

Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina

Evaluation of the aging effect of 80-100 asphalt cement modified with lignin

Daniella Rodríguez U*
Cristian Rodríguez**
Sindy Ramírez***
Cristhian Flórez****

RESUMEN

Esta investigación presenta un análisis de los resultados obtenidos de un asfalto modificado con lignina, un polímero abundante y de fácil acceso debido a su origen natural y su bajo costo de obtención el cual se crea mediante el proceso de fotosíntesis, compone el 30% de carbono orgánico no fósil y de un cuarto a una tercera parte de la masa seca de la madera, cumple con una función fundamental que se caracteriza por dar soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra agentes microbiológicos y estrés oxidativo. Esto hace que se convierta en un polímero muy resistente a la degradación. Para la mezcla modificada se utilizó un asfalto 80-100, y lignina producto de un desecho industrial papelerero. El método empleado para esta investigación fue a partir de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento (anillo y bola), consideradas como pruebas fundamentales cuando se busca producir mezclas que presenten mayor temperatura de ablandamiento y menor temperatura de fractura. Con la lignina se utilizaron 6 porcentajes distintos; 5%, 10%, 15% y 20% en 400 gramos de asfalto 80-100. La lignina fue tamizada en el tamiz de 75 µm con el fin de obtener una mezcla homogénea y evitar grumos; el tiempo de mezcla fue de 30 minutos por cada porcentaje y la temperatura se manejó en un rango de 125°C a 135°C para prevenir la aparición de burbujas de aire.

Palabras clave: Envejecimiento a corto plazo, Lignina, Asfalto modificado, RTFO.

ABSTRACT

This research presents an analysis of the results obtained from modified asphalt with lignin, an abundant polymer and of easy access due to its natural origin and its low cost of obtaining, which is created by the process of photosynthesis. Composes 30% of non-fossil organic carbon and one-fourth to one-third of the dry mass of the wood, and also fulfills a fundamental function characterized by structural support, impermeability and resistance to microbiological agents and oxidative stress. This makes it a very resistant polymer to degradation. For the modified blend an asphalt 80-100 was used, and lignin was produced from an industrial paper waste. The method utilized for this research was based on the tests of penetration and softening point (ring and ball), considered as basic tests when it is sought to produce mixtures that have a higher softening temperature and a lower fracture temperature. With lignin 6 different percentages were used: 5%, 10%, 15% and 20% in 400 grams of 80-100 asphalt. The lignin was sieved in the 75 µm sieve to obtain a homogeneous mixture and avoid lumps; The mixing time was 30 minutes for each percentage and the temperature was handled in a range of 125 ° C to 135 ° C to prevent the appearance of air bubbles.

Keywords: Short-term aging, lignin, modified asphalt, RTFO.

Como citar este artículo:

D. Rodríguez U., Cristian Rodríguez, S. Ramírez, C. Flórez, "Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina". *Ingeniare*, N° 20, pp. 47-61, 2016.

* Docente, Universidad Piloto de Colombia, departamento de ingeniería civil. Correo electrónico: daniella-rodriguez@unipiloto.edu.co
,*,**** Departamento de Ingeniería, Universidad Piloto de Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento en pavimentos flexibles ha sido durante mucho tiempo uno de los principales problemas que afectan la calidad y el tiempo de vida útil de la carpeta de rodadura. En este fenómeno intervienen, por un lado, causas asociadas a variables intrínsecas como el tipo de agregados, contenido de vacíos y las características propias de la mezcla asfáltica y, por otro lado, factores externos como la humedad, temperatura y radiación, los cuales provocan daños imposibles de eliminar, pero posibles de minimizar. Los efectos que se producen corresponden en muchos casos a modificadores de orden químico, es decir, en las relaciones moleculares de la mezcla.

En general, estos cambios en la estructura molecular del asfalto se ven traducidos en un endurecimiento físico que convierte lentamente la mezcla en un material frágil susceptible a la aparición de grietas y otros fenómenos asociados durante su vida útil. Es por esta razón que surge la necesidad de minimizar este proceso, al realizar la modificación del asfalto desde su estructura interna agregando un antioxidante natural, para cambiar así sus propiedades físicas y reológicas, creando una carpeta asfáltica más resistente a factores que causan la oxidación y, por consiguiente, el envejecimiento.

Por ello, se considera que la lignina es un polímero que puede mejorar la estructura interna del asfalto, pues funciona como antioxidante, ya que su función principal en las plantas se caracteriza por dar soporte estructural, impermeabilidad y resistencia contra agentes microbiológicos y estrés oxidativo. Es un elemento amorfo, ópticamente inactivo e insoluble en agua y posee la ventaja de ser muy abundante en la naturaleza, por ende, de fácil acceso debido a su bajo costo de obtención, lo que incrementa su importancia en distintas aplicaciones industriales, incluidos los procesos de construcción de pavimentos.

Esta investigación efectuó un análisis de los resultados obtenidos de la modificación de un cemento asfáltico (C.A) 80-100 con lignina, con el fin de determinar si esta mezcla mejora las propiedades físicas del asfalto y conlleva a reducir el fenómeno de envejecimiento en las mezclas bituminosas, únicamente durante el proceso de construcción.

2. ENVEJECIMIENTO

Las vías son consideradas como parte fundamental de una sociedad, ya que mueven los bienes y servicios de un país. La mayoría están construidas en pavimento asfáltico, por esto su comportamiento mecánico y dinámico depende de las propiedades de las mezclas asfálticas [1]. Aproximadamente hace más de cinco décadas en el ámbito mundial, se ha venido desarrollando un estudio preciso de los efectos del envejecimiento en ligantes y mezclas asfálticas [2]. El envejecimiento es considerado como un fenómeno que altera las propiedades físico-químicas de la carpeta de rodadura, que ocasiona en el pavimento un deterioro a través del paso del tiempo y, por ende, disminuye su durabilidad [3]; esto se

debe a la interacción de las mezclas con factores internos y externos que ocasionan un endurecimiento considerable e irreversible, afectando en gran escala su desempeño requerido [4].

Los factores internos o también llamados variables intrínsecas son las propiedades de los materiales que hacen parte de la mezcla como el cemento asfáltico, los agregados y el contenido de vacíos [4], y los factores externos o variables extrínsecas afectan el proceso de la mezcla, el almacenamiento y transporte, así como la construcción de la carpeta de rodadura, siendo estos la temperatura de producción de la mezcla, la humedad, la radiación ultra violeta y la temperatura ambiente [3]. Aunque investigadores como [5] y [6] afirman que solo la temperatura tiene una influencia marcada en el envejecimiento, ya que el ozono, el oxígeno y los rayos UV son factores que existen, pero no tienen ninguna variación, así mismo “los demás factores ambientales tienen interdependencia: la humedad relativa, es un indicador de la evapotranspiración y precipitación, y depende de la temperatura. La variación de la temperatura del día a la noche es función de la radiación térmica del sol y del tiempo de radiación” [5].

El envejecimiento se puede llegar a originar desde las primeras etapas de elaboración, como el mezclado en planta, presentarse en el proceso de construcción de una vía o, más comúnmente, en su periodo de servicio [4]. Este fenómeno es impulsado por medios o mecanismos químicos que intervienen en este proceso, que finalmente alteran el orden químico, físico, mecánico y reológico de la carpeta asfáltica [7]. Cuando se afecta las propiedades químicas de la mezcla se produce un cambio con respecto al orden en la estructura molecular del asfalto, provocando un endurecimiento en este y, por consiguiente, convirtiendo lentamente la mezcla en un producto frágil y susceptible a tener daños como: grietas longitudinales, grietas transversales, fisuras, piel de cocodrilo entre otros [4]. Como se mencionaba, existen tres (3) etapas que contribuyen con el proceso de envejecimiento [8]. La primera es la destilación de los componentes de luz asfáltica originada por el incremento en la temperatura de producción del asfalto, almacenamiento, transporte y colocación, disminuyendo el peso del ligante asfáltico por su evaporación. La segunda es la oxidación durante la vida de servicio que se produce cuando la mezcla se pone en contacto con el ambiente y este altera las fracciones SARA [9], provocando una fragilidad y un agrietamiento en pequeña o gran escala. Y la tercera es el endurecimiento estérico producido por los cambios de temperatura cercanos a la temperatura del ambiente [10].

Este y otros factores hacen que el fenómeno de envejecimiento se convierta en interés de estudio, por su misma complejidad en el proceso de desarrollo como enfermedad [11].

Durante el ciclo de elaboración de la mezcla asfáltica, los asfaltos se oxidan como efecto de reacción con el oxígeno y la temperatura de mezcla alcanzada en el momento de la elaboración [3]. Al hablar de oxidación del cemento asfáltico se habla de un cambio en su estructura molecular, el cual hace que se creen moléculas polares de mayor tamaño, causando la alteración de sus propiedades reológicas [12]. La oxidación es conocida como un fenómeno en el cual el oxígeno actúa sobre los componentes

principales más reactivos del asfalto, manifestándose en forma de endurecimiento, pérdida de la consistencia visco elástica, fisuración y agrietamiento, presentándose en las etapas de producción a causa de factores como presión, temperatura y tiempo [13]. Esto abre paso a las primeras fases de desarrollo como fenómeno de envejecimiento, en conjunto con diversos agentes climáticos es inducido a presentarse como un fenómeno en su totalidad que incide en los pavimentos [3].

Las carpetas asfálticas envejecidas son las que presentan un cambio en las propiedades originales de la mezcla durante el tiempo de servicio por efecto de agentes ambientales [14], por esto el envejecimiento se asocia con la pérdida de los componentes volátiles y la oxidación del asfalto [13], que consecuentemente impide el correcto funcionamiento de la capa superior del pavimento para lo cual fue construida [5], siendo obligatorio terminar la vida económica de su servicio. Por esto es de gran importancia tener en cuenta el efecto del cambio en la composición químico y físico del cemento asfáltico durante el proceso de mezclado en caliente y tiempo de servicio, si se quiere obtener una carpeta asfáltica con mayor durabilidad [15].

Cuando se habla de envejecimiento se debe tener presente que existen dos tipos, destacados por diversos estudios. El primero identifica nuevamente los componentes envueltos en el envejecimiento de las mezclas asfálticas, especificando la producción y colocación de esta mezcla que hace parte del envejecimiento a corto plazo [16]. El segundo tiene presente el tiempo de uso y su vida de servicio como vía, hablando aquí de envejecimiento a largo plazo [17].

El envejecimiento a corto plazo se origina cuando se elabora la mezcla en la planta y durante la colocación *in situ* de la mezcla asfáltica [5], que es causado por la oxidación y la pérdida de volumen o volatilización del cemento asfáltico; pues se presenta una reacción con los hidrocarburos de la atmósfera al elevarse la temperatura inicial y al tener contacto directo el oxígeno con el ambiente [18], [13]. Estudios evalúan el desempeño dinámico y estático de mezclas asfálticas envejecidas a corto plazo por medio del ensayo de laboratorio *Rolling thin Film Oven* (ensayo rotatorio de película delgada [RTFO]), el cual simula el proceso de producción y colocación de mezclas asfálticas generando un incremento en la viscosidad del asfalto con endurecimiento de la mezcla. Los estudios realizados afirman que el envejecimiento de asfalto con el ensayo RTFO simula de manera acertada el envejecimiento generado por factores reales [16]. El ensayo rotatorio de película delgada, propuesto por [19], fue desarrollado para evaluar el envejecimiento del asfalto a corto plazo.

El envejecimiento a largo plazo se presenta exclusivamente en el periodo de servicio del pavimento, a causa de la oxidación y de la exposición a condiciones ambientales, igualmente en el campo durante el tiempo de servicio [4]. Causa fallas igual de graves a la oxidación inicial, incluido un aumento en la rigidez, la pérdida de la ductilidad, y la fragmentación del producto bajo tensiones térmicas o carga [20]; al haber un aumento de asfaltenos y los componentes aromáticos por la reacción de las condiciones ambientales dan como resultado estos problemas en el pavimento, sus efectos no se ven a corto plazo, solo a través

del tiempo estas características se pueden detallar [4]. Sin embargo, el envejecimiento oxidativo a largo plazo puede causar fallas tan graves como la oxidación inicial, incluido un gran aumento de la rigidez y la pérdida de ductilidad, y el craqueo de los productos finales bajo tensiones térmicas o de carga.

Actualmente existe un método para especificaciones de materiales asfálticos, resultado de diversas investigaciones a través de la historia: el método *Superpave* (Superior Performing Asphalt Pavements), el cual mide las propiedades físicas de los asfaltos sobre los asfaltos envejecidos por el laboratorio, creando condiciones reales de operación del pavimento [21]. En el método *Superpave* “el potencial de ahuellamiento es verificado con una muestra de asfalto original, y otra luego de realizar el envejecimiento en RTFO, mientras que el potencial de fisuración (debida a fatiga y a cambios térmicos) es corroborado mediante el envejecimiento por medio del *Pressure Aging Vessel* (PAV)” [13]. El ensayo PAV (pressure aging vessel) tiene como mecanismo oxidar aceleradamente la mezcla asfáltica representando un estado de servicio por muchos años, lo cual simula un envejecimiento a largo plazo [22].

Simultáneamente, [6] “estudió el envejecimiento de sistemas asfalto agregado y concluyó que los métodos más recomendados para evaluar la durabilidad a largo tiempo son envejecimiento en horno, oxidación bajo presión, tratamiento con luz ultravioleta, tratamiento con humedad, y para corto tiempo son calentamiento y tratamiento con microondas. Adicionalmente, dividió las pruebas para evaluar las mezclas asfalto-agregado, en pruebas destructivas y no destructivas, siendo algunas de estas últimas el módulo dinámico, el módulo elástico y la prueba de tensión indirecta” [3].

Así mismo, [3] al analizar una mezcla asfáltica modificada con polímero, la cual estaba envejecida, determina que la modificación con polímeros incrementa el módulo complejo (incremento en la resistencia a la deformación “ablandamiento”) a temperaturas elevadas, y lo disminuye a bajas temperaturas, lo que significa que los polímeros disminuyen la susceptibilidad al envejecimiento de los asfaltos y reducen el incremento de la ductilidad.

Con lo anterior es posible determinar que los polímeros industriales y polímeros de desechos de productos biodegradables son los productos más utilizados en el área de asfaltos modificados [23]. Polímeros de tipo elastómero tienden a deformarse al inducirles fuerza, pero vuelven casi a su forma original cuando se retira la fuerza inducida. Entre los más destacados se encuentran los copolímeros en bloque de estireno y butadieno SBS [24].

En Colombia se empezó a estudiar el envejecimiento bajo condiciones naturales a mediados del año 1997, por investigadores como Afanasieva y Álvarez, que evaluaron los cambios que se daban en las propiedades físicas y mecánicas a partir de ensayos como: viscosidad, ductilidad, penetración, punto de ablandamiento y densidad.

2.1. Asfalto modificado

En el ámbito mundial la utilización de los asfaltos modificados se ha convertido en uno de los métodos de mayor uso para el mejoramiento de las características que presentan las mezclas asfálticas al experimentar niveles elevados de tránsito y distintas temperaturas [25]. Su uso permite conseguir un producto de mayor durabilidad y mejor comportamiento bajo las cargas de tránsito, por esto desde hace varios años esta tecnología de asfaltos modificados se emplea en distintos países del mundo como; Brasil, México, Chile, España, Costa Rica y Colombia entre otros [23].

Esta alternativa tiene un efecto significativo en los pavimentos, ya que consigue un aumento en propiedades como cohesión y adhesividad, un mayor tiempo de vida útil y, por ende, logra disminuir costos de mantenimiento en las vías [24] obteniendo una mayor resistencia a los efectos del agua y cambios climáticos. También se mejoran las propiedades elásticas y de viscosidad con el fin de obtener un producto más resistente a la deformación y fatiga, y minimizar los efectos producidos por este fenómeno que ataca a los pavimentos [26]. Países como Estados Unidos, Venezuela, Costa Rica, Salvador, Francia y Brasil iniciaron las investigaciones para minimizar los efectos del envejecimiento [24], buscando alternativas convenientes para reducir el riesgo del daño por este fenómeno y a su vez contribuir a la fomentación para la innovación de materiales para carreteras a partir del uso de desechos u elementos no biodegradables y materiales orgánicos [7]. A partir de esto se han realizado trabajos con la utilización de llanta, vidrio, polietileno, PVC, icopor, polímeros, fibras, ceras naturales o cal entre otros.

Aguilar y otros [7] realizaron un estudio del uso de materiales de desechos como una alternativa para la modificación de asfaltos, en el que se evaluó el uso de poliestireno, mezcla de llenante de polímero que incluye caucho, talco, fibra de carbón, fibra de vidrio, polipropileno, polietileno y caucho de llanta entre otros, como modificantes para el asfalto (AC-30). Los ensayos para la caracterización del asfalto se realizaron en el Laboratorio Nacional de materiales y modelos estructurales (Lanamme UCR, Universidad de Costa Rica). La caracterización del asfalto fue realizada siguiendo la metodología superpave para el asfalto original, el asfalto envejecido a corto plazo (RTFO) y el asfalto envejecido a largo plazo (RTFO+PAV). Los modificantes fueron incorporados al asfalto de acuerdo a una dosificación por peso, obteniendo un resultado que permite concluir que, al utilizar estos materiales, se mejora el desempeño frente a la deformación permanente y a la fatiga; adicionalmente trae consigo ventajas como la reutilización de elementos no biodegradables que generan alto impacto en el medioambiente, pues su lugar de disposición final son fosas o basureros [7].

En otra investigación se incorporaron látices sintéticos de estireno-butadieno de altos sólidos y polimerizados en frío (látex de SBR), para la modificación del bitumen en mezcla asfáltica en caliente y para emulsiones bituminosas empleadas en aplicaciones en frío como los micro-pavimentos y tratamientos superficiales. Se realizaron los ensayos de penetración y viscosidad para el asfalto seguidos del método SHRP de los Estados Unidos, que da como resultado las especificaciones Superpave, obteniendo una

correlación real del rendimiento del pavimento. La mezcla del asfalto con el látex de SBR se realizó por agitación a presión atmosférica utilizando un sistema de extracción de afluentes. Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron concluir que al modificar el asfalto con este polímero disminuye factores del envejecimiento como: ahuellamiento o acanalamiento por deformación plástica del ligante bituminoso, rotura por cambios de la temperatura, fatiga y desprendimiento de agregados [21].

2.2. Modificación con lignina

Comúnmente se está buscando una técnica con resultados efectivos para minimizar el daño que genera el envejecimiento a los pavimentos [27]; la tecnología de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas se han convertido en una alternativa que es considerablemente estudiada y aplicada en el mundo. Con el uso de polímeros se modifican las propiedades del asfalto y la mezcla [28].

Al existir una compatibilidad entre la matriz del asfalto y un material adicional, se mejoran las propiedades reológicas de la mezcla evitando problemas como el desgaste de la carpeta de rodadura o un aumento a la resistencia de fatiga [29]. Se ha demostrado que la presencia de polímeros en el asfalto reduce efectos tales como el endurecimiento del asfalto y la pérdida de las propiedades físicas deseables, también conocidas como oxidación. De igual forma, reduce los efectos producidos por el envejecimiento y, por lo tanto, desacelera la formación de grietas y surcos en el pavimento, entre otras patologías [20].

En la búsqueda de un asfalto resistente a la oxidación, [20] realiza una investigación en la ciudad de Washington, en la que utiliza la técnica de espectroscopias de fotoelectrones de rayos x (XPS): es un método utilizado para la caracterización de superficies, en la que se estudia los elementos químicos y atómicos de la estructura del pavimento. [20] implementó esta técnica para probar la validez de los modelos de asfalto modificados y no modificados, para la modificación del asfalto uso aditivos biológicos entre los cuales se encontraba la lignina. Se elaboran siete muestras de asfalto modificado con un porcentaje de lignina comercial, siendo esta un polímero antioxidante por tener gran cantidad de estructuras de fenol [31]. La mezcla se llevó a cabo a una temperatura de 130 °C y 150 °C, en un tiempo equivalente a 2 horas, para comprobar la resistencia de la lignina a elevadas temperaturas y simular el envejecimiento del asfalto. Con este procedimiento se demostró la capacidad de la lignina para supervivir a 130 °C y 150 °C, y concluir que la lignina que se estudio es adecuada para las mezclas en caliente, seguido a estos ensayos se utiliza la técnica de espectroscopia para analizar los elementos de la mezcla a nivel molecular [19]. A partir de los resultados de la investigación realizada se afirma que al utilizar tecnologías como la modificación de asfalto se mejora el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medioambiente [19], es decir, los efectos del envejecimiento como: la reducción de ahuellamiento y el incremento del agrietamiento entre otros [32].

Botaro y otros [29] estudian las características de una mezcla asfáltica modificada con poliestireno reciclado (PS), polvo de neumáticos (PPN) y lignina (LIG), sobre la que realizan ensayos como penetración

y punto de ablandamiento (anillo y bola) para determinar la eficacia de la mezcla de asfalto. Se usa un porcentaje de 1% a 6% de agentes modificadores. Los resultados en estos ensayos indican que a mayor % de agente modificar menor penetración y mayor punto de ablandamiento. El propósito principal de esta investigación es reforzar la matriz de la mezcla base y obtener como resultado un aumento en su resistencia [30], para esto se debe tener en cuenta las características, concentración del aditivo y naturaleza de la matriz de asfalto [7].

Algunos polímeros contiene diferentes porcentajes de fibras vegetales, el uso de estas fibras reducen el impacto termoplástico y mejora la resistencia mecánica de los asfaltos igualmente reducen el peso de los materiales compuestos y posibilitan la opción de obtener materia prima de recursos renovables. Es por esto que la lignina es vista actualmente como uno de los polímeros más aceptados para modificar asfalto, por su efecto estabilizador que presentan las fibras, mayor rigidez en ellas y una interacción aceptable en cuanto a fibra-matriz [30]. “En el mundo se generan entre 40 y 50 millones de toneladas de lignina por año” [33], siendo un biopolímero de fácil acceso por su abundancia natural y gran producción. Hoy en día en el ámbito mundial, su uso como materia prima es importante en industrias papeleras, de alimentos, fabricación de tableros aglomerados y materiales rígidos, combustibles y como emulsionantes en mezclas de betunes y asfaltos.

3. METODOLOGÍA

En relación con lo planteado hasta este punto, la problemática de la investigación está relacionada con los efectos que ocasionan el envejecimiento en el asfalto y la búsqueda de un elemento que sea compatible con este para minimizar el daño ocasionado.

Esta investigación inicia con una amplia revisión bibliográfica que explica los efectos del envejecimiento sobre el asfalto, así mismo, con las diferentes investigaciones en el ámbito mundial sobre asfalto modificado con polímeros y materiales reciclables, y los resultados óptimos que se han obtenido en cada una de estas.

De esta manera el diseño metodológico involucra la caracterización del material empleado para la realización de los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y el ensayo de horno de película delgada (RTFO).

Seguido de esto, se llevará a cabo un análisis de los resultados obtenidos después del ensayo de envejecimiento, esto con el fin de determinar si la modificación de asfalto 80-100 con lignina minimiza los efectos de envejecimiento durante el proceso de construcción.

3.1. Descripción de los materiales

3.1.1. Lignina-álcali:

El agente modificador es resultante de un proceso industrial proveniente del bagazo de azúcar que se lleva a cabo en una empresa del sector papelerero. La lignina utilizada fue tamizada (malla 200) siendo un polvo fino fundamental para la modificación del cemento asfáltico. Sus propiedades son especificadas por SIGMA-ALDRICH laboratorios de químicos, Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades lignina-álcali

PROPIEDADES	
Tensión superficial	43 mN / m (1% acuoso)
Impurezas	5% de humedad
Pérdida	13.4 wt. % pérdida en calefacción @ 316°C
	3.3 wt. % pérdida en calefacción @ 149°C
	5.7 wt. % pérdida en calefacción @ 204°C
	8.5 wt. % pérdida en calefacción @ 260°C
PH	6,5 (25 ° C, 5%, solución acuosa)
Transición de temperatura	punto de sinterización 188 ° C
Solubilidad	NaOH soluble 0.05% (caliente 5% acuoso)
	MEK: parcialmente soluble
	benceno: insoluble
	dioxano: soluble
	etilenglicol: soluble
	hexano: insoluble
	metanol: parcialmente soluble
Densidad	1,3 g / ml a 25 ° C
Densidad aparente	23 libras / pies cúbicos (suelto)
	32 libras / pies cúbicos (embalado)

Fuente: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/370959?lang=en®ion=CO>
Imagen derecha. Molécula de lignina (Pan, 2013)

3.1.2. Cemento asfáltico

El asfalto utilizado corresponde a penetración de 80/100 provenientes de la planta de producción de la empresa Manufacturas y Procesos Industriales Ltda., en Barrancabermeja (Colombia). Estos asfaltos

se caracterizaron en su estado original con los ensayos normalizados (ver Tabla 2) presentando las siguientes propiedades.

Tabla 2: Propiedades asfalto

PROPIEDAD	NORMA DE REFERENCIA INV	ESPECIFICACION		REPORTE DE CONTROL
		MIN	MAX	
Penetración @ 25°C, 100 g, 5s (mm/10)	E-706	80	100	90
Punto de ablandamiento	E-712	-	-	47
Índice de penetración	E-724	-1	1	-0.50
Pérdida por calentamiento película delgada en mov @ 163 °C, 85 min (%)	E-720		1	0,48
Peso específico	E-707			1,004
Incremento en el punto de ablandamiento después de pérdida por calentamiento en película delgada, °C	E-712		9	6,8

Fuente: Manufacturas y procesos industriales Ltda.

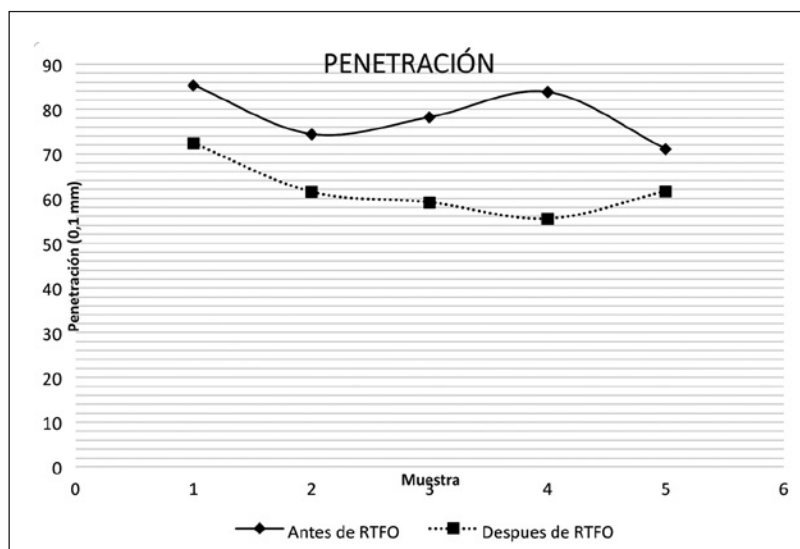
4. RESULTADOS

Se realiza la debida caracterización física del asfalto convencional y modificado con 5%,10%,15% y 20% de lignina (ensayos de penetración y punto de ablandamiento), luego cada muestra es sometida a envejecimiento mediante el ensayo de RTFO y, posteriormente, se vuelve a realizar caracterización física del asfalto envejecido. Se obtiene que el material convencional modificado con lignina presenta rigidización del asfalto disminuyendo un 12,8% con una adición del 5% lignina, presente a este se identifica un aumento del 11,22% al aumentar el contenido de lignina hasta un 15%, continuo desciende un 16,6% con respecto al asfalto de 15%. Indicando que el material tiene un mejor comportamiento al adicionar 20% lignina reduciendo su resistencia a la penetración en un 16,67%.

Después de tener resultados de un asfalto convencional y modificado con lignina, se presenta como afecta el estado de oxidación al asfalto en su estado original y modificado con lignina a partir del ensayo RTFO. Como se observa el cemento asfáltico 80/100 modificado con lignina en porcentajes de 5% al 15% p/p indica una mayor resistencia a la penetración, disminuyendo un 23,2%. Al adicionar 20% de lignina se presenta un aumento con respecto al 15% del 10%. Como se observa en la Gráfica 1.

Se conoce que el ensayo de envejecimiento a corto plazo es la representación de la oxidación del asfalto en proceso de construcción, sin tener en cuenta el estado de envejecimiento durante su etapa de

servicio (PAV). Por lo tanto, se observa que la adición de lignina rigidiza el material en estado original en un 17,8% en promedio, sin sobrepasar los límites que provoquen fisuramiento, ondulaciones, abultamientos, entre otras patologías.



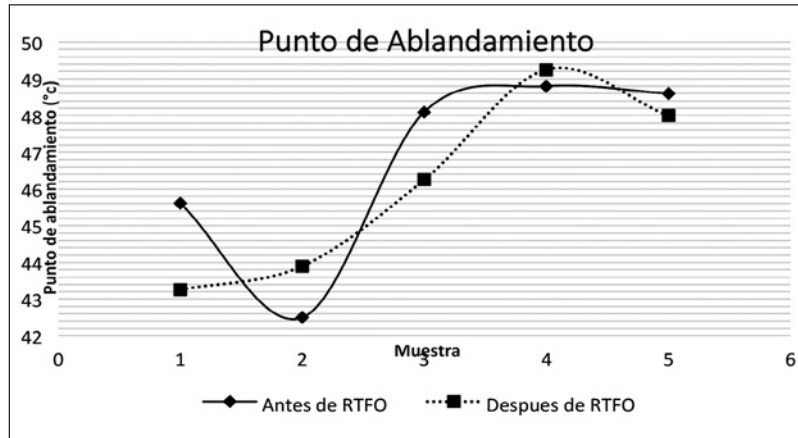
Grafica 1. Resultados de ensayo de penetración antes y después de RTFO

Fuente: Elaborado por los autores

En la Gráfica 2 se presenta el ensayo de punto de ablandamiento antes y después del RTFO, mostrando su comportamiento cuando está en estado original, y cuando es modificado con lignina al 5p/p, 10p/p, 15 p/p y 20 p/p.

Se evidencia que el asfalto en estado original, al presentar oxidación por el ensayo de RTFO, disminuye el punto de ablandamiento en un 5,15% con respecto al asfalto que no presenta oxidación, sin embargo, con el 5p/p de modificador se obtiene un aumento del 3.29 p/p en relación al mismo asfalto modificado antes del RTFO. Para la modificación del 10 p/p el punto de ablandamiento disminuye 3.85 p/p con respecto al asfalto antes del ensayo de RTFO. Para el modificador del 15% el punto de ablandamiento después del ensayo de RTFO aumenta 1%; con el 20% de modificador el punto vuelve a disminuir frente al asfalto sin oxidar.

El punto de ablandamiento más alto del asfalto después del ensayo de RTFO es el del modificador del 15%, el cual al compararlo con el asfalto original sin oxidación incrementa en un 3.65 °C, y con respecto al asfalto convencional con oxidación su aumento es de 3°C. De acuerdo a esto, la modificación con lignina no sobrepasa los límites máximos de incremento por lo que posibilita su uso haciéndolo ideal para climas cálidos.



Gráfica 2. Resultados de ensayo de punto de ablandamiento antes y después de RTFO

Fuente: Elaborado por los autores

En función del Índice de penetración (INV E-724-07) se clasifican los cementos asfálticos en tres grupos:

1. $I_p > +1$: cementos asfálticos con poco susceptibilidad a la T° , asfaltos oxidados.
2. $I_p < -1$: cementos asfálticos con mayor susceptibilidad a la T° , comportamiento viscoso.
3. I_p entre $+1$ y -1 : cementos asfálticos aptos para la construcción de carreteras.

Antes de RTFO			
%lignina	p. ablandamiento	Penetración	Índice penetración
original	45,6	85,33	-1,08
5%	42,5	74,4	-2,41
10%	48,1	78,2	-0,59
15%	48,8	83,8	-0,20
20%	48,6	71,1	-0,71

Gráfica 3. Resultados de Índice de Penetración antes de RTFO

Fuente: Elaborado por los autores

Después de RTFO			
%lignina	p. ablandamiento	Penetración	Índice de penetración
original	43,25	72,33	-2,24
5%	43,9	61,5	-2,41
10%	46,25	59,17	-1,82
15%	49,25	55,5	-1,16
20%	48	61,67	-1,24

Gráfica 4. Resultados de Índice de Penetración después de RTFO

Fuente: Elaborado por los autores

Para determinar el porcentaje óptimo no solo se tiene en cuenta el ensayo de penetración o el ensayo de punto de ablandamiento por separado, se manejan las dos variables a través del Índice de penetración, el cual como se especifica anteriormente se determina bajo ciertos valores: un término medio, un término no tan bueno y un término favorable. En este caso el 15% antes del RTFO presenta el mejor Índice de penetración con valores que oscilan entre +1 y -1, y menores a uno después del ensayo de RTFO.

5. CONCLUSIONES

- El excesivo porcentaje de lignina en la mezcla puede llegar a convertirse en un problema. Se encontró que porcentajes alrededor del 20% de lignina, rigidiza el material, lo cual perjudica las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, posiblemente facilitando la fisuración térmica particularmente en climas fríos.
- El porcentaje óptimo de sustitución es de 15% de lignina, ya que en comparación con el asfalto sin modificar y con las demás adiciones se obtuvo un asfalto con mejor comportamiento reológico, lo cual se reflejó en el aumento de su consistencia en un 33.77% respecto al asfalto convencional y en su poca susceptibilidad térmica con un punto de ablandamiento de 48,8 °C. De igual forma, con este porcentaje de modificación se puede utilizar una temperatura de 135 °C para los procesos de compactación y mezclado.
- Como este trabajo se enfocó en determinar el porcentaje óptimo de lignina que mejorará el comportamiento reológico del asfalto, es necesario continuar la investigación con la ejecución de ensayos mecánicos sobre mezclas modificadas con 15% de lignina, para determinar el desempeño de dicha mezcla en una estructura multicapa.
- Se recomienda realizar el ensayo PAV (Pressure Aging Vessel) con muestra del asfalto 80-100 modificado al 15% de lignina, para registrar su comportamiento al envejecimiento acelerado representando un estado de servicio por varios años.
- El uso de lignina en la modificación de asfaltos provoca un beneficio no solo a las características técnicas del material sino a todas las industrias que por sus actividades económicas generan lignina como desperdicio, ya que sugiere un nuevo uso y permite reutilizar este desecho.

REFERENCIAS

- [1] O. J. Reyes y S. Millán, *Influencia de la temperatura, la granulometría y el agua en la cohesión de mezclas asfálticas*, Rev. Ing. Univ., Vol.13, No.2, pp. 309-324, Julio 2009.
- [2] R. Herrera-Nájera, G. García, H. Xicoténcatl, & L. Medina, Efecto de la composición del bloque elastomérico de sbs y sebes en las propiedades reológicas de asfaltos modificados, *Revista Mexicana de Ingeniería Química.*, vol. 11, n° 1, pp. 133-144, 2011.
- [3] X. Vargas y F.A. Reyes, "El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos", *Ingeniería e investigación*, vol. 30, n° 3, pp. 27-44, 2010.
- [4] W. D. Fernández, H. Rondón y F. Reyes, "A review of asphalt and asphalt mixture aging", *Rev. Ingeniería e Investigación*, Vol. 1, No. 33, pp.5-12, abril 2013.
- [5] L.E., Chávez, C. Hernández y A. Manzano, "Modelación del envejecimiento de los pavimentos asfálticos con la metodología de la superficie de respuesta", *Rev. Ing. Inv. Tecnol.*, Vol. 12, No. 4, pp. 373-382, 2011.
- [6] C. Bell, *Aging of Asphalt-Aggregate Systems*, 1a edición, Transportation Research Bureau Press. EUA, 1989.
- [7] J.P. Aguilar et al. (2013) Uso de materiales de desecho como modificantes de asfalto en costa rica [En línea]. Disponible: http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de-informacion-digital-on-line/07-02-13/2013/USO_DE_MATERIALES_DE_DESECHO_COMO_MODIFICANTES_DE_ASFALTO_EN_COSTA_RICA.pdf.
- [8] S. Castillo, y B. Caicedo B., *Caracterización de asfaltos con tecnología 'superpave' y análisis de ahuellamiento*, Tesis Maest. Ing. Civil, Dept. Ing. Civil, Univ. Los Andes, Bogotá, 2005.
- [9] F. Araya, A. Gonzales, R. Delgadillo, C. Wahr, G. García y R. Zuñiga, "Caracterización reológica avanzada de betunes tradicionales y modificados utilizados actualmente en Chile", *Revista ingeniería de construcción*, vol. 27, n° 3, 2012.
- [10] G. Orozco y J. Murillo, *Evaluación del comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con ceniza proveniente de locaciones petroleras*, Tesis Ing. Civil Dpto. Ing. Civil, Univ. Pont. Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, 2011.
- [11] Y. Yung, *Caracterización, diseño y verificación de una mezcla drenante en caliente modificada con grano de llanta y fibra kaltex*, Tesis Maest. Ing. Infraest. y Sist. Transporte, Dept. Ing. Civil, Univ. Nacional, Medellín, Colombia, 2013.
- [12] H., Rondón, F. Reyes, y B. Ojeda, "Comportamiento de una mezcla densa de asfalto en caliente modificada con desecho de poli cloruro de vinilo (PVC)", *ciencia e ingeniería Neogranadina*, vol. 18, n° 2, pp. 29-43, 2008.
- [13] H. A. Vacca, M.P. Leon, y D. M. Ruiz, *Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 en el horno de película delgada sobre el comportamiento estático y dinámico de mezclas asfálticas tipo MDC-2*, Ing. Univ., Vol.16, No.2, pp. 379 - 396, Jul-Dic, 2012.
- [14] G. Botasso, O. Rebollo, A. Cuattrocchio, y C. Soengas, *Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura*, Infraestructura Vial, Vol. 1, No. 20, pp. 4 - 12, 2008.

- [15] L.A. Paredes, O.J. Reyes y J.M. Camacho, "Comportamiento de mezclas asfálticas densas a partir del ensayo de viga semicircular simplemente apoyada", *Revista Tecnura*, vol. 18, n° 41, 2013, pp. 103-119.
- [16] J.P. Puello, N. Afanasjeva y M.A. Cifuentes, "Correlaciones estadísticas para la estimación de propiedades reológicas de asfaltos en estado original y envejecido", *Rev. Ion*, vol. 26, 2013, pp. 73-84.
- [17] L.E. Chávez y C. Hernández, "Estado del Arte y Perspectiva del Envejecimiento de los Pavimentos Asfálticos", *Acta Universitaria*, Vol. 19, No. 1, pp. 30-39, 2009.
- [18] J. Cárdenas y E. Fonseca, "Modelación del comportamiento reológico de asfalto convencional y modificado con polímero reciclado estudiada desde la relación viscosidad-temperatura", *Rev. EIA*, Vol. 1, No. 12, pp. 125-137, Diciembre 2009.
- [19] T. Pan, "Coniferyl-alcohol lignin as a bio-antioxidant for petroleum asphalt: A quantum chemistry based atomistic study", *Rev. Fuel*, Vol. 144, pp. 454-466, 2013.
- [20] J. Puiggené, J. Torres-Llosa y DR. Takamura. (2013). *Efectos del empleo de lates de SBR en la modificación de cemento asfáltico y de emulsiones bituminosa de uso vial*. [En línea] Disponible en: <http://www.e-asphalt.com/emulsiones/latex.pdf>
- [21] C. Salcedo, Experiencia de modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS en obra, Tesis Mag. Ing. Civil, Dept. Ing. Civil, Univ. Piura, Lima, Perú, 2008.
- [22] A.S. Figueroa, F.A. Reyes, D. Hernández, N. Jiménez Bohórquez, "Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente", *Rev. Ing. e Inv.*, Vol. 27, n° 3, pp. 5-15, 2007.
- [23] M.A. Pérez y J.A. López, "Estado del conocimiento de asfaltos modificados en Colombia y su influencia en la pavimentación. *Revista virtual de los programas de ingeniería*, vol. 4, n° 6, pp. 89-105, 2012.
- [24] H.A. Rondón, F.A. Reyes, A.S. Figueroa, E. Rodríguez, C.M. Real, y T.A. Montealegre, "Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia", *Infraestructura Vial*, Vol. 18, No. 19, pp. 10-20, 2008.
- [25] P. Salinas, "Aplicación de micro-pavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana-Aguas Verdes", *Tesis Ing. Civil, Dpto. Ing. Civil*, Univ. Piura, Piura, Perú, 2009.
- [26] P. Aragão, C. Alves da Frota, R.A. Bertoldo, y T.M. Freitas da Cunha, "Estudo de misturas areia-asfalto com areia de resíduo de construção e demolição, fibra do açaí e polímeros para a cidade de Manaus", *Rev. Ciência & Engenharia*, Vol. 20, No. 2, pp. 11 - 19, 2011.
- [27] F.A. Reyes, C. Guáqueta, L.M. Porras y H.A. Rondón, "Comportamiento de un cemento asfáltico-modificado con un desecho de PVC", *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 12, n° 2, pp. 75-84, 2013.
- [28] V.R. Botaro, S. Rodríguez, F. Rodríguez, y A.E. Cerantola, "Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado con poliestireno reciclado, residuos de pneu e lignina organossolve", *Rev. Esc. Minas*, Vol.59, No.1, pp. 117-122, 2006.

- [29] R. Gadioli, J.A. Morais, W.R. Waldman, y M-A. De Paoli, "The role of lignin in polypropylene composites with semi-bleached cellulose fibers: Mechanical properties and its activity as antioxidant", *Rev. Polymer Degradation and Stability*, Vol. 108, pp. 23–34, Oct. 2014.
- [30] M. Chávez, y M. Domine, "Lignina, estructura y aplicaciones: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial", *Avances en ciencias e Ingeniería*, vol. 4, No. 4, pp. 15-16, 2013.
- [31] F. Elizondro, J. Salazar y E. Villegas, "Caracterización de Asfaltos Modificados con diferentes aditivos". *Rev. Ingeniería y construcción*, Vol. 20, No. 1-2, pp. 81-92, 2010.
- [32] J. Bedia, J. M. Rosas, J. Márquez, J. Rodríguez-Mirasol y T. Cordero, "Preparation and characterization of carbon based acid catalysts for the dehydration of 2-propanol", *Rev. Carbon*, Vol. 47, No. 1, pp. 286-294, ene. 2009.