**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO CON CENIZAS DE CASCARILLA DE ARROZ**

Julian C. Gallo¹, Maria C.² Parra, Maria Paula Salazar Susunaga3 & Ivonne Alejandra Gongora4

1 Universidad de Ibagué, Facultad de ingeniería, Ibagué, Tolima, Ibagué,

Email: [*2520141014@estudiantesunibague.edu.co*](mailto:2520141014@estudiantesunibague.edu.co)

2 Universidad de Ibagué, Facultad de ingeniería, Ibagué, Tolima, Ibagué,

Email: *2520141028@estudiantesunibague.edu.co,*

3 Universidad de Ibagué, Facultad de ingeniería, Ibagué, Tolima, Ibagué,

Email: [maria.salazar@unibague.edu.co](mailto:maria.salazar@unibague.edu.co)

4 Universidad Católica de Brasilia, Brasilia, Brasil.

E-mail: ivonnegutierrez@unb.br

***Resumen****- El* presente artículo se realizó con fin de presentar el análisis de la evaluación del comportamiento del asfalto modificado con cenizas de cascarilla de arroz (RHA). Dicho estudio se realizó utilizando cinco porcentajes modificadores diferentes de ceniza (4, 4.5, 5, 5.5, 6), donde cada uno de estos se sometieron a diversas pruebas; punto de ablandamiento, viscosímetro rotacional, adherencia Stripping, gravedad específica, adherencia en bandeja y penetración, obteniendo un número total de 144 ensayos de laboratorio. Con los resultados obtenidos se realizó una caracterización de sus propiedades con el fin de poder comparar los asfaltos modificados con el convencional, determinando que el RHA mejora las propiedades mecánicas y reológicas del agente bituminoso.

***Palabras claves****:* Asfalto, modificación, cenizas, RHA.

***Abstract*** *-* The present article was carried out in order to present the analysis of the evaluation of the behavior of modified asphalt with rice husk ash (RHA). Said study was carried out using five different modifying ash percentages (4, 4.5, 5, 5.5, 6), where each one of them underwent diverse tests; Softening point, rotational viscometer, Stripping adhesion, specific gravity, tray adhesion and penetration, obtaining a total number of 144 laboratory tests. With the results obtained, a characterization of its properties was carried out in order to compare the modified asphalts with the conventional asphalt, determining that the RHA improves the mechanical and rheological properties of the bituminous agent.

***Keywords****:* Asfalt, modification, ashes, RHA.

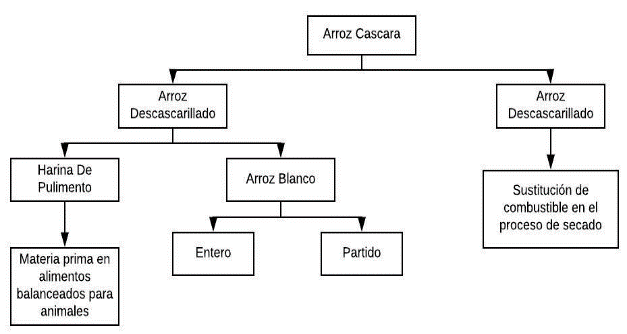
1. **INTRODUCCIÓN**

Uno de los grandes elementos para una eficaz comunicación y optimo traslado de un lugar a otro, son las carreteras para lo que se requiere de materiales que alarguen la vida de las misma aportando durabilidad y resistencia ante los diferentes eventos que está expuesta en su diario vivir, por esto a lo largo de los años se ha buscado e investigado diferentes maneras que sea posible lograr dichas ideas de mejoramiento, uno de ellos es este trabajo en donde se busca evaluar el comportamiento del asfalto convencional al incluir en sus agregados las cenizas de cascarilla de arroz.

Al incinerar la cascarilla, la ceniza resultante contiene un porcentaje en sílice superior al 90%, lo cual la hace una potencial fuente de sílice. Las principales impurezas que contiene esta sílice son: calcio, potasio, magnesio y manganeso y como secundarias aluminio, hierro (10-20ppm), boro y fósforo. (1-40 ppm) [1], buscando con estas propiedades prolongar la vida útil del asfalto convencional y también dar una utilidad a las cenizas, ya que a lo largo del tiempo han sido tratadas como un desecho sin tener un uso eficaz.

Para ello se requiere llevar a cabo diversas pruebas de ensayo y error de las cuales hace parte diferentes cantidades de agregado de cenizas de cascarilla de arroz, logrando de esta manera encontrar y a su vez determinar el porcentaje que logre aportar una mejora a sus propiedades físicas y reológicas ya intrínsecas, y así evidenciar la viabilidad que tendría o no esta nuevo agregado. Cabe resaltar que para llevar a cabo estos ensayos el asfalto debe estar en estado líquido para esto se debe calentar teniendo precaución que su temperatura no supere los 110 ° C, ya que si llega a pasar este perdería algunas de sus propiedades.

**Planteamiento del problema.** En las carreteras, el asfalto es el principal componente debido a que es un material impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Este elemento es tan importante en los pavimentos que se ha buscado modificar con materiales que logren mejorar sus propiedades, presentando un mejor comportamiento a los cambios climáticos y de temperatura. Además, siendo más resistente al envejecimiento, aumentando la capacidad de carga y de soporte, mejoras en las condiciones de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lo cual redunda en una mayor vida útil y en la disminución del espesor de la carpeta de asfalto. Para esto se quiere incluir en el asfalto la ceniza de cascarilla de arroz la cual gracias a sus características de aislante térmico, combustible alternativo entre otras, podría aportar dichas mejoras.

Para lograr obtener la cascarilla de arroz esta debe ser sometida a cierto proceso el cual se observa en la siguiente estructura de la cadena productiva de arroz.

**Fig. 1.** Cadena productiva de arroz.

**Fuente:** Observatorio agrocadena de Colombia.

Según la federación arrocera de Colombia, en el año 2017 en el país se produjeron 2’619.043 toneladas métricas de arroz donde estas generaron aproximadamente 700 mil toneladas métricas de cascarilla de arroz [2], de las cuales cerca de un 15% es aprovechado como combustible y otra poca cantidad como elemento para esparcir en establos, lo que significa que una gran proporción de esta cascara es incinerada sin ningún tipo de utilidad o arrojada a cursos de agua, lo cual repercute negativamente en el ecosistema, dadas las exigentes condiciones que requiere su combustión completa. Por otro lado al darle esta utilidad a la ceniza se logra mitigar este gran impacto ambiental mencionado anteriormente, y se logra aprovechar sus grandes cualidades mecánicas.

1. **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Para iniciar con el proceso de evaluación del comportamiento de la ceniza de cascarilla de arroz como agregado del asfalto, se debe contar con los siguientes elementos:

* Asfalto
* Cascarilla de arroz
* Horno
* Mufla
* Tamiz 0.075
* Grava
* Tarros metálicos
* Picnómetro
* Penetrometro
* Aparato de anillo y bola
* Bandeja
* Recipiente de vidrio
* Viscosímetro rotacional

Primero se obtuvo la ceniza de cascarilla de arroz en una mufla bajo temperaturas que no superaron el rango entre 500 y 700°C, así logrando incinerarlo y evitando su carbonización. La ceniza obtenida se tamizo y las partículas que se utilizaron fueron las que pasaron el tamiz 0,075.

Por consiguiente para poder realizar la respectiva comparación entre los resultados del asfalto convencional y el asfalto modificado, inicialmente se realizaron los ensayos en el convencional, empezando por el ensayo de Peso específico con el picnómetro, Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola, Adherencia en bandeja, Penetración, Stripping y terminando con el de viscosímetro rotacional.

**Preparación de la muestra.**

Para esto se calentó el asfalto bajo temperaturas que no superaran los 110 ° C, evitando así que se perdieran algunas de sus propiedades y procediendo a llevar a cabo cada uno de los ensayos de laboratorio.

Para modificar el asfalto, se calentó una porción del mismo y al observar que su estado estuviera lo más liquido posible se añadió la primera porción de ceniza, siendo del 4% directamente proporcional a la cantidad usada de asfalto. Después, para que esta muestra quedara lo más homogénea posible, se sometió a 20 minutos de mezcla continua. Una vez la muestra estuvo lista, se efectuó cada uno de los ensayos de laboratorio correspondientes. Así para cada uno de los porcentajes siguientes siendo del 4.5%, 5%, 5.5% y 6% respectivamente.

Al culminar todos los ensayos respectivos de cada muestra, estos se compilaron y sus resultados se compararon entre sí, estableciendo que entre más alto fuera el resultado indicaría un incremento en la mejora realizada, esto con la finalidad de determinar si se presentaban mejoras en las propiedades del asfalto al ser modificado y cuál de estos porcentajes añadidos era el más prometedor.

**Ensayos de caracterización del asfalto.**

 **Densidad de materiales bituminosos sólidos y semisólidos (Método del picnómetro)**

Esta prueba se realiza con la ayuda de un picnómetro a el cual se le agrega una cantidad de asfalto, se pesa el picnómetro con la muestra y el volumen restante se suple con agua, se procede a pesar de nuevo el elemento. La densidad de la muestra se calcula a partir de la masa de la muestra y de la masa del agua desalojada por la muestra en el picnómetro lleno. Este ensayo se realizó 4 veces por muestra [3].

 **Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (Aparato de anillo y bola)**

Esta prueba consiste en el sometimiento de la mezcla bituminosa en agua a altas temperaturas por medio del aparato de anillo y bola, con el fin de determinar a qué temperatura se dará la fluencia del material. Este ensayo será realizado tres veces por cada mezcla de asfalto modificado, tomando como resultado final el promedio de los mismos. [4]

 **Adherencia en bandeja**

Para esta prueba se vierte asfalto modificado en una bandeja, pasados unos pocos minutos se adicionan 50 partículas de agregado grueso, las cuales se dejan en el horno a 60°C por 24 horas. Cumplido el tiempo se retira una por una con la ayuda de un alicate y a su vez realizando una prueba visual para clasificar el porcentaje de las rocas que aún tienen asfalto adherido. [5]

** Penetración de los materiales asfalticos**

Este procedimiento se realiza con la ayuda del Penetrometro donde la mezcla está a 25 °C y se mide su consistencia dependiendo de la profundidad de penetración. Se repetirá nueve veces en cada muestra. [6]

 **Cubrimiento de los agregados con materiales asfalticos en presencia del agua**

**(Stripping)**

Por medio de esta prueba se valorara el efecto del agua sobre el la mezcla asfáltica. Para ello se tomará agregado mezclado con asfalto y se sumergirá en agua a 60° C durante 16 horas, al final se visualizara y clasificara el agregado sin desprendimiento del material bituminoso. Este proceso experimental se ejecutara en tres ocasiones por cada mezcla modificada. [7]

 **Método para determinar la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional**

Se pretende medir esta propiedad mediante el viscosímetro rotacional en el cual las muestras deben estar entre 60° a 200° C, donde se realizara tres pruebas por cada mezcla. [8]

1. **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con el fin de poder realizar un análisis de resultados por medio de la comparación de propiedades físicas y reológicas entre el asfalto convencional y los asfaltos modificados, también se realizó la caracterización del ligante sin ningún tipo de agregado, todos los ensayos se realizaron según las normas del Instituto Nacional de Vías (INV-E).

**Gravedad Específica.**

En este ensayo se realizan cuatro repeticiones de la prueba con cada asfalto, con el fin de promediar valores y alcanzar un resultado más preciso. Para el cálculo de la gravedad específica se aplica la siguiente ecuación:

(Ec.1)

Donde:

A = Peso del picnómetro con tapón.

B = Peso del picnómetro con agua.

C = Peso del picnómetro parcialmente lleno con asfalto.

D = Peso del picnómetro con agua y asfalto.

**Tabla 1. Gravedad específica de los asfaltos**

|  |  |
| --- | --- |
| **Gravedad Especifica** | |
|
| Asfalto convencional | 1,02978058 |
| Asfalto Mod. 4% | 1,04355292 |
| Asfalto Mod. 4.5% | 1,04445229 |
| Asfalto Mod. 5% | 1,04794886 |
| Asfalto Mod. 5.5% | 1,05051059 |
| Asfalto Mod. 6% | 1,05300342 |

En la primera columna de la tabla 1 se describe el tipo de asfalto y en la segunda la gravedad especifica respectiva de cada uno.

**Fig. 2.** Comportamiento de la gravedad especifica en función al porcentaje de modificación.

Los puntos azules indican el valor de la gravedad específica de cada porcentaje de modificación, en donde se puede analizar que los valores de la gravedad específica del asfalto aumentan al adicionarles la ceniza de cascarilla de arroz como agente modificante, aunque las variaciones no son tan significativas ya que son menores de 0,03.

**Punto de Ablandamiento.**

**Tabla 2. Punto de ablandamiento de los asfaltos**

|  |  |
| --- | --- |
| **Punto de ablandamiento (°C)** | |
|
| Asfalto convencional | 42,25 |
| Asfalto Mod. 4% | 44,15 |
| Asfalto Mod. 4.5% | 44,75 |
| Asfalto Mod. 5% | 45,03 |
| Asfalto Mod. 5.5% | 46,25 |
| Asfalto Mod. 6% | 48,92 |

La tabla 2 en la primera columna se describe el tipo de asfalto y la segunda la temperatura promedio en el que cada asfalto alcanza el punto de ablandamiento.

**Fig. 3.** Valores de punto de ablandamiento en función al porcentaje de modificación.

En la gráfica se observa una línea horizontal punteada la cual indica el valor del punto de ablandamiento del asfalto convencional, con el fin de tener la referencia con respecto a los valores de los asfaltos modificados, los cuales se pueden observar en las barras verticales.

Analizando los datos se puede deducir que los mejores resultados obtenidos fueron con el porcentaje modificador del 6% el cual evidencia una gran resistencia al calor en comparación con los resultados de los demás ensayos.

**Adherencia en bandeja.**

Durante el ensayo de adherencia en bandeja se obtuvo la siguiente grafica de datos:

**Fig. 4.** Valores de adherencia en bandeja en función al porcentaje de modificación.

Los puntos de color azul de la gráfica demuestran los valores de adherencia en porcentaje con respecto a cada una de las modificaciones y el valor convencional el cual está ubicado sobre el eje 0.

De los ensayos realizados con los diferentes porcentajes modificadores se pudo determinar que el mejor resultado fue con el 6%, obteniendo un 88% de partículas totalmente cubiertas.

**Penetración.**

Esta prueba fue realizada con el asfalto convencional y los modificados a una temperatura de 25° centígrados (temperatura ambiente), después de mínimo 2 horas de enfriamiento. Los resultados promedio del ensayo de penetración fueron registradas en milímetros (mm) y son los siguientes.

**Tabla 3. Valores de penetración**

|  |  |
| --- | --- |
| **Penetración (mm)** | |
|
| Asfalto convencional | 5,50 |
| Asfalto Mod. 4% | 5,42 |
| Asfalto Mod. 4.5% | 5,38 |
| Asfalto Mod. 5% | 5,30 |
| Asfalto Mod. 5.5% | 5,04 |
| Asfalto Mod. 6% | 4,09 |

La tabla 3 demuestra los valores promedio obtenidos en los ensayos de penetración que fueron realizados a cada tipo de asfalto, estos valores están en unidades de milímetros.

**Fig. 5.** Valores promedio de penetración en función al porcentaje de modificación.

En la gráfica se observa una línea horizontal punteada la cual indica el valor de penetración promedio del asfalto convencional, con el fin de tener la referencia con respecto a los valores de los asfaltos modificados, los cuales se pueden observar en las barras verticales.

Por medio de la figura 5 de penetración vs porcentaje de modificación, se puede apreciar más detalladamente que los asfaltos de modificación presentan valores menores de penetración que el asfalto convencional, donde el asfalto modificado al 6% presenta la menor presentación, con un valor pr**o**medio de 4,091 milímetros.

**Stripping.**

El ensayo de Stripping fue una evaluación visual que se le realizó a agregado grueso cubierto de asfalto después de 16 horas de inmersión en agua. La variación en los resultados fue muy leve y los resultados son tomados por evaluación propia. Los datos obtenidos son los siguientes:

**Tabla 4. Valores promedio del ensayo Stripping**

|  |  |
| --- | --- |
| **ENSAYO STRIPPING** | |
|
| Asfalto convencional | 97,6% |
| Asfalto Mod. 4% | 97,9% |
| Asfalto Mod. 4.5% | 98,0% |
| Asfalto Mod. 5% | 98,1% |
| Asfalto Mod. 5.5% | 98,5% |
| Asfalto Mod. 6% | 98,8% |

Al observar los resultados obtenidos se observa una leve mejora en el porcentaje de cubrimiento a medida que el porcentaje de modificación aumentaba, arrojando como mayor porcentaje promedio de cubrimiento de 98.8%.

**Viscosímetro Rotacional.**

Este ensayo fue realizado a 3 muestras por cada porcentaje modificador, desde el asfalto convencional hasta el asfalto modificado con 6% de agregado de ceniza, por lo tanto los resultados arrojados se representan en las siguiente grafica la cual muestra la curva de los valores promedio obtenidos en los tres ensayos realizados:

**Fig. 6.** Curva de viscosidad vs temperatura

La anterior grafica contiene las curvas de viscosidad, las cuales indican el valor de viscosidad de cada asfalto, tanto del convencional como de los modificados, en temperaturas específicas.

Al analizar las curvas se obtiene como resultado que la viscosidad más alta se dio con el porcentaje de modificación del 6 %, mostrando una gran resistencia al calor al cual fue sometido, tomando más tiempo que el asfalto convencional para volverse líquido.

1. **CONCLUSIONES**

**** A partir de la evaluación realizada al asfalto modificado con cenizas de cascarilla de arroz en comparación con el asfalto convencional, se certifica que la modificación en porcentajes de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%, mejora en pequeña porción las propiedades físicas y reológicas del ligante asfaltico, donde el mejor resultado se obtuvo con el asfalto modificado al 6%.

**** Se pudo comprobar con los ensayos de viscosidad realizados en el laboratorio y con evaluación visual, que el asfalto modificado es más viscoso por la adición de las cenizas de cascarilla de arroz.

**** El asfalto 60-70 convencional utilizado durante las pruebas, no cumple con las especificaciones de la norma para los cementos asfalticos.

 En base a los ensayos realizados se llega a la conclusión que la ceniza de cascarilla de arroz con su gran contenido de sílice, es quien aporta al asfalto una mayor resistencia al calor, incrementando su durabilidad.

**REFERENCIAS**

[1] Rodriguez, J. (2006). USO DEL SiO2 OBTENIDO DE LA CASCARILLA DE ARROZ. Aca*demia Colombiana de Ciencia*, 581-594.

[2] Fedearroz. (Febrero de 2018). *Fedearroz.* Obtenido de http://www.fedearroz.com.co/new/apr\_public.php

[3] Instituto Nacional de Vías, INVE-707-13. (s.f.). • DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO). Obtenido de ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/SECCIONES%20700%20Y%20800%20(primera%20parte).pdf

[4] Instituto Nacional de Vías, INVE-712-07. (s.f.). PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSO. Obtenido de file:///D:/User/Desktop/Monografia/Norma%20INV%20E-712-07%20P.%20de%20ablandamiento.pdf

[5] Instituto Nacional de Vía, INVE-740-07. (s.f.). ADHERENCIA EN BANDEJA. Obtenido de file:///D:/User/Desktop/Monografia/Norma%20INV%20E-740-07%20Adherencia%20en%20bandeja.pdf

[6] Instituto Nacional de Vías, INVE -706-07. (s.f.). PENETRACION DE LOS MATERIALES ASFALTICOS. Obtenido de file:///D:/User/Desktop/Monografia/Norma%20INV%20E-706-07%20Penetracion.pdf

[7] Instituto Nacional de Vías, INVE-737-07. (s.f.). CUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS CON MATERIALES ASFÁLTICOS EN PRESENCIA DEL AGUA (STRIPPING). Obtenido de file:///D:/User/Desktop/Monografia/Norma%20INV%20E-737-07%20Stripping.pdf

[8] Instituto Nacional de Vías, INVE-717-07. (s.f.). MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL. Obtenido de file:///D:/User/Desktop/Monografia/Norma%20INV%20E-717-07%20Viscosidad.pdf