micro fi ber modificado fi ed asfalto con espectroscopia infrarroja por transformada de fourier. *Constr. Construir. Mater.* 38, 327 mi 337 .
- Usted, Zhanping, Mills-Beale, Julian, Fini, Elham, Wei Goh, Shu, Colbert, Baron, 2011. Evaluación de las propiedades ligantes de baja temperatura de asfalto caliente-mix, se extrae y se recuperó RAP y RAS, y bioasphalt. *J. Mater. Civ. Ing.* 23, 1569 mi 1574 .
- Zhang, Ran, Wang, Hainian, Gao, Junfeng, Usted, Zhanping, Yang, Xu, 2017. Alto rendimiento temperatura de SBS modi fi ed bio-asfalto. *Constr. Construir. Mater.* 144, 99 mi 105 .
- Zhao Xin, 2014. Estudio preliminar sobre la tecnología de preparación y reología Propiedad de carpetas de Bio-asfalto. Chang ' una universidad .