



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO DEL IMPACTO DE PROPIEDADES
MECÁNICAS, ESTRUCTURALES Y MORFOLÓGICAS PRODUCIDAS
POR EL USO DE BIOMODIFICADOR AGROINDUSTRIAL (CÁSCARA
DE COCO) COMO REFUERZO DE ASFALTO**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

DANIELA ANDREA MEJÍA NIEVES

ASESOR DE TESIS:

DR. MA. GUADALUPE GARNICA ROMO

COASESOR:

DR. MARIO SALAZAR AMAYA

MORELIA, MICHOACÁN

AGOSTO 2022



**Comportamiento Estadístico del Impacto de Propiedades Mecánicas,
Estructurales y Morfológicas Producidas por el Uso de Biomodificador Agroindustrial
(Cáscara De Coco) como Refuerzo de Asfalto**

Daniela Andrea Mejía Nieves

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Resumen

Los pavimentos flexibles poseen propiedades que a diferencia de los pavimentos rígidos los hacen irremplazables aun para una red de caminos de un país.

Se sabe que el asfalto es un recurso no renovable es por ello por lo que a lo largo de los años la ingeniería busca el modo de disminuir el consumo de este material. Una de las maneras que se ha logrado este propósito es el adicionar polímeros a su estructura, trayendo también un aumento en sus propiedades mecánicas. Sin embargo, los polímeros aprobados por las normas son polímeros sintéticos por lo que en esta investigación se busca los resultados de la sustitución de un polímero sintético por un polímero de origen natural.

En esta investigación se propone como polímero natural la cascara de coco molida, dado que la cascara de coco posee propiedades semejantes a los polímeros sintéticos que pueden ayudar a la modificación de los asfaltos. Se determinaron las propiedades estructurales y morfológicas de la cascara de coco molida con estudios de Espectroscopia de Infrarrojo, Difracción de Rayos-X y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM por sus siglas en inglés); así como, se determinó la cantidad de lignina en este material. Mientras que al asfalto sin modificar se le aplicaron las mismas pruebas morfológicas y estructurales, además de, pruebas mecánicas como Penetración, Punto de Reblandecimiento, Ductilidad y Recuperación Elástica por Torsión.

Se analizaron mezclas de asfalto con 5, 20, 35, 50, 65, y 80 gramos de cascara de coco donde a las cuales se le realizaron estudios mecánicos, estructurales y morfológicos y así analizar su comportamiento.

Teniendo como resultado que en comparativa con el asfalto convencional todas las mezclas presentaron una mejoría, sin embargo, las que se pueden apreciar que presentan un resultado significativo comparado a las normas son las modificadas con una cantidad superior a los 35 gramos de este biomodificador.

Palabras Clave: *Cascara de Coco, Asfalto Modificado, Modificador natural, Propiedades estructurales, propiedades morfológicas, propiedades mecánicas, Mejoramiento de propiedades.*

Abstract

Flexible pavements have properties that, unlike rigid pavements, make them irreplaceable even for a network of roads in a country.

It is known that asphalt is a non-renewable resource, which is why over the years engineering has been looking for ways to reduce the consumption of this material. One of the ways that this purpose has been achieved is to add polymers to its structure, also bringing an increase in its mechanical properties. However, the polymers approved by the standards are synthetic polymers, so this research seeks the results of replacing a synthetic polymer with a polymer of natural origin.

In this research, ground coconut shell is proposed as a natural polymer, since coconut shell has properties similar to synthetic polymers that can help modify asphalts. The structural and morphological properties of the ground coconut shell were determined with studies of Infrared Spectroscopy, X-Ray Diffraction and Scanning Electron Microscopy (SEM, for its acronym in English); as well as, the amount of lignin in this material was determined. While the unmodified asphalt was applied the same morphological and structural tests, in addition to mechanical tests such as Penetration, Softening Point, Ductility and Elastic Recovery by Torsion.

Asphalt mixtures were analyzed with 5, 20, 35, 50, 65, and 80 grams of coconut shell where mechanical, structural and morphological studies were carried out and thus analyze their behavior.

Having as a result that in comparison with conventional asphalt all mixtures presented an improvement, however, those that can be seen that present a significant result compared to the standards are those modified with an amount greater than 35 grams of this biomoder.

Índice

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
OBJETIVO	4
INTRODUCCIÓN	5
ANTECEDENTES	7
MATERIALES Y MÉTODOS	13
MATERIALES	13
<i>Asfalto</i>	13
<i>Coco</i>	13
MÉTODOS.....	14
<i>D 113-99: Método de prueba estándar para la ductilidad de materiales bituminosos (Standard test method for ductility of bituminous materials).</i>	18
<i>D 36-95: Método de prueba estándar para el punto de reblandecimiento del betún [aparato de anillo y bola] (Standard test method for softening point of bitumen [ring-and-ball apparatus]).</i>	19
<i>D 5-97: Método de prueba estándar para la penetración de materiales bituminosos (Standard test method for penetration of bituminous materials).</i>	20
<i>Recuperación elástica por torsión en cemento asfáltico modificado</i>	22
<i>Espectroscopia de infrarrojo (FTIR)</i>	23
<i>Difracción de rayos x (DRX)</i>	24
<i>Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)</i>	25
DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS, ESTRUCTURALES, MORFOLÓGICAS Y SU DISCUSIÓN. 27	
DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE LIGNINA POR SOXHLET.	27
PRUEBA ESTÁNDAR DE DUCTILIDAD PARA MATERIALES BITUMINOSOS.	28
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO DEL BETÚN.....	29
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS	29
RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO.	30
ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO (FTIR)	31
DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	34
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).	34
DISCUSIÓN	37
COMPORTAMIENTO ESTADÍSTICO	41

PRUEBA DE PENETRACIÓN.....	42
PRUEBA DE DUCTILIDAD.....	43
PRUEBA DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO.....	44
PRUEBA DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN.....	45
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

Objetivo

Determinar el comportamiento que tiene el asfalto convencional con la incorporación de cascara de coco como biomodificador, en su estructura, morfología y propiedades mecánicas del asfalto.

Objetivos Particulares

1. Determinar las condiciones de incorporar cascara de coco en el asfalto
2. Caracterizar estructural y morfología de asfalto y asfalto modificado utilizando difracción de rayos X, espectroscopia de infrarrojo, microscopia electrónica de barrido.
3. Determinar las propiedades mecánicas del asfalto y asfalto modificado

Introducción

En los Estados Unidos Mexicanos la infraestructura vial es el segundo medio más importante para la actividad económica, esto es posible dado que el 30% de la inversión pública y privada es dirigida al sector del transporte. Actualmente México cuenta con programas de construcción, mantenimiento y modernización de caminos, ya que, es de suma importancia que se mantengan las vialidades en óptimas condiciones, trayendo con ello el beneficio de la agilización del transporte de mercancías y el traslado de cada uno de sus habitantes, redundando en el sector económico general.

En México el 90% de las carreteras están hechas con concreto asfáltico, sin embargo, en los últimos años éstas no están cumpliendo con la vida útil proyectada, por lo que al paso del tiempo la ingeniería ha tratado de transformar la calidad y con ello la vida útil de los caminos buscando su optimización a través de la modificación del asfalto convencional.

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces más, dependiendo del polímero utilizado, a pesar de que el asfalto convencional cumple con propiedades satisfactorias para el clima y el tránsito, existe un fenómeno que aún no se ha podido controlar del todo con el asfalto convencional, hablamos de la deformación permanente, el cual se hace presente en condiciones de altas temperaturas y alta densidad de tránsito; los asfaltos modificados buscan reducir y si es posible eliminar dicho fenómeno.

Alrededor del mundo se han realizado investigaciones donde demuestran que algunos residuos agrícolas conceden propiedades similares a la de los polímeros sintéticos como lo son la cáscara de coco, el gabazo del elote, la caña de azúcar, entre otros. Del mismo modo existen investigaciones sobre la modificación del asfalto con fibras obtenidas de los residuos agrícolas anteriormente mencionados.

El coco se genera en una superficie aproximada de 124.3 mil hectáreas en nueve entidades del territorio nacional, donde los principales estados productores son Guerrero, Colima, Tabasco, Oaxaca y Michoacán; lo que posiciona a México en el octavo lugar mundial y segundo de América de la producción del cocotero. A principios del 2020 la producción del coco en Michoacán creció, produciendo más de 45 mil toneladas de este fruto ubicándolo como tercer lugar a nivel nacional.

México cuenta con importantes industrias dedicadas a los derivados del coco como son: aceite, agua, crema, azúcar, jabón, entre otros, sin embargo, ninguno es elaborado con la cáscara de coco, por lo que una vez que se obtiene el agua y la pulpa del coco su cáscara es desechada.

El objetivo principal del presente trabajo es ver la influencia de la incorporación de fibras de cáscara de coco usando como patrón de referencia un asfalto convencional y realizar un análisis estadístico; con lo que se atacaran dos factores importantes que son: el primero, el utilizar un desecho orgánico que se tiene en abundancia y es de lenta degradación, lo cual ocasiona que sea transportado a los basureros comunes donde es mezclado con los demás desechos y posteriormente incinerados produciendo gases efecto invernadero como el metano, óxido nitroso, dióxido de carbono; y segundo, el tener caminos en buenas condiciones lo que ayudaría a evitar accidentes, en el traslado de mercancías y de los habitantes.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó biomodificador agroindustrial (cáscara de coco) el cual se adiciono al asfalto en diferentes proporciones (0.6, 2.5, 4.4, 6.25, 8.13 y 10%) para obtener mezclas correspondientes a cada uno de estos valores a las que se le realizaron las pruebas mecánicas de: Ductilidad, Penetración, Punto de Reblandecimiento y Recuperación Elástica por Torsión respecto a las normas establecidas en la American Society for Testing and Materials (ASTM). Del mismo modo se caracterizó estructural y morfológicamente con: Difracción de rayos X (DRX), Espectroscopia de infrarrojo (IR) y Microscopia electrónica de barrido (SEM).

En el presente documento se muestran los resultados obtenidos, su discusión, el análisis estadístico de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas y conclusiones de la investigación.

Antecedentes

La historia del uso de asfalto se remonta a hace miles de años. Los primeros usos del “asfalto”, se localizan en la impermeabilización de embalses y tanques de agua [1].

En Iraq existen indicios de carreteras de 4000 años a. C. En Babilonia (600 a. C.), se localizan vías pavimentadas a base de bloques de terracota unidos por asfalto natural. Otros antecedentes muy destacados fue la construcción de vías de acceso para la ejecución de las pirámides en Egipto [1].

A principios del siglo XIX el uso de asfalto para construir carreteras creció de manera exponencial. Thomas Telford, construyó más de 900 millas de carreteras en Escocia, perfeccionando el método de construir carreteras con rocas partidas. De manera similar, su contemporáneo John Loudon McAdam, usó rocas partidas unidas para formar una superficie dura para construir Scottish turnpike. Más tarde, para reducir el polvo y el mantenimiento, los constructores emplearon “tar” caliente como elemento para unir y pegar las piedras, produciendo de esta manera el llamado pavimento “tarmacadam” [2].

En 1870 el químico Edmund J. DeSmedt en Newark, New Jersey, EU. produjo el verdadero primer pavimento asfáltico; también pavimento la Avenida Pennsylvania en Washington, D. C., para lo cual empleo 54,000 yardas cúbicas de capas asfálticas provenientes de la Isla Trinidad. Dicho pavimento se mantuvo en excelentes condiciones durante 11 años, a pesar del tráfico en la Casa Blanca [2].

En 1907 la producción de asfalto por refinamiento del petróleo sobrepasó el uso de asfalto natural. Como consecuencia del crecimiento en la población del automóvil, la demanda de más y mejores carreteras llevaron al surgimiento de innovaciones tanto en la producción de asfalto, como también en la mecanización del proceso de aplicación del asfalto [2].

Durante la segunda guerra mundial (1942), la tecnología del asfalto fue ampliamente mejorada, empujada por la necesidad de la fuerza aérea de contar con superficies que pudieran soportar cargas pesadas [2].

En cuanto a México, se han encontrado restos en excavaciones realizadas en el estado de Veracruz estas demostraron que 200 años a. C., los olmecas ya ocupaban el petróleo en sus canoas, en rituales y ceremonias. Los afloramientos naturales de petróleo fueron nombrados chapopoteras,

pero este hidrocarburo no poseía las mismas propiedades que el asfalto. Fue hasta más tarde, después de someter el material a un proceso de destilación, que dicho recurso obtuvo más características [3].

“La red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento porque es el único medio que posibilita el transporte de las personas y las cargas” Mgtr. Julián Rivera (citado [4]).

Los caminos han traído múltiples beneficios desde el principio de los tiempos, una buena infraestructura carretera favorece la entrega oportuna de bienes y servicios, reduce costos, impulsa el desarrollo económico y genera empleos, potencia el desarrollo socioeconómico y la integración regional, eleva la competitividad, el desarrollo económico y la calidad de vida de las poblaciones [5].

“En la red carretera de México, el concreto asfáltico tiene un 90% de aplicación en carreteras federales, estatales y municipales” Dr. Rossemberg Reyes (citado en [6]).

La red de carreteras pavimentadas para el 2019 fue de 172,809 km [7]. Para principios de la actual administración se recibió una red carretera federal libre de peaje de 40 mil 590 km, con un 35% de ella en mal estado [8].

Los asfaltos convencionales que se conocen en la industria de los caminos poseen propiedades que cumplen con los requisitos necesarios para la construcción de los caminos, sin embargo, el implementar los asfaltos modificados buscan el traer ventajas al sector de la infraestructura algunos beneficios van dirigidos al aumento del tiempo de vida útil y la disminución de los espesores de las superficies de rodamiento [9].

La primera idea de modificar asfalto con polímero se remonta a 1960 en Italia, Francia, Alemania, Estados Unidos, entre otros. En Italia se construyeron más de 1,000 km de carreteras con estos asfaltos en los años 60, poniendo capas de rodamiento con asfaltos modificados con polímeros. Posteriormente se realizaron investigaciones para determinar la incidencia sobre el producto final de diferentes aspectos como el tipo de polímero, dosificación y métodos de producción [9].

Todos los polímeros que son utilizados en la modificación de asfalto se tratan de polímeros sintéticos. Se estima que el precio de una tonelada de mezcla “especial” es de 1.5 a 2 veces mayor

que una tonelada de asfalto convencional, sin bien, el solo reducir el espesor de la capa de asfalto disminuye su costo [9].

Sin embargo, como hemos podemos observar al pasar los años es demasiado el daño que generamos al planeta, por lo que años atrás se ha ido buscando la alternativa de la sustitución de dichos polímeros sintéticos por polímeros biodegradables.

Los polímeros sintéticos son lo que comúnmente conocemos como plásticos, Ávila y col. (2012) en su investigación *Importancia que presentan los polímeros naturales frente a los sintéticos*, expone las diferencias que existen entre los polímeros sintéticos y los polímeros biodegradables, siendo unas de las principales causas por las cuales no desaparecen estos polímeros sintéticos son: su bajo costo de producción y su fácil procesado, estos polímeros al tener un peso molecular alto origina cadenas largas impidiendo que microorganismos los absorban y puedan digerirlo junto con ello un peso molecular alto favorece propiedades como la resistencia, durabilidad y bajo punto de fusión, sin embargo, estos polímeros sintéticos causan muchos daños al medio ambiente y al ser humano, ya que, estos polímeros duran hasta 500 años en degradarse modificando las condiciones del suelo provocando cambios desde su erosión hasta la extinción de especies [10].

Aradilla y col. en su artículo *Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente*, exteriorizan que alrededor del 5% del petróleo extraído en el mundo es destinado a la industria del plástico, y que si se sigue explotando este recurso no renovable se proyecta que en menos de 50 años se agotara dicho recurso [11].

Del mismo modo habla de las ventajas de los polímeros biodegradables que van de su producción sostenible o que quizás no es necesario el proceso para obtenerlos ya que los podemos encontrar en la naturaleza, se degradan fácilmente por la acción microorganismo y su biodegradación produce O_2 y H_2O [11].

Por otro lado, tenemos la posición actual en la que se encuentra México (hablando de la producción del coco) la cual demanda la producción de este fruto, sin embargo, la industria mexicana dedicada a la elaboración de productos una vez que obtienen la pulpa de él desechan el mesocarpio. “El mesocarpio es una capa gruesa de 4-5 cm de grosor y representa un 35% del total del fruto” [12].

Como es un país rico en el producto es necesario aprovechar todos y cada uno de las partes de este fruto, Guerrero y col., realizaron encuestas a 300 empresas alrededor del territorio nacional con diferentes giros en las que pudieran ser utilizadas las fibras de coco y el jabón de coco como son las industrias textiles, industrias de aislantes y cementos, e industrias para insumos del campo; dichas encuestas iban enfocadas a la aplicación que se le daba a las fibras en su momento y el tamaño del mercado para el consumo de dichas fibras a futuro. Dando como resultado que el 51% de las empresas textiles manejan productos en los cuales utilizan fibras naturales; el 20% de las empresas de giro de aislantes y cementos usan fibras naturales para la elaboración de sus productos; mientras que el 100% de las industria de insumos para el campo encuestadas utilizan las fibras naturales distribuyéndola en 50% fertilizantes naturales, 12% sustratos, 38% otros productos; sin embargo, el porcentaje de fibra de coco que utilizan estas empresas de giro de insumos del campo es el 34%. Otra información importante que nos muestran los autores es: que el del 43% y 45% de las empresas que si utilizan las fibras naturales se abastecen de ellas semanalmente [13].

Es posible que en la actualidad se haya incrementado el uso de este material, sin embargo, no podemos imaginar la cantidad de coco que no se utiliza, con lo que se puede pensar en una alternativa que permita aprovechar los desechos orgánicos que cumplan los requisitos que tiene un polímero sintético y poderlo agregar a un asfalto convencional y este nos proporcione buenos resultados, así como se ha ido observado en otros países productores de coco en mundo.

Lay Ting y col., en su documento donde hacen el rescate de varias investigaciones que han tenido resultado positivos alrededor del mundo, donde, el coco es aplicado directamente al aglutinante, o a las mezclas, quedando demostrado que si han aumentado diversas propiedades tanto de los asfaltos como de las mezclas [14].

Se presentan algunas investigaciones referentes al mezclado de este desecho orgánico con el asfalto convencional que resultan de interés para el presente documento.

En Ceará, Brasil (2007), De Alencar y col., realizaron la investigación *Comportamiento reológico del aglutinante de asfalto modificado con copolímero de EVA y fibra de coco*, en el que realizaron dos mezclas; una a partir de su asfalto base con Etilvinilacetato (EVA) 4% en peso; y la otra con el asfalto base, EVA 4% y fibra de coco 1% en peso [15].

Obteniendo como resultado que las mezclas tuvieron un aumento favorable en sus propiedades mecánicas, sin embargo, fue más significativo el resultado de la mezcla que incluía EVA y fibra de coco, esta mezcla indujo un aglutinante más flexible, por lo tanto, más resistente a la carga de tráfico. Otro resultado que obtuvieron los autores fue que la viscosidad incremento, pero, no están por encima del límite de ASTM [15].

En Malasia, Shanmugam en su investigación *Modificación del aglutinante de asfalto mediante la incorporación de polvo de cáscara de coco*, realizo mezcla de polvo de coco con asfalto grado 60/70 y grado 80/100, a los cuales agrego 2, 4, 6 y 8% de polvo de coco. Para el polvo de coco. [16]

El polvo de coco funciona como antioxidante al reducir el endurecimiento por envejecimiento a corto y a largo plazo. Se observaron los cambios en términos de mejora hacia la resistencia al agrietamiento al surco de asfalto modificado. [16]

Mientras que, en Trinidad y Tobago, Ali y col., realizaron para el simposio la investigación titulada *Utilización de la fibra de coco como modificador de asfalto*, en donde utilizaron dos aglutinantes de asfalto de dos compañías diferentes Lake Asphalt Company of Trinidad and Tobago (TLA) y Petroleum Company of Trinidad and Tobago (TPB). Para la fibra que utilizaron los autores en dicho proyecto fueron de las cáscaras de las cuales fueron despojadas para después lavarlas y secarlas por un tiempo de 24 horas para eliminar la humedad posteriormente las fibras fueron cortadas en longitudes de 2.5 mm, 5 mm, 7.5 mm y 10 mm [17].

Para la mezcla se utilizaron las porciones de 6% y 8% en peso, para cada uno de los tamaños de fibra. Los mejor resultados obtenidos de la investigación fue para TLA el agregar el 6% en peso de fibra de coco con longitud de 2.5 mm, y para TPB el agregar el 8% en peso de fibra de 2.5 mm. Aumentando en ambos casos el módulo complejo y disminuyendo el ángulo de fase. Estas mejoras en las propiedades reológicas finalmente hacen que los materiales sean más resistentes a las cargas del tráfico [17].

En Colombia, Loaiza et al. realizaron *Evaluación de asfalto mezclado con polvo de corteza y fibras residuales de coco para aplicaciones estructurales*, realizaron con el asfalto convencional con un porcentaje en peso de este de 1, 2.5 y 5%. Las fibras no tuvieron ningún tratamiento previo

antes de ser mezcladas con el asfalto ya que se demuestra que las fibras están impregnadas de la matriz asfáltica [18].

Los resultados obtenidos arrojaron que la viscosidad y el punto de inflamación aumento a medida que se aumenta el polvo de coco mientras que la ductilidad tenía un comportamiento opuesto, y el punto de combustión presento un comportamiento complejo ya que al ser agregado el 1% de polvo de coco aumenta, al agregar 2.5% disminuye y al agregar el 5% vuelve a aumentar. Los autores mencionan que después del 5% de adición de fibra y polvo de coco las propiedades disminuirán en lugar de aumentar lo que podría deberse a que la fibra de coco no se quema en el proceso de mezcla y se altera de forma parcial y no homogénea. Del mismo modo, exponen que las propiedades del asfalto mezclado con polvo de fibras de coco dependerán de varios factores como la superficie de la fibra, el contenido de celulosa, el diámetro, la longitud, la alineación, la forma, la orientación de la fibra, el efecto de hinchamiento y la entidad de fibra son las principales consideraciones en las propiedades del material compuesto. Una de las principales preocupaciones es la unión de la fibra a la matriz. Ya que según su bibliografía de apoyo son tratadas química o físicamente con el fin de aumenta la rugosidad de la fibra, con ello aumenta la adhesión entre fibra y matriz, ya que la adhesión es a menudo deficiente [18].

Materiales y Métodos

Materiales

Asfalto

El cemento asfáltico empleado fue muestra de Asfalto EKBE PG 64-22 MA-33 proporcionado por la empresa Mega Asfaltos S.A. de C.V., ubicada en Salamanca, Guanajuato. Figura 1.



Figura 1. *Muestra de asfalto utilizada en investigación*

Coco

La cáscara de coco empleada fue adquirida en un local comercial ubicado en esquina Rey Tanganxoan con Virrey de Mendoza en Morelia Michoacán. Negocio que se dedica a la venta de coco como subproductos de él. El coco es proveniente de huertas de Lázaro Cárdenas, Michoacán; la cáscara del coco es desechada en cuanto se hace la venta del agua y la pulpa, al terminó del día se llevan sus desechos al basurero, figura 2.



Figura 2. *Cáscara de coco recolectada para investigación*

Métodos

El procedimiento que se siguió para la obtención del biomodificador fue el siguiente:

1.- Se retiró la cáscara verde exterior que tiene la cáscara de coco (exocarpio) para quedarnos solamente con las fibras de coco (mesocarpio), posteriormente se corta en trozos pequeños para proceder a retirar la humedad de manera más rápida como se muestra en la Figura 3, ya que, si no se retira la humedad se comienzan a generar bacterias que afectarían la estructura del mesocarpio. Se dejó aproximadamente 2 días expuesto al aire libre.



Figura 3. *Mesocarpio de coco*

2.- Una vez que parcialmente se retiró la humedad del mesocarpio al aire libre, se introdujo a un horno con una temperatura de 50 °C por un lapso de 24 horas para que este fuera secado por completo.



Figura 4. *Mesocarpio de coco después del proceso de secado*

3.- Completamente seca la cáscara de coco, esta fue molida por un molino eléctrico de maíz, propiedad del Laboratorio de Investigación de Alimentos (LIDA) de la Facultad de Químico-Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



Figura 5. *Molinillo electrónico de maíz, propiedad del LIDA*

4.- Una vez molido el biomodificador, se separó por el tamaño de su partícula, donde fueron utilizados los tamices del No. 40 (0.420 mm), No. 60 (0.250 mm), No. 100 (0.149 mm), No. 200 (0.074 mm). El cribado fue realizado con un agitador de tamices de la marca FIIC, S.A de C.V. propiedad del LIDA, por un lapso de 10 minutos. Posteriormente se colocaron en diferentes bolsas lo retenido por cada uno de los tamices.



Figura 6. *Agitador de tamices, propiedad de LIDA*

Para determinar cuál tamaño de partícula del biomodificador se utilizaría en la investigación se realizó un estudio de Espectroscopia de Infrarrojo (IR) para observar si existía alguna diferencia de grupos funcionales en la estructura, basado en los resultados obtenidos de estos estudios se optó por el material que fue retenido en el tamiz No. 60 para las mezclas con el asfalto base.

Para la composición química de la cascara se sabe que esta es rica en lignina y para la obtención de esta se realizó a través de un equipo Soxhlet . La ventaja de incorporar la lignina a la industria es su bajo costo y su uso posible como remplazo de materia primera desarrollada a partir

de combustibles fósiles u otro recurso petroquímico. Así, la lignina es un polímero con mucho potencial que busca ser explotado, por ello se realizó un análisis químico para determinar la cantidad de lignina y de cenizas en la cáscara de coco con el extractor de Soxhlet propiedad del LIDA de la Facultad de Químico-Farmacobiología.



Figura 7. *Extractor Soxhlet, propiedad del LIDA*

En el laboratorio de Materiales Asfálticos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se realizaron las mezclas del asfalto con cáscara de coco molida (retenido en tamiz No. 60), así como, las pruebas de Ductilidad, Penetración y Punto de Reblandecimiento a el Asfalto Convencional siguiendo las Normas de la ASTM.

Las mezclas del cemento asfáltico con la cáscara de coco molida se realizó bajo condiciones controladas de tiempo, temperatura y velocidad de 45 min, 140° C y 1700 rpm respectivamente.

Se utilizó un Taladro Mezclador de Columna modelo DC-DP13N al cual se le adaptó un barreno que permitiera realizar el mezclado uniforme del asfalto con la cáscara de coco.



Figura 8. Mezclas de asfalto con biomodificador

El proceso del mezclado del asfalto con el biomodificador agroindustrial fue el siguiente:

1. En siete moldes, apropiados para altas temperaturas. Se muestrearon diferentes cantidades de asfalto con la finalidad de tener en cada uno de ellos un peso de 800 gramos en total.
2. Las cantidades del material biomodificador utilizadas fueron de 0, 5, 20, 35, 50, 65 y 80 gramos, por lo que, estas cantidades fueron omitidas en el muestreo de asfalto quedando de 800, 795, 780, 775, 750, 735 y 780 gramos de asfalto respectivamente en los seis moldes restantes. Con lo anterior, se consiguió un peso de 800 gramos para cada molde.
3. Para el inicio del proceso de mezclado se montó una parrilla eléctrica en la base del taladro en la cual se colocaron los moldes que contenían el asfalto, la temperatura de la parrilla fue aumentando, pero sin rebasar los 140° C hasta que el asfalto alcanzara su fluidez necesaria.
4. Se inicio el primer lapso de 10 min, donde solo se encendió el taladro con el barreno para revolver el asfalto, en todo momento se debe cuidar que la temperatura no fuera mayor a los 140° C.
5. Al término del tiempo anterior, en los siguientes 5 minutos se incorporó el material biomodificador de manera uniforme, cuidando que este no llevara grumos.
6. Al término del paso anterior se apagó el motor del taladro dejando en reposo el material a la misma temperatura de 140° C, por un lapso de 5 minutos.

7. Concluido el paso anterior se volvió a encender el motor del taladro y se mantuvo encendido por 10 minutos, después se volvió a apagar por 5 minutos más el motor del taladro.
8. Se repitió el paso anterior y al fin del tiempo establecido se apagó la parrilla.
9. Se espero a que la temperatura del asfalto bajara a 110° C para poder llenar los moldes de las pruebas de Ductilidad, Penetración, Punto de Reblandecimiento y Recuperación Elástica por Torsión.



Figura 9. *Preparación de moldes para pruebas*

D 113-99: Método de prueba estándar para la ductilidad de materiales bituminosos (Standard test method for ductility of bituminous materials).

La ductilidad es la capacidad que tienen los asfaltos para mantenerse unidos bajo las deformaciones provocadas por el tránsito, es decir, es la capacidad de asfalto de deformarse hasta su rotura, en esta prueba se someten las muestras a tensión, determinando la longitud máxima que se estira el asfalto al momento de su ruptura.

El procedimiento para determinar la ductilidad es el siguiente:

1. Se extrajeron 800 gramos de asfalto convencional, colocándolo en un recipiente adecuado para aplicarle calor.
2. Se aplicó el antiadherente en los dos elementos laterales del molde de la briqueta y en la superficie de la placa de apoyo.
3. Se calentó la muestra de asfalto, agitándola de forma continua analizando la fluidez necesaria a una temperatura no mayor a 110 °C, en un tiempo menor a 30 min.

4. Se realizó el llenado del molde para realizar la briqueta, dejándose enfriar por 30 min a temperatura ambiente.
5. Se colocó la placa y el molde que contiene la briqueta en baño maría, a una temperatura de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, durante 30 minutos.
6. Se extrajo del baño maría y se enrasó la briqueta cortando el exceso del material con una espátula caliente facilitando el corte, posteriormente se vuelve a introducir al baño maría a la misma temperatura del paso anterior durante 90 minutos. Mientras se preparó el ductilómetro con agua a $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$.
7. Transcurrido el tiempo se retiró la briqueta de la placa, desmoldando la briqueta por los laterales e inmediatamente se instaló mediante las mordazas en el ductilómetro, debiendo quedar la cara superior de la briqueta a no menos de 2.5 cm de la superficie libre de agua.
8. Se puso en marcha el mecanismo del ductilómetro a una velocidad de 5 cm/min, con variación de $\pm 5\%$ hasta que se produjo la ruptura de la briqueta.
9. Al momento de la ruptura se leyó el desplazamiento de la mordaza y se registró dicho desplazamiento.



Figura 10. Moldes y proceso de Prueba Ductilidad

D 36-95: Método de prueba estándar para el punto de reblandecimiento del betún [aparato de anillo y bola] (Standard test method for softening point of bitumen [ring-and-ball apparatus]).

El punto de reblandecimiento es la temperatura a la cual el asfalto pasa de un estado semisólido a un estado semilíquido, es decir, comienza a fluir. El procedimiento para determinar esta característica del asfalto es el siguiente:

1. Se colocaron los anillos sobre una placa de apoyo la cual se le colocó antiadherente.
2. Se calentó la muestra de 800 gramos a una temperatura no mayor a 110°C .

3. Se vertió el asfalto en los anillos llenarlos ligeramente por encima del nivel dejándose enfriar por un lapso de 30 min, enseguida se cortaron los excesos de asfalto con una espátula caliente para facilitando el corte.
4. Se ensambló el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra de prueba, las guías y el termómetro.
5. Se llenó el vaso de vidrio hasta una altura de 10 cm con agua potable a $5 \pm 1^\circ\text{C}$, con las pinzas se colocaron las esferas en el fondo del vaso. Se colocó en el vaso el sistema de soporte y se dejó el conjunto durante 15 min manteniéndolo a la temperatura indicada.
6. Se extrajo el sistema de soporte, se colocaron las esferas en las guías en el mismo, se volvió a introducir el vaso quedando el montaje del equipo.
7. Se colocó el conjunto en el mechero y se incrementó uniformemente la temperatura del agua a razón de $5^\circ\text{C}/\text{min}$, con una tolerancia de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en lecturas hechas cada minuto después de los 3 min.
8. Se registró para cada anillo la temperatura en el momento en el que el material asfáltico tocó la placa inferior del soporte con aproximación de 0.5°C , cuidando que las temperaturas no defirieran entre sí en más de 1°C .



Figura 11. Molde y proceso prueba de Punto de Reblandecimiento

D 5-97: Método de prueba estándar para la penetración de materiales bituminosos (Standard test method for penetration of bituminous materials).

El ensayo de penetración se determina midiendo en decimas de milímetro la profundidad que entra en una aguja normalizada en una muestra de asfalto en condiciones controladas de tiempo, temperatura y carga. Esta prueba se encarga de medir si el asfalto se encuentra en estado

líquido, sólido o semisólido, con la finalidad de determinar la consistencia de la muestra asfáltica, es decir este ensayo determina el grado de dureza de un asfalto. Su procedimiento es el siguiente:

1. Se calentó la muestra de 800 gramos a una temperatura no mayor a 110 °C evitando en todo momento la formación de burbujas de aire y hasta que se alcanzó la fluidez necesaria.
2. Se vertió a la capsula y se dejó enfriar a temperatura ambiente, hasta que adquiere dureza.
3. Se colocó en el baño maría durante 2 horas, manteniéndolo a una temperatura de 25° C.
4. Se colocó el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y horizontal, se le acoplo la aguja y se niveló perfectamente el penetrómetro y la muestra.
5. Se ajustó la altura de la aguja hasta que hizo contacto con la superficie de la muestra.
6. Se colocó en cero la caratula del equipo y se oprimió para liberar la aguja en 5 segundos. Se leyó en decimas de milímetro, se realizaron 5 penetraciones separadas entre sí y de la pared de la capsula a 10 mm.

Un asfalto más rígido provoca que el material tienda a fracturarse, lo que provoca fenómenos de deterioro como son las fisuras longitudinales y transversales, en las juntas por deflexión, una alta rigidez puede provocar los fenómenos de piel de cocodrilo y baches.



Figura 12. Molde y proceso de prueba Estándar para la Penetración de Materiales Bituminosos

Recuperación elástica por torsión en cemento asfáltico modificado.

La elasticidad es la propiedad que tienen los materiales para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los deforma, se reporta como el porcentaje de recuperación con respecto al ángulo inicial de 180°.

Esta prueba es útil para confirmar que el biomodificador añadido a la muestra de asfalto tiene propiedades elásticas, ya que, un cemento asfáltico con una buena elasticidad mejora la resistencia al agrietamiento por fatiga, porque es capaz de disipar los esfuerzos aplicados y recuperar su forma original.

Esta prueba es aceptada en México con la Norma de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) N-CMT-4-05-002 y solo es aplicable a asfaltos modificados. Su procedimiento fue el siguiente:

1. Se llenó el molde hasta la marca aforada con el asfalto modificado.
2. Se centró y fijó el molde para la muestra dentro del baño maría, antes de agregar el agua.
3. Se ajustó el cilindro metálico de tal forma que su base inferior quedó a una distancia de 20 mm del fondo del molde, previamente al vertido de la muestra.
4. Se dejó enfriar el conjunto formado por el molde, la muestra y el cilindro metálico, durante 1 hora mínimo, hasta alcanzar la temperatura ambiente.
5. Se hizo circular agua por el baño maría a una temperatura de 25 ± 1 °C durante 90 min, con el fin de equilibrar la temperatura del agua y de la muestra de prueba. El nivel del líquido en el baño estuvo por encima del recipiente con la muestra.
6. Se introdujo el pasador en el espacio para que tal efecto tiene el cilindro metálico y con su ayuda se hizo girar dicho cilindro 180° en el sentido de las manecillas del reloj, es decir, se lleva la barra indicadora de 180° a 0°, en un tiempo comprendido entre 3 y 5 segundos. Hecho esto, se retiró inmediatamente el pasador para que no interfiera con el desarrollo posterior de la prueba.
7. Transcurridos 30 min ± 15 segundos, se registra la lectura indicada por la barra sobre la semicorona graduada, como el valor del ángulo recuperado (L).



Figura 13. *Proceso prueba Recuperación Elástica por Torsión*

Para la determinación de las propiedades estructurales y morfológicas de los materiales y las mezclas obtenidas se realizaron las pruebas de Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR), Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). Las pruebas mencionadas anteriormente fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio de Síntesis y Caracterización de Nanomateriales de la Facultad de Fisicomatemáticas y el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo ubicadas en Ciudad Universitaria. Para estos estudios se muestrearon las mezclas asfálticas, por la parte superior e inferior del recipiente que las contenía, para observar el comportamiento que se tenía.

Espectroscopia de infrarrojo (FTIR).

Espectroscopia infrarrojo, también conocida como FTIR (por sus siglas en inglés, Fourier Transform Infra-Red) o solamente IR es la medida de la interacción de la radiación de origen infrarrojo con la materia por absorción, emisión o reflexión, utilizada para estudiar e identificar modos vibracionales de grupos funcionales en forma sólida, líquida y gaseosa.

En el llamado espectro infrarrojo es posible observar el resultado de la interacción entre la radiación infrarroja y muestra analizada. El espectro infrarrojo compuesto por bandas, en donde en el eje de las X representan los valores del intervalo de la longitud de onda en nanómetros; mientras que, en el eje de las Y, se representan los valores de la intensidad de absorción o transmisión.

Cada pico en un espectro de infrarrojo representa un específico tipo de vibración, por lo que podemos decir que el espectro es una representación de los estados excitados producidos al hacer un barrido de todo el intervalo de longitudes de onda en el infrarrojo. Existe en la biografía

una gran variedad de tablas de asignación de bandas o picos con el propósito de facilitar la explicación de un espectro de infrarrojo. Las hay organizadas por compuestos o por grupos de familias químicas.

Este ensayo se realizó en el laboratorio de Físico-Matemáticas, donde fue utilizado un equipo Bruker, modelo IR-FT Vertex 70 y se empleó el equipamiento ATR el cual determinó los grupos funcionales que contienen el asfalto, la cáscara de coco molida y las mezclas del cemento asfáltico con cáscara de coco molida.



Figura 14. *Equipo Bruker para Ensayo de IR*

Difracción de rayos x (DRX)

Difracción de rayos-X (DRX) es una de las técnicas más eficaces para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de cualquier tipo de material, tanto natural como sintético.

Difracción de rayos-X junto con la microscopia son las técnicas más utilizadas para establecer los diagramas de fase.

Es un método analítico de alta tecnología, no destructivo y puede utilizar para el análisis de una amplia gama de materiales: metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámicas y semiconductores, entre otros.

Difracción es una propiedad común de todas las formas de onda. Se refiere al fenómeno de dispersión de onda cuando pasan a través de una rendija o apertura estrecha, mientras que la extensión de la dispersión depende del tamaño de rendija.

Después Difractar los rayos la intensidad de los rayos-X se puede evaluar con precisión y, por lo tanto, se puede generar un patrón de difracción en forma de gráfico. En caso de interferencia

destruccion, la ley de Bragg no se cumple, y, por lo tanto, la intensidad del haz de rayos x es demasiado baja para generar un pico. Sin embargo, cuando la orientación del material de muestra y/o el detector es tal que se cumple la ley de Bragg, se produce una interferencia constructiva y se forma un pico. Estos datos gráficos brindan información sobre el espaciado entre planos, del material que se investiga. Además, esta distancia es característica específica para cada elemento cristalino, lo que nos permite utilizar DRX para analizar la composición de una sustancia.

Este estudio fue realizado en el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, en un equipo modelo D8 Advance Davinci, marca Bruker. Este análisis permitió conocer la posición que ocupan los átomos, iones o moléculas que lo conforman, permitiendo determinar propiedades tanto físicas como químicas de los materiales en estudio.

Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

La microscopia electrónica de barrido SEM (por sus siglas en inglés, Scanning Electron Microscope), es una técnica muy útil en la caracterización de materiales ya que se necesita muy poca cantidad de muestra.

SEM, es un instrumento muy versátil, permite la observación y caracterización superficial de materiales orgánicos e inorgánicos, dando información morfológica y de composición química rápida, eficiente y simultánea de material analizado.

Microscopia electrónica se fundamenta en la emisión de una barrido de haz de electrones sobre la muestra, los cuales interactúan con la misma produciendo tipos de señales que son recogidas por detectores. Finalmente, la información obtenida de los detectores es transformada para dar lugar a una imagen de alta resolución de la topografía de la superficie de nuestra muestra.

Con ella podemos estudiar distintos tipos de materiales: metales, cerámicas, polímeros, composites orgánicas.

Este ensayo fue realizado en el Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales, primero fueron cristalizadas las muestras con cobre en un metalizador modelo S150A SPUTTER COATER; ya que las muestras no son conductoras por sí solas. En seguida las muestras fueron introducidas en un Microscopio Electrónico de Barrido Convencional modelo JSM- 6400, utilizado marca Bruker, donde a partir de un haz de electrones se formó una imagen ampliada de

la superficie de las muestras permitiendo así una imagen clara de la caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos.



Figura 15. *Proceso Cristalización y SEM*

Determinación de Propiedades Mecánicas, Estructurales, Morfológicas y su Discusión.

Para el desarrollo del presente apartado se realizaron las pruebas descritas en el capítulo anterior para la cáscara de coco, asfalto base y las mezclas de asfalto con distintas proporciones de cáscara de coco, a partir de este momento se identificaran con la clave mostrada en la tabla 1.

Tabla 1. *Identificación de muestras de asfalto modificado*

Muestra	Contenido de Coco (gr)	Clave
Asfalto Base + 0.6% de Biomodificador	5.00	ABCO05
Asfalto Base + 2.5% de Biomodificador	20.00	ABCO20
Asfalto Base + 4.4% de Biomodificador	35.00	ABCO35
Asfalto Base + 6.25% de Biomodificador	50.00	ABCO50
Asfalto Base + 8.13% de Biomodificador	65.00	ABCO65
Asfalto Base + 10% de Biomodificador	80.00	ABCO80
Asfalto Base	0.00	AB

Determinación de Cantidad de Lignina por Soxhlet.

Como se habló en el capítulo 3 de este documento se determinó la cantidad de lignina y de cenizas que tiene el biomodificador agroindustrial obteniendo los resultados de la tabla 2.

Tabla 2. *Cantidad de lignina sin corrección de cenizas de la cáscara de coco*

Muestra	Repetición	Peso lignina (gr)	% Lignina sin corrección de cenizas	% Promedio lignina sin corrección de cenizas
Cáscara de Coco	<i>A</i>	0.3185	31.76	33.09
	<i>B</i>	0.3398	33.96	
	<i>C</i>	0.3415	33.54	

Tabla 3. *Cantidad de lignina con corrección de cenizas de la cáscara de coco*

Muestra	Repetición	Peso de las cenizas (gr)	% Lignina con corrección de cenizas	% Promedio lignina con corrección de cenizas
Cáscara de Coco	<i>A</i>	0.0074	31.02	32.38
	<i>B</i>	0.0068	33.28	
	<i>C</i>	0.0072	32.83	

Prueba Estándar de Ductilidad para Materiales Bituminosos.

Se realizaron los pasos escritos en el capítulo anterior, llenando 3 briquetas para cada una de las muestras, bajo las condiciones de tiempo, temperatura como lo marca la ASTM. Se registraron las lecturas de cada una de las briquetas, para después obtener el promedio siendo este la Ductilidad de cada una de las muestras como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Promedio prueba de ductilidad, de asfalto y las distintas cantidades de coco

Muestra	Ductilidad (cm)
<i>AB</i>	83.00
ABCO05	26.67
ABCO20	13.83
ABCO35	10.83
ABCO50	11.67
ABCO65	9.00
ABCO80	11.67

En la tabla anterior se puede observar que la ductilidad del asfalto reduce de un 64 a 89% al ser adicionado el biomodificador seleccionado para esta investigación. Sin embargo, se esperaría un comportamiento de disminución gradual, cada vez, que es incorporada más cantidad de cáscara de coco a la estructura del asfalto base, pero, cuando se adicionan 50 y 80 gramos de coco se obtiene tiene el mismo valor siendo mayores que la ductilidad de las muestras con 35 y 65 gramos de cáscara de coco.

Los asfaltos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes que aquellos que carecen de esta propiedad, sin embargo, los asfaltos con una ductilidad elevada son más susceptibles a los cambios de temperatura, lo que provocara ahuellamiento y otros tipos de deterioro en el pavimento. En algunas aplicaciones como las mezclas para pavimentación tiene gran importancia la ductilidad, mientras que en otras como el relleno de grietas, las propiedades básicas es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura por lo tanto una ductilidad baja.

Método de Prueba Estándar para el Punto de Reblandecimiento del Betún.

Se siguieron los parámetros de la ASTM descritos anteriormente, para esta prueba se realizaron dos repeticiones por cada muestra, se obtuvo el promedio de las lecturas tomadas de cada una de las muestras mostrado en la tabla 5.

Tabla 5. Promedio de resultados punto de reblandecimiento de asfalto y las distintas cantidades de coco

Muestra	Punto de Reblandecimiento (°)
<i>AB</i>	48.6
ABCO05	50.5
ABCO20	50.0
ABCO35	54.9
ABCO50	51.0
ABCO65	57.3
ABCO80	59.1

En los datos anteriores se observa que, respecto al asfalto convencional sin biomodificador todas las muestras modificadas con cáscara de coco presentan un incremento en la temperatura de reblandecimiento, es decir, una resistencia a fluir que va desde el 2 al 22%.

Cuando se le adicionan 20 y 50 gramos de cáscara de coco al asfalto la resistencia a fluir aumenta con respecto al valor de la muestra anterior.

En todos los casos la susceptibilidad a los cambios de temperatura aumenta respecto al asfalto base.

Método de Prueba Estándar para la Penetración de Materiales Bituminosos

Para cada muestra de asfalto modificado y el asfalto base se realizaron dos repeticiones por cada una, obteniendo así los resultados mostrados en la tabla 6, posteriormente se analizó el promedio de ambas.

Tabla 6. Promedio prueba de penetración de asfalto y las distintas cantidades de coco

Muestra	Penetración (dmm)
<i>AB</i>	51.17
ABCO05	63.40
ABCO20	53.75
ABCO35	37.25
ABCO50	40.50
ABCO65	47.70
ABCO80	46.40

De los resultados anteriores, se puede concluir que el añadir coco genera una rigidización del asfalto respecto al asfalto base, sin embargo, a medida que incrementamos el porcentaje de coco, el valor de penetración disminuye hasta estabilizarse en un valor menor respecto de la base con lo que podemos decir que lo hace más deformable.

Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asfáltico Modificado.

Se realizó la prueba a cada una de las muestras de asfalto modificado, posteriormente con la fórmula:

$$R_e = \frac{L}{180} \times 100$$

Donde:

R_e = Recuperación elástica por torsión, (%)

L = Ángulo recuperado, (°)

Se obtuvo el porcentaje de recuperación de cada una de las muestras, obteniendo así los resultados mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de recuperación elástica por torsión, de asfalto y las distintas cantidades de coco

Muestra	Recuperación elástica (%)
AB	5.56
ABCO05	5.56
ABCO20	7.78
ABCO35	7.78
ABCO50	6.67
ABCO65	6.67
ABCO80	5.00

Se observa que el porcentaje de recuperación elástica aumenta al adicionar 20 y 35 gramos de cáscara de coco, después comienzan a disminuir los valores, siendo que la cantidad para alcanzar un alto porcentaje de recuperación con respecto al asfalto convencional se encuentra entre la adición de 20 y 35 gramos de cáscara de coco.

Espectroscopia de Infrarrojo (FTIR).

En la figura 10 podemos observar los espectros de infrarrojo de las muestras de fibras de coco, extracción de lignina de las fibras de coco y del asfalto desde 450-4000 cm^{-1} . Podemos observar en el espectro de extracción de lignina de la cáscara de coco los siguientes números de onda identificados de la siguiente forma: a 3277 cm^{-1} se identifica con grupos de estiramiento de grupos $-OH$ asociados a compuestos de ácido, metanol, 2979 cm^{-1} corresponde a los enlaces de estiramiento $C - H_n$ relacionados a los grupos alkyl, alifáticos; 1607 cm^{-1} corresponde a la vibración de dobles enlaces de carbono $C = C$ correspondientes al modo estructural aromático; en 1250 cm^{-1} a modo de estiramiento del enlace carbono oxígeno $C - O$ provenientes de compuestos fenólicos; la vibración correspondiente a 1018 cm^{-1} es asociada al enlace estiramiento de carbono oxígeno $C - O$ y deformación de enlace $C - O$. Con lo cual podemos atribuir que la lignina extraída de las fibras del coco podría ser rica de *methoxyl* $-O - CH_3$; estiramiento de enlace $C - O - C$ y estiramiento de $C = C$ (debido a los anillos aromáticos) que contienen los compuestos esto concuerdo con lo reportado por H. Yang y col. En 2007 [19] en el espectro relacionado con las fibras de coco observamos las siguientes bandas 3284 cm^{-1} ; 2924 cm^{-1} ; 1607 cm^{-1} ; 1250 cm^{-1} ;

1018 cm^{-1} son debidos a los mismos enlaces presentes al espectro de lignina, aunque algunas de sus bandas son más pronunciadas debidos a otros compuestos existentes en el coco. El espectro de infrarrojo del asfalto presenta las siguientes bandas 3681 cm^{-1} esta asignada a los grupos de estiramiento $O - H$ relacionados con alcoholes, 2918 y 2851 cm^{-1} es debido a enlaces de estiramiento $C - H$ atribuidos al alcoholes y alcanos, 1456 cm^{-1} y 1374 cm^{-1} son debidas a vibraciones de deformación de puentes alifáticos $C - H$, 1012 cm^{-1} asociado a enlaces S-O.

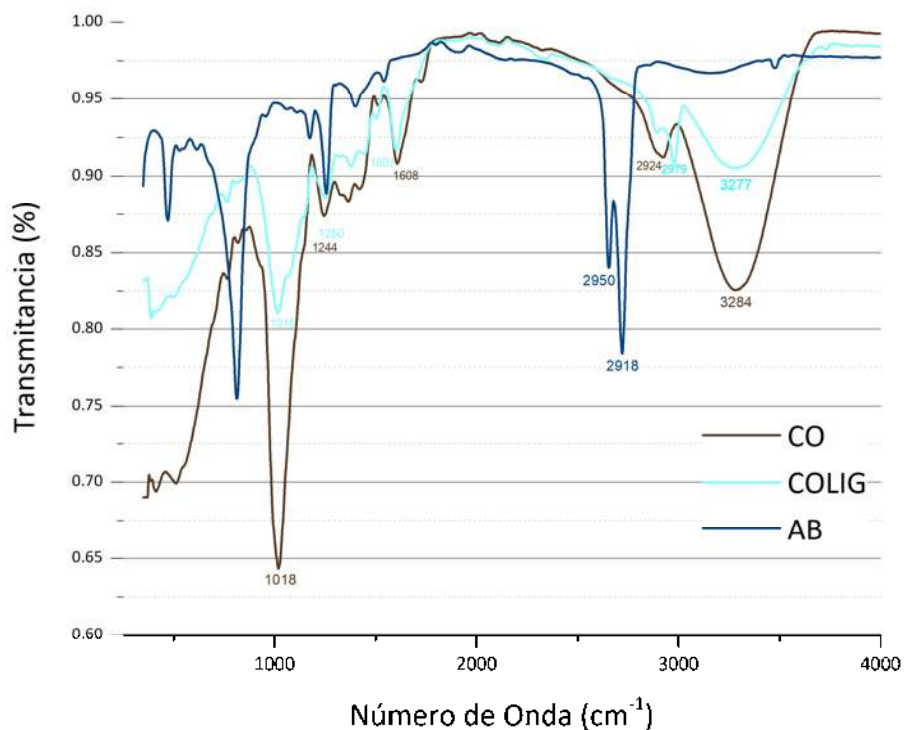


Figura 16. Espectros de infrarrojo de la cáscara de coco, lignina de coco, y asfalto base

En la figura 11 se presentan los espectros del asfalto modificado con los distintos porcentajes de fibras de coco adicionadas. Podemos observar que las bandas presentes en las muestras se encuentran en longitudes de numero de onda 3980 cm^{-1} se identifica con grupos de estiramiento de grupos $-OH$ asociados a compuestos de ácido, metanol, alrededor de 3122 a 3115 cm^{-1} , 1794 cm^{-1} , la cuales están relacionadas a la vibración de dobles enlaces de carbono $C=C$ correspondientes al modo estructural aromático; Podemos observar un ligero incremento de las bandas debido la interacción de los grupos funcionales de la lignina sobre el asfalto. Por lo tanto,

el entorno químico interno del asfalto modificado con fibras de coco es diferente al del asfalto matriz, lo que provoca cambios en las propiedades del asfalto.

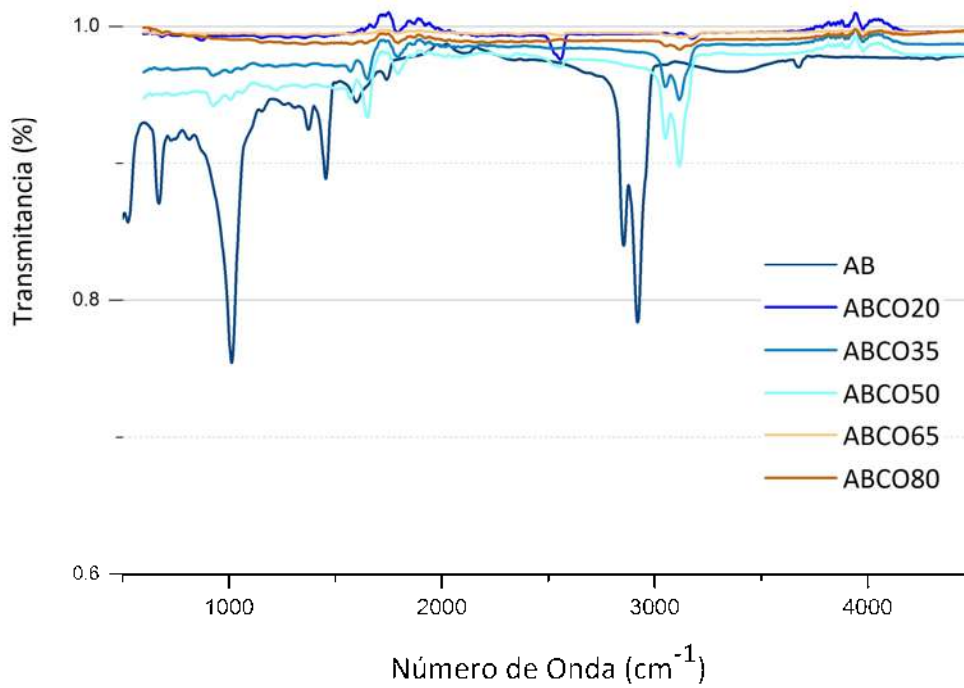


Figura 17. *Espectros de infrarrojo del asfalto base y los asfaltos modificados con cáscara de coco*

Difracción de Rayos X (DRX)

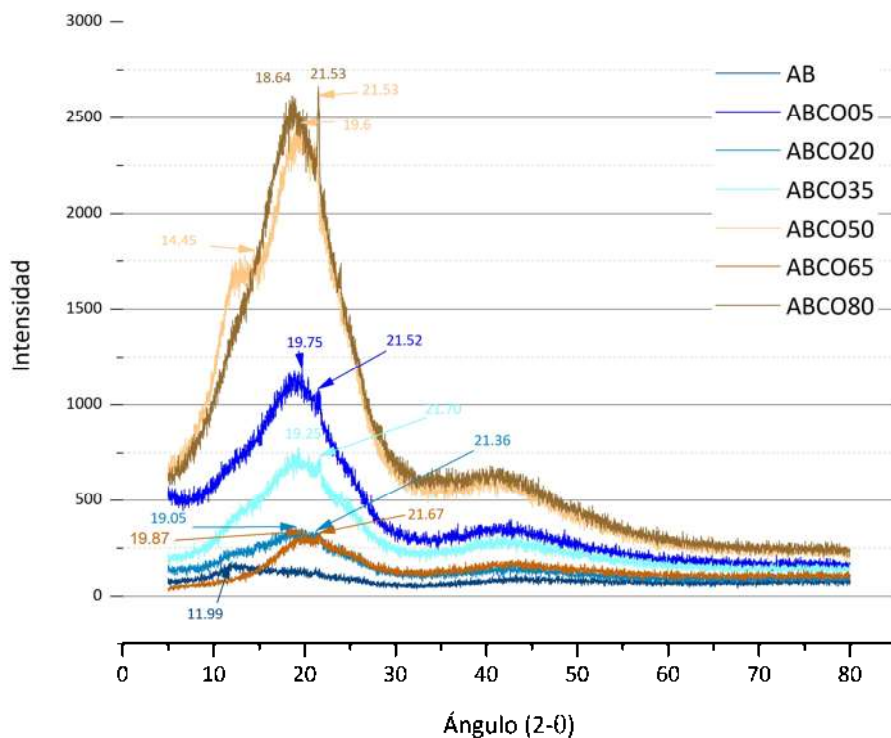


Figura 18. Difracción de Rayos-X del asfalto base y los asfaltos modificados

En la figura de difracción de rayos X se muestran los espectros de las muestras de asfalto, y asfalto con las diferentes mezclas de coco: ABCO05, ABCO20, ABCO35, ABCO50, ABCO65 y ABCO80. En ellas podemos observar que la muestra de asfalto presenta una amplia banda que está centrada aproximadamente a 11.99° la cual corresponde a un sistema totalmente amorfo, las muestras con coco en las diferentes concentraciones podemos observando un cambio de amorfo hacia una cristalización a ángulos de 21° la cual corresponde a la presencia de fibras de coco observado un ligero corrimiento hacia ángulos de 22° aumentando así la cristalización del asfalto aproximadamente en un 45% la cual fue calculada a través de área bajo la curva, el resultado obtenido coincide con lo reportado por F. Tomczak.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

En la siguiente micrografía, figura 13, se presenta el asfalto base a diferentes aumentos que son de 500X, 2000X y 500X en ellos se observa una superficie sin límites de grano, se observa análisis EDS del asfalto el cual está compuesto de S, C y O. lo cual corresponde a un asfalto.

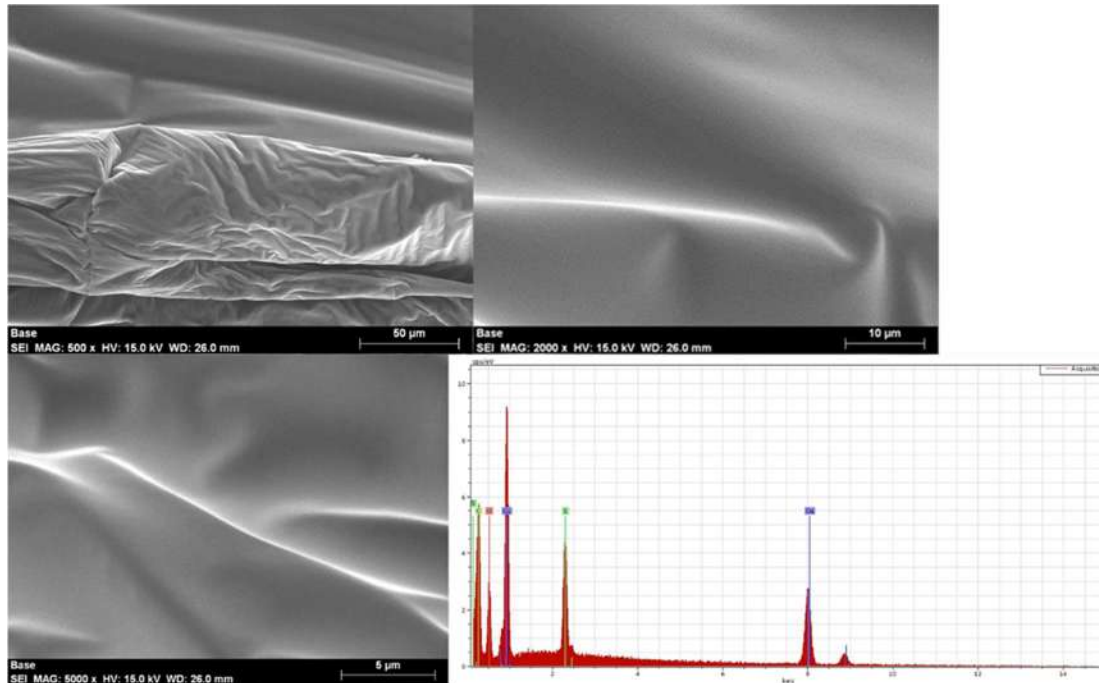


Figura 19. *Asfalto base en diferentes aumentos y su análisis EDS*

En las siguientes micrografías se presentan las diferentes contenidos del asfalto modificado con las fibras de coco.

En la siguiente figura 14 se presenta el asfalto modificado con fibras de coco designado como ABCO05 a 10000X, así como el análisis EDS; en la micrografía podemos observar la presencia de las fibras de coco y observar la composición química del material el cual S, C y O.

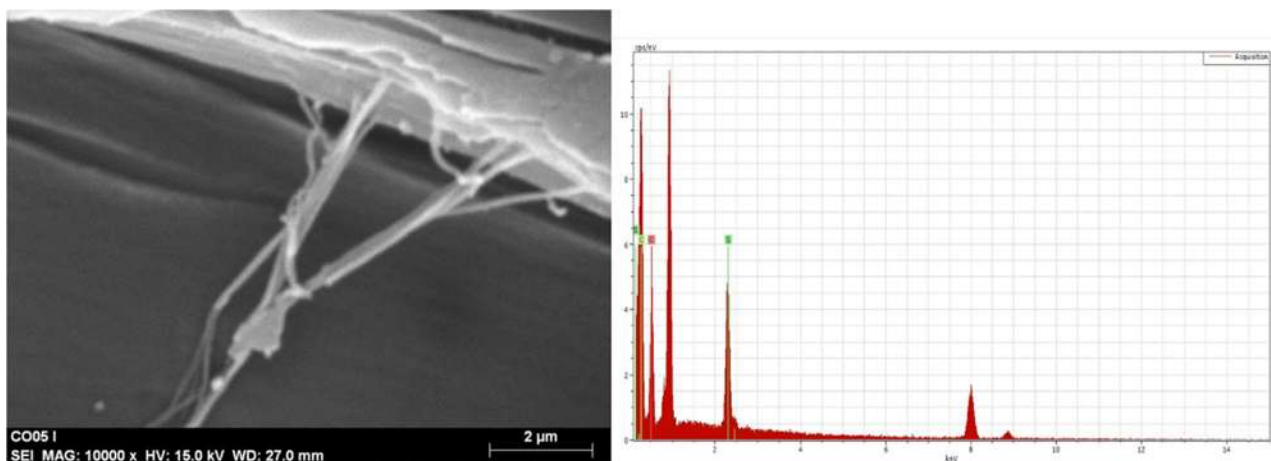


Figura 20. *Muestra ABCO05 a 10000X y su análisis EDS*

Capítulo III. Determinación de propiedades mecánicas, estructurales, morfológicas y su discusión

Se presenta el asfalto modificado con fibras de coco ABCO20 a 10000X en el podemos observar la presencia de fibras en el asfalto, observamos a través de EDS el análisis de las fibras y del asfalto observando los elementos químicos de la fibra son S, C, O, Ca, K, Na, Cl que están presentes en la fibra y en el análisis de EDS del asfalto de S, C, O.

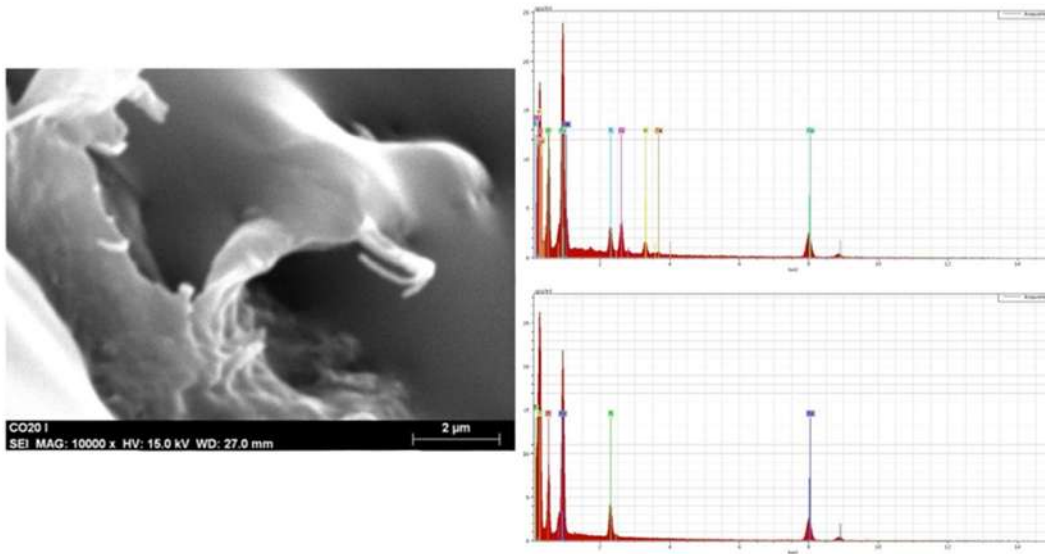


Figura 21. *Muestra ABCO20 a 10000X y su análisis EDS*

En la siguiente micrografía de asfalto modificado ABCO35 en 10000X, en la micrografía podemos observar el asfalto y las fibras de coco entre ramadas su composición química EDS se observa la presencia de igual forma S, C, O. Figura 16.

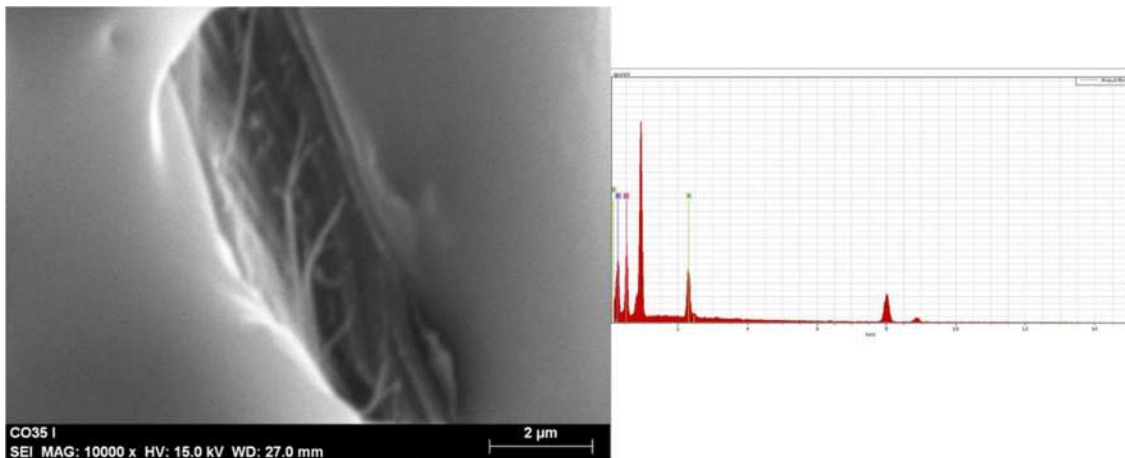


Figura 22. *Muestra ABCO35 a 10000X y su análisis EDS*

Con lo anterior podemos determinar que se encuentra presente las fibras de coco en el asfalto con diferentes contenidos de fibra.

Discusión

Para analizar los resultados se obtuvo de la norma N-CMT-4-05-100/06, según la viscosidad dinámica a 60° C, el cemento asfáltico base, es un AC-20, que es el más utilizado en la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro del más del 50% del territorio michoacano (figura 17).



Figura 23. Mapa de región geográfica para la utilización de asfaltos en México. *Nota:* Reproducida de Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60 °C, SCT, N-CMT-4-05-001/05.

Algunos de los requisitos de calidad propuestos por la SCT que debe contener un asfalto modificado con los polímeros tipo SBS, EVA, Látex, Hule de llanta y otros, son los mostrados en la tabla 8.

Por otro lado, se tiene que, el tipo de polímero que obtenemos por la cáscara de coco debido a su composición morfológica no corresponde a ninguno de los tipos de modificador establecidos en la norma.

Tabla 8. Requisitos de calidad de asfaltos modificados

Características	Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador)		
	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)
Penetración; a 25 °C, 100 g, 5 s, 10-1 mm, mínimo	40	40	30
Punto de reblandecimiento; °C, mínimo	55	55	53
Recuperación elástica por torsión; a 25 °C; %, mínimo	35	30	15

Tabla 9. Comparativa de Resultados Obtenidos vs lo Mínimo Indicado en la Norma (Polímero I)

Muestra	Penetración (dmm)	Punto de Reblandecimiento (°)	Torsión (%)
<i>Norma</i>	40.00	55	35
ABCO05	63.40	50.50	5.56
ABCO20	53.75	50.00	7.78
ABCO35	37.25	54.88	7.78
ABCO50	40.50	51.00	6.67
ABCO65	47.70	57.25	6.67
ABCO80	46.40	59.13	5.00

De la tabla anterior se puede observar que para la característica de la Penetración de un asfalto todas las mezclas modificadas con la cáscara de coco a excepción de ABCO35 cumplen con lo mínimo establecido en la norma.

Mientras que para la característica del Punto de Reblandecimiento del asfalto las únicas que logran cumplir con los establecido en la norma son ABCO65 y ABCO80.

Por otro lado, se observa que para las propiedades de Recuperación Elástica por Torsión ninguna de las mezclas cumple con lo que rige la norma.

Tabla 10. Comparativa de Resultados Obtenidos vs lo Mínimo Indicado en la Norma (Polímero II)

Muestra	Penetración (dmm)	Punto de Reblandecimiento (°)	Torsión (%)
<i>Norma</i>	40.00	55	30
ABCO05	63.40	50.50	5.56
ABCO20	53.75	50.00	7.78
ABCO35	37.25	54.88	7.78
ABCO50	40.50	51.00	6.67
ABCO65	47.70	57.25	6.67
ABCO80	46.40	59.13	5.00

En la tabla 10 se puede observar que, para la propiedad de Penetración que tiene los asfaltos todas las mezclas a excepción de ABCO35 cumplen con lo establecido en la norma.

Mientras que para la propiedad del punto de reblandecimiento de un asfalto las únicas mezclas que logran cumplir lo establecido en la norma son las mezclas ABCO65 y ABCO80.

Por otro lado, para las propiedad de recuperación elástica por torsión ninguna de las mezclas modificadas con cáscara de coco logra cumplir lo establecido en la norma.

Tabla 11. Comparativa de Resultados Obtenidos vs lo Mínimo Indicado en la Norma (Polímero III)

Muestra	Penetración (dmm)	Punto de Reblandecimiento (°)	Torsión (%)
<i>Norma</i>	30.00	53	15
ABCO05	63.40	50.50	5.56
ABCO20	53.75	50.00	7.78
ABCO35	37.25	54.88	7.78
ABCO50	40.50	51.00	6.67
ABCO65	47.70	57.25	6.67
ABCO80	46.40	59.13	5.00

Capítulo III. Determinación de propiedades mecánicas, estructurales, morfológicas y su discusión

De la tabla 11 se puede observar que, para la propiedad de Penetración que tienen los asfalto, todas las mezclas cumplen con lo establecido en la norma, siendo más rígidas que el asfalto convencional.

Mientras que para la propiedad del punto de reblandecimiento de un asfalto las mezclas denominadas ABCO35, ABCO65 y ABCO80, son las únicas mezclas que cumplen con lo mínimo establecido en la norma.

Por otro lado, en cuanto a las propiedad de recuperación elástica por torsión ninguna muestra de asfalto adicionada con el biomodificador agroindustrial cumple con lo mínimo establecido en la norma.

Con lo anterior se puede rescatar que las muestras que mejor desempeño tiene con respecto al asfalto base son las que son mayores al 4.4%, de ninguna manera dañan el desempeño del asfalto modificado, ya que, aunque no alcance lo mínimo escrito en la normativa estas logran mejorar sus características en relación con el asfalto base.

Comportamiento Estadístico

La estadística resulta fundamental para conocer el comportamiento de ciertos eventos, por lo que ha adquirido un papel clave en esta y todas las investigaciones. Se usa como un valioso auxiliar en los diferentes campos del conocimiento. Es un lenguaje que permite comunicar información basada en datos cuantitativos.

La estadística nos permite una descripción más exacta, permite resumir los resultados de manera significativa y cómoda.

Los principales valores para tomar por parte de la estadística para las muestras de esta investigación son:

- El promedio (tomado en cada uno de los valores del capítulo 4.)
- La varianza.
- La desviación estándar.
- El coeficiente de variación.

El promedio es un número representativo que puede obtenerse a partir de una lista de cifras. Usualmente se relaciona con el concepto de media aritmética.

La varianza es una medida de dispersión que se utiliza para representar la variabilidad de un conjunto de datos respecto de la media aritmética de estos.

La desviación estándar es un índice numérico de la dispersión o variabilidad de un conjunto de datos. Mientras mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de la población. La desviación estándar es de gran utilidad en la estadística descriptiva. Se define como la raíz cuadrada de la varianza. Junto con este valor, la desviación típica es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto a su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

El coeficiente de variación de Pearson mide la variación de los datos respecto a la media, sin tener en cuenta las unidades en la que están. El coeficiente de variación toma valores entre 0 y 1.

Prueba de Penetración.

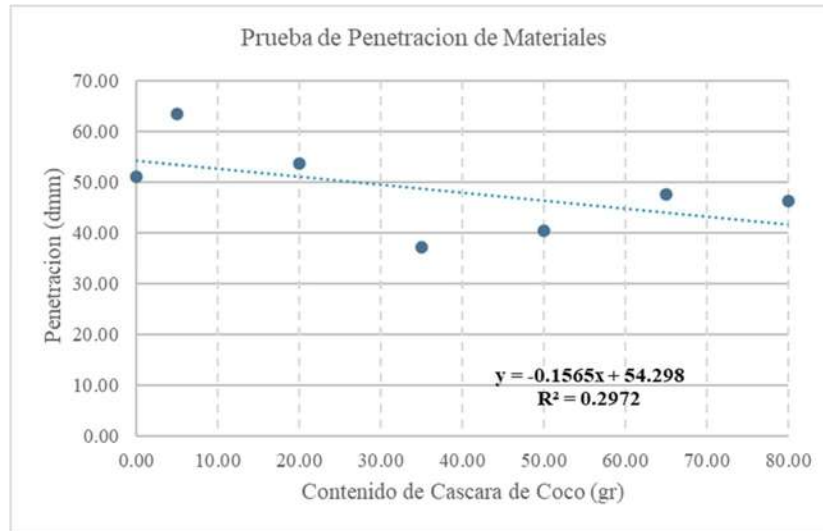


Figura 24. Gráfico de Resultados de Prueba de Penetración de Materiales

Para cada una de las muestras se obtuvieron coeficientes de variabilidad muy próximos al 0 lo que nos dice nuestra muestra tiene poca variabilidad entre cada una de las muestras que se hicieron de cada una.

Utilizando mínimos cuadrados obtenido en la figura 18, todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa.

Tabla 10. Resultados de estadística prueba de penetración

Muestra	Promedio (dmm)	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de Variabilidad
AB	51.17	3.57	12.73	0.07
ABCO05	63.40	1.43	2.04	0.02
ABCO20	53.75	2.06	4.26	0.04
ABCO35	37.25	1.89	3.56	0.05
ABCO50	40.50	1.80	3.25	0.04
ABCO65	47.70	2.15	4.61	0.05
ABCO80	46.40	1.56	2.44	0.03

En la tabla anterior se observa que hay muy poca variabilidad entre todas las muestras.

Tabla 11. Estadística general de prueba de penetración

Media (dmm)	Desviación estándar	Variabilidad	Coefficiente de Variabilidad
48.60	8.04	64.61	0.17

Prueba de Ductilidad

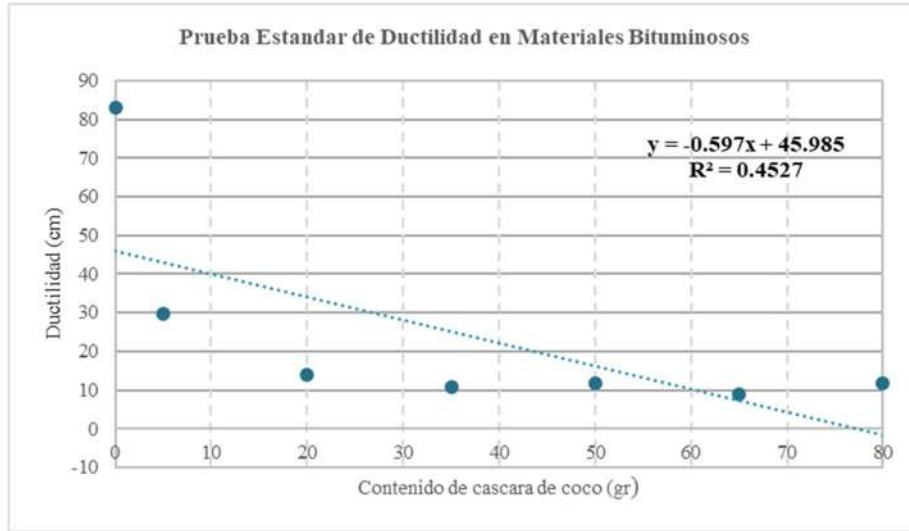


Figura 25. Gráfico de Resultados de Prueba de Ductilidad en Materiales Bituminosos

El resultado de mínimos cuadrados obtenido en la figura 19, sabemos que todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa.

Tabla 12. Resultados de estadística prueba de ductilidad

Muestra	Promedio (cm)	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de Variabilidad
AB	83.00	15.64	244.67	0.19
ABCO05	29.67	2.05	4.22	0.07
ABCO20	13.83	0.62	0.39	0.05
ABCO35	10.83	2.09	4.39	0.19
ABCO50	11.67	0.47	0.22	0.04
ABCO65	9.00	1.22	1.50	0.14
ABCO80	11.67	2.32	5.39	0.20

Tabla 13. Estadística general de prueba de ductilidad

Media (cm)	Desviación estándar	Variabilidad	Coefficiente de Variabilidad
24.24	24.84	616.95	1.02

Prueba de Punto de Reblandecimiento

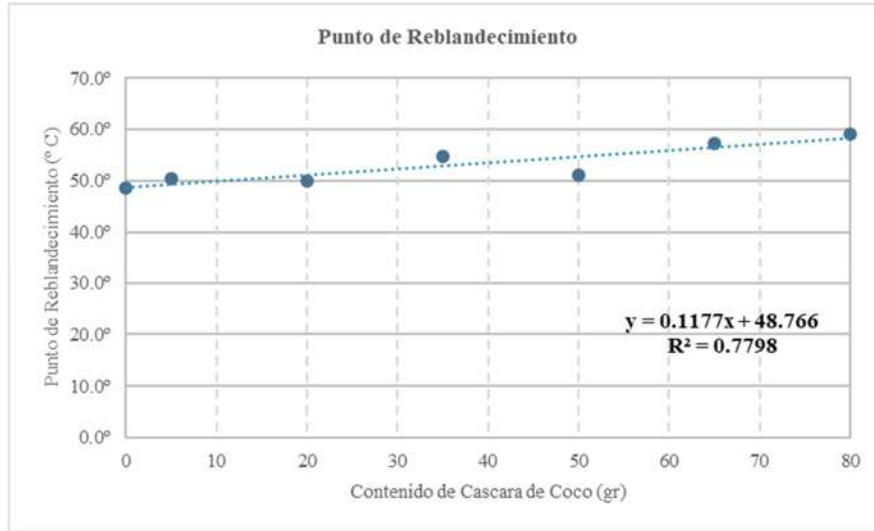


Figura 26. Gráfico de Resultados de Prueba de Punto de Reblandecimiento

Por el ajuste de mínimos cuadrados obtenidos en la figura 20, todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa.

Tabla 14. Resultados de estadística prueba punto de reblandecimiento

Muestra	Promedio (°)	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de Variabilidad
AB	48.6	0.41	0.17	0.01
ABCO05	50.5	0.50	0.25	0.01
ABCO20	50.0	0.00	0.00	0.00
ABCO35	54.9	0.74	0.55	0.01
ABCO50	51.0	1.00	1.00	0.02
ABCO65	57.3	1.79	3.19	0.03
ABCO80	59.1	0.54	0.30	0.01

Tabla 15. Estadística general de prueba punto de reblandecimiento

Media (°)	Desviación estándar	Variabilidad	Coefficiente de Variabilidad
53.1	3.73	13.92	0.07

Prueba de Recuperación Elástica por Torsión

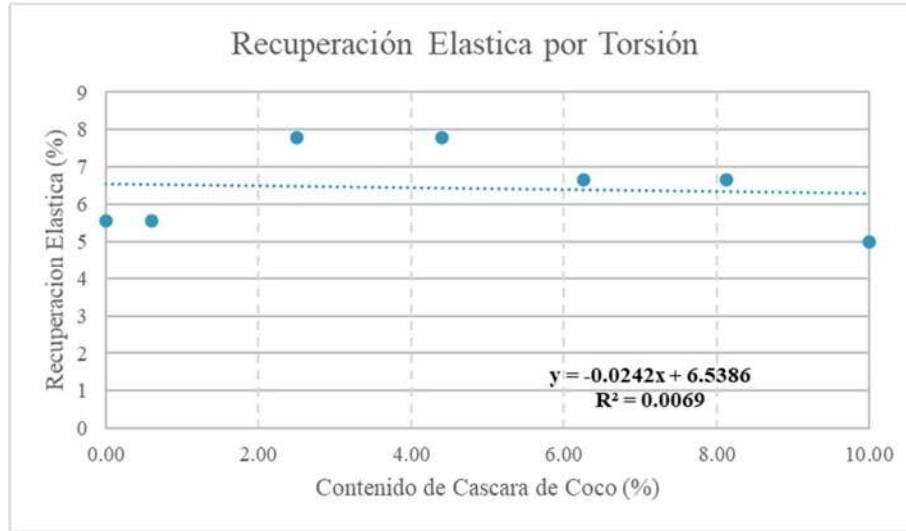


Figura 27. Gráfico de Resultados Prueba Recuperación Elástica por Torsión

En la figura 21, podemos observar que el ajuste de mínimos cuadrados todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa.

Tabla 16. Estadística general de prueba recuperación elástica por torsión

Media (°)	Desviación estándar	Variabilidad	Coefficiente de Variabilidad
6.4	1.02	1.05	0.16

Conclusiones

En relación con la investigación realizada sobre las propiedades estructurales, mecánicas y morfológicas del asfalto modificado con cáscara de coco, algunas conclusiones son las siguientes:

1. De acuerdo con lo especificado en las normas el valor de la prueba de ductilidad no es decisivo para calificar la calidad de los cementos asfálticos modificados, sin embargo, se realizó la prueba con el objeto de determinar cómo afecta esta propiedad la adición de cascara de coco en la estructura del asfalto dado que la ductilidad es un indicador del comportamiento de este material.
2. A pesar de que el polímero utilizado en la investigación no sea parte de ninguno de los grupos establecidos en la norma, una adición mayor al 4.4% de biomodificador en la estructura del asfalto logra cumplir con lo mínimo establecido para la característica de punto de reblandecimiento, así como, en todas las proporciones de cáscara de coco la característica de penetración resulta ligeramente mayor que lo que dicta la norma teniendo.
3. Determinar la metodología de incorporación es importante para lograr una correcta dispersión del biomodificador en la matriz de asfalto base.
4. En comparación con las propiedades mecánicas del asfalto base o convencional utilizado en la investigación, todas las mezclas de asfalto con las diferentes porciones de biomodificador tuvieron un mejoramiento, lo que nos indica que, aunque sea poca la cantidad de biomodificador este logra aumentar las propiedades y reduce la utilización del asfalto.
5. Se recomienda completar estos resultados de características mecánicas con los resultados de los ensayos reológicos.
6. Basado en los resultados obtenidos, en ningún momento se daña la estructura.
7. Se recomienda subir los ciclos de digestión del proceso de mezclado, para poder observar si se obtiene una mezcla más uniforme.

Bibliografía

- Equipo Comunicación, «Historia del uso del asfalto: Eadic,» 2016. [En línea].
- 1] Available: <https://www.eadic.com/historia-del-uso-de-asfalto/>. [Último acceso: Octubre 2020].

Constructora Arquintex SRL, «Historia del Asfalto,» [En línea]. Available:

 - 2] <http://arquintex.com/historia-de-asfalto.html>. [Último acceso: Octubre 2020].

VISE, «[Infografía] Breve historia del asfalto: Blog,» 2020. [En línea]. Available:

 - 3] <https://blog.vise.com.mx/infografia-breve-historia-del-asfalto>. [Último acceso: 8 Octubre 2020].

A. G. Boza, «"La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país" : UDEP,» 2015. [En línea]. Available: <http://udep.edu.pe/hoy/2015/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>. [Último acceso: 2019].

VISE, «Infraestructura carretera: Su importancia en la movilidad de México.,» 2018.

 - 5] [En línea]. Available: <https://blog.vise.com.mx/infraestructura-carretera-su-importancia-en-la-movilidad-demexico#:~:text=La%20importancia%20de%20la%20infraestructura,desarrollo%20econ%C3%B3mico%20y%20genera%20empleos.&text=Eleva%20la%20competitividad%2C%20el%20desarrollo,de%20>. [Último acceso: 7 Octubre 2019].

Universidad de las Américas Puebla, «En México, el 90 por ciento de las carreteras están hechas con concreto asfáltico: UDELAP,» 26 Septiembre 2011. [En línea]. Available: [http://blog.udlap.mx/blog/2011/09/enmexicoel90porciento decarreterasestanhchasconcretoasfaltico/](http://blog.udlap.mx/blog/2011/09/enmexicoel90porciento decarreterasestanhchasconconcretoasfaltico/). [Último acceso: 15 Octubre 2019].

Instituto Mexicano del Transporte, «La Red Nacional de Caminos alcanza los 750,691 km en el 2019: Blog IMT,» 16 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/imt/articulos/la-red-nacional-de-caminos-alcanza-los-750-691km-en-el-2019-230270>. [Último acceso: Enero 2020].

- Tu Interfaz de Negocios, «11 mil km de red carretera en mal estado: SCT,» 2019.
- 8] [En línea]. Available: <https://tuinterfaz.mx/noticias/22/11208/11-mil-km-de-red-carretera-en-mal-estado-sct/>. [Último acceso: 2020].
- I. I. C. Ibañez, *Asfaltos Modificados*, Surfax S. A. de C. V..
- 9]
- R. M. P. H. & J. M. M. F. J. Trinidad Ávila Salazar, «Importancia que presentan los polimeros naturales frente a los sintenticos: Scrib,» 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/78167577/IMPORTANCIA-QUE-PRESENTAN-LOS-POLIMEROS-NATURALES-FRENTE-A-LOS-SINTETICOS>. [Último acceso: 9 Octubre 2019].
- 10]
- R. O. P. y. F. E. C. David Aradilla Zapata, «Polimeros Biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente,» Técnica Industrial, 2012.
- 11]
- R. R. P. G. T. M. E. M. R. A. G. S. P. M. E. A. C. A. O. M. A. & J. G. E. Rincón Reyna J. F., «Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (Cocos nucifera L.),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/3/49.pdf>. [Último acceso: 16 Mayo 2020].
- 12]
- R. R. C. V. H. R. & E. J. A. P. Juana Guerrero González, «Consumo de subproducto del coco en industrias de México,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/30>. [Último acceso: 3 Octubre 2019].
- 13]
- R. P. J. N. A. H. H. Y. D. S. J. Tay Lay Ting, «A Review of Utilization of Coconut Shell and Coconut Fiber in Road Construction,» Jurnal Teknologi, 2015.
- 14]
- R. M. B. J. B. S. & S. d. A. S. Ana E. V. de Alencar, «Rheological behavior of asphalt binder modified with EVA copolymer and coconut fiber,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/261063246>.
- 15]

K. A. Shanmugam, «Modificación del aglutinante de asfalto mediante la
16] incorporacion de polvo de cáscara de coco,» IRC, Universiti Teknologi PETRONAS, 2016.

R. M. D. R. & N. M. Rehana Ali, «Utilization of Coir Fibre as an Asphalt Modifier,»
17] The University of Trinidad and Tobago, Trinidad y Tobago, 2018.

E. G. & H.-A. Alexandra Loaiza, «SciELO: Evaluation of asphalt binder mixed
18] with coconut powder and residual coconut fibers for structural applications,» 2018. [En
línea]. Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2018000300542&script=sci_arttext&tlng=en. [Último acceso: 28 Septiembre 2019].

H. Yang.
19]

A. M. & F. G. Md Tareq Rahman, «Recycling of Waste Materials for Asphalt
20] Concrete and Bitumen: A Review,» 24 Marzo 2020. [En línea]. Available:
<https://doi.org/10.3390/ma13071495>. [Último acceso: Octubre 2020].

Forbes Staff. (2020). *Economía mexicana caerá más de 7% en 2020, prevén analistas en sondeo de Banxico*. septiembre 10, 2020, de Forbes Sitio web: <https://www.forbes.com.mx/economia-mexicana-caera-7-1-en-2020-estiman-analistas-en-sondeo-de-banxico/>

Diario Visión de Michoacán. (2020). *Michoacán, el 3er productor de coco en el país*. septiembre 20, 2020, de El Diario Visión Sitio web: <https://www.eldiariovision.com.mx/noticia/nota,85087/t,Michoac%C3%A1n,+el+3er+productor+de+coco+en+el+pa%C3%ADs+/>

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Aumenta 9.2 por ciento producción de copra en México*. agosto 03, 2019, de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumenta-9-2-por-ciento-produccion-de-copra-en-mexico#:~:text=El%20coco%20se%20genera%20en,%2C%20Oaxaca%2C%20Tabasco%20y%20>

[20Veracruz.&text=Le%20siguen%20Colima%2C%20con%2018,Michoac%C3%A1n%2C%20d
os%20mil%20588%20toneladas.](#)

Diana Vaflo. (2016). *Impacto Ambiental Polímeros Sintéticos*. octubre 08, 2019, de Mind Meister Sitio web: <https://www.mindmeister.com/es/692816631/impacto-ambiental-pol-meros-sint-ticos>

F. Tomczak, tesis” *Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil*”, Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2010