

IAG309-06-2013
EFFECTO DE LA CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
EFEITO DA ADIÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS

IVONNE ALEJANDRA GUTIÉRREZ GÓNGORA
Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
ivonnegutierrez@unb.br

FERNEY QUIÑONEZ SINISTERRA
Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
ferquisi@hotmail.com

Resumen

La cascarilla de arroz se ha convertido en el principal desecho del proceso de molinería de arroz en el mundo, sus características hacen de este material un desperdicio de alta complejidad en el medio, lo que implica a su vez que el manejo de la cascarilla de arroz se ha convertido en un grave problema que le corresponde tanto a cultivadores, como a productores de arroz, requiriendo de un manejo adecuado para este desperdicio a corto y largo plazo. En esta investigación se ha empleado la ceniza obtenida en el proceso de incineración de la cascarilla de arroz, como material de aporte en el diseño de una mezcla asfáltica densa en caliente. Como parte de los estudios realizados, fueron evaluadas las propiedades físico-mecánicas de la mezcla, determinando el cumplimiento de los requerimientos establecidos en las normas colombianas para pavimentación, verificando la estabilidad, flujo, densidad y vacíos. Como estudios complementarios, fueron realizados ensayos de espectroscopia de infrarrojo por transformada rápida de Fourier. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que el máximo porcentaje a utilizar de ceniza de cascarilla de arroz como remplazo del llenante convencional, corresponde a 50% en peso, debido a que al efectuar la sustitución en porcentajes superiores se presentan reducciones significativas de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Resumo

No mundo, a casca de arroz tem se tornado o principal resíduo gerado no processo de produção do arroz. As características deste material dificultam a sua disposição no meio ambiente, ocasionando assim, um grave problema para os agricultores e produtores de arroz. Tal resíduo requer tratamento adequado, tanto em curto como em longo prazo. Neste estudo, foram utilizadas as cinzas de casca de arroz como adição em uma mistura betuminosa usinada a quente, obtidas a partir do processo de combustão da casca de arroz. Como parte das atividades realizadas nesta pesquisa, foram avaliadas as propriedades, física e mecânica, da mistura, a fim de verificar se a

mesma possui os requisitos estabelecidos nas normas colombianas sobre pavimentação, tais como: estabilidade, fluxo, densidade e vazios. Foram realizados também ensaios complementares como espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier. Os resultados sugerem que a porcentagem máxima de cinza de casca de arroz, a qual pode ser empregada na mistura betuminosa como filler, corresponde a 50%, em peso. Para porcentagens superiores a esta, observaram-se reduções significativas na resistência mecânica da mistura asfáltica.

1. INTRODUCCIÓN

Existen diferentes alternativas para el uso de cascarilla de arroz, las cuales han sido estudiadas a nivel nacional e internacional. Estas son investigaciones que en su gran mayoría no han llegado hasta la etapa de implementación a gran escala, razón por la cual, no se cuenta con información real del total de cascarilla de arroz consumida en cada alternativa. Villena (2009), utilizó ceniza de cascarilla de arroz como sustituto en diversas proporciones del agregado mineral en un concreto hidráulico utilizado para pavimento rígido, evaluando propiedades como resistencia a la compresión, resistencia a tracción y módulo de elasticidad. Los resultados encontrados mostraron que hay una significativa mejora en las propiedades estudiadas, llevando a concluir que con la adición de este material es posible disminuir las cantidades de cemento empleadas, además de ser una solución amigable para el medio ambiente. Otro estudio realizado por Kumar (2010), utiliza cascarilla de arroz, junto con cal y suelo para obtener una mejora en la resistencia del material de subrasante de un pavimento, además de encontrarle un uso a un material que existe en grandes volúmenes. También Osinubi et al (2011), usaron ceniza de cascarilla de arroz en pavimentos reciclados como el propósito de emplear este material para bases y sub bases para pavimentos flexibles, obteniendo una considerable mejoría en las propiedades mecánicas del mismo.

En la literatura existen pocos estudios acerca de la utilización de residuos en mezclas asfálticas, pero con el objetivo de conocer más acerca del tema y de darle un uso adecuado a la cascarilla de arroz, en este trabajo se optó por emplear su ceniza como filler en una mezcla asfáltica. Siendo posible obtener un análisis detallado de la mezcla asfáltica convencional elaborada con adición de cascarilla de arroz incinerada como material de aporte, por medio de diseños Marshall realizados en laboratorio para diferentes porcentajes de ceniza. A las mezclas asfálticas realizadas, se les evaluó sus propiedades físico-mecánicas, además se les realizó ensayos químicos para lograr determinar la interacción química entre la cascarilla de arroz incinerada y el cemento asfáltico.

2. MATERIALES

Para la presente investigación fue utilizada cascarilla de arroz producida como desecho de proceso de molienda del arroz en el departamento del Tolima, además fueron empleados agregados pétreos procedentes del Río Coello y el cemento asfáltico procedente de la refinería de Barrancabermeja (Colombia).

2.1 Cascarilla de Arroz

La cascarilla requerida fue tomada directamente de su lugar de acopio, luego del grano de arroz entero haber pasado por el proceso de molienda, puesto que este producto corresponde al desecho final de dicho proceso.

Posteriormente fue almacenada en empaques especiales para su manipulación y transporte; con el propósito de ser conducido y almacenado a un lugar fresco y libre de humedad. La cascarilla de arroz fue sometida a un proceso de caracterización química, los resultados son mostrados a continuación en las Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico total de la cascarilla de arroz

Elemento	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cu	Zn	B	Cenizas	SiO ₂
Unidad	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%
Contenido	0,55	0,09	0,3	0,125	0,11	0,13	500	4	22,5	7	12,5	11

Para efectos de obtener un material similar al llenante convencional, fue incinerada la cascarilla de arroz a una temperatura superior a los 700 °C, posteriormente se dejó enfriar una muestra representativa, para separarla por el tamiz # 200, para obtener un material de granulometría similar a la del filler convencional. En la tabla 2 son mostrados los resultados de la caracterización química de la ceniza de cascarilla de arroz.

Tabla 2. Análisis químico de la ceniza de cascarilla de arroz

Elemento	Cl	TiO ₂	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Composición	0,05%	0,05%	0,41%	94,10%	0,12%	0,85%	0,95%	2,10%	0,11%	0,06%

Entre los porcentajes más relevantes de la composición química de la cascarilla de arroz, se encuentran las cenizas y la sílice, siendo esta ultima el principal componente que no sufre disociación al quemarse.

Es importante destacar que al quemar la cascarilla de arroz se obtiene un cambio notorio en la composición mineral, eliminándose elementos tales como carbono y permaneciendo constantes y en mayores proporciones compuestos como sílice. Estos cambios químicos se producen cuando se incinera la cascarilla a temperaturas constantes, oscilando entre los 800- 1500°C.

2.3 Cemento Asfáltico

Para la ejecución de este trabajo, se eligió un asfalto de penetración 60 – 70 proveniente de la refinería de Barrancabermeja (Colombia) de acuerdo a los criterios de selección del ligante presentes en las especificaciones de la norma para pavimentos colombiana. En la Tabla 3 son mostrados los resultados de la caracterización física del asfalto empleado.

Es posible concluir de acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 3, que el cemento asfáltico utilizado, está de acuerdo a las especificaciones Colombianas para la elaboración de mezclas asfálticas.

De igual manera, se halló la afinidad que presenta el ligante asfáltico con el agregado pétreo al realizar los ensayos de adherencia en bandeja y Stripping, los cuales fueron satisfactorios y mostraron el buen comportamiento que puede tener el agregado dentro de la mezcla asfáltica. Por último es importante destacar que el asfalto utilizado es adecuado para las condiciones climáticas de la zona elegida de acuerdo con valores de referencia encontrados en Arenas, 2007.

Tabla 3. Caracterización física agregados pétreos

Ensayo	Temperatura (°C)	Resultados
Penetración (1/10 mm)	25	61
Peso específico g/cm ³	25	1,009
Punto de ablandamiento (°C)	~	46
Índice de penetración	~	-0,56
Viscosidad Absoluta Brookfield (cP)	60	2262
Adherencia en bandeja %	~	84
Stripping %	~	> 95
Pérdida de Masa en Película Fina (%)	163	0,173

Es posible concluir de acuerdo a los resultados presentados el cemento asfáltico utilizado, está de acuerdo a las especificaciones Colombianas para la elaboración de mezclas asfálticas.

2.3 Agregados Pétreos

Los resultados de la caracterización física son presentados a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización Física Agregados Pétreos

Propiedad	Agregado grueso	Agregado fino	Filler	Ceniza cascarilla de arroz
Peso específico aparente (kN/m ³)	25,91	26,9	-----	-----
Gravedad específica(Gs)			27,6	22,7
Absorción (%)	0,95	0,76	-----	-----
Porcentaje de caras fracturadas (%)	81	-----	-----	-----
Desgaste Maquina de los Angeles (%)	23,26	-----	-----	-----
Equivalente de arena (%)	-----	67	-----	-----

2.4 Caracterización Química del Asfalto

Se hicieron ensayos para analizar la composición química del asfalto tanto original como envejecido y el comportamiento que presentaba el mismo con adición de cascarilla de arroz incinerada. La técnica empleada, corresponde a espectroscopia de infrarrojo por transformada

rápida de Fourier (IR), teniendo en cuenta que el fundamento de la técnica se basa en la absorción de energía por parte de la molécula, la cual vibra constantemente: sus enlaces se alargan y se contraen o sufren flexión unos con respecto a otros. A continuación, en la Figura 1 se presenta el espectro del Asfalto de penetración 60-70 después del ensayo de película delgada.

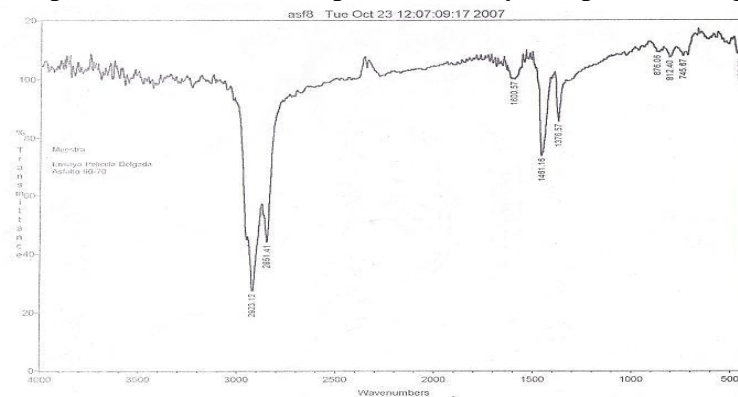


Figura 1. Espectro IR del asfalto 60-70 (residuo ensayo de película delgada)

De acuerdo al espectro obtenido, solo es posible identificar plenamente las bandas de la fracción saturada del asfalto (vibraciones C-H), aunque a diferencia del espectro de la muestra de asfalto con adición de ceniza de cascarilla de arroz que se presentara posteriormente, se puede diferenciar las bandas correspondientes a la fracción metálica o pesada del asfalto así como las bandas de iones de azufre y de los grupos aromáticos. Se aprecia la profundización de las bandas comprendidas entre 2930 – 2850 indicativo de los grupos funcionales saturados propio del proceso de envejecimiento a que fue sometido el asfalto, (Torres, 2001).

En el estudio también se realizó una espectroscopia al asfalto con adición de ceniza de cascarilla de arroz (Figura 2), luego de ser sometido a un proceso de envejecimiento por medio del ensayo de película delgada, al igual que el asfalto en estado original.

Al igual que el espectro del asfalto sin adición de ceniza de cascarilla de arroz, las bandas más representativas son las pertenecientes a la fracción saturada (tensión, flexión oscilación C-H), también aparece la absorción de la fracción aromática aunque sus bandas son difíciles de identificar. Las bandas pertenecientes a la ceniza de cascarilla pueden estar solapadas con las pertenecientes a la fracción aromática del asfalto y a la absorción metálica del mismo, lo que dificulta su identificación. Fue posible apreciar bandas entre 810 – 730 se aprecian polares aromáticos que contribuyen en la adherencia en el mástico. En última instancia se ven grupos de asfaltenos que ayudan a aumentar la resistencia.

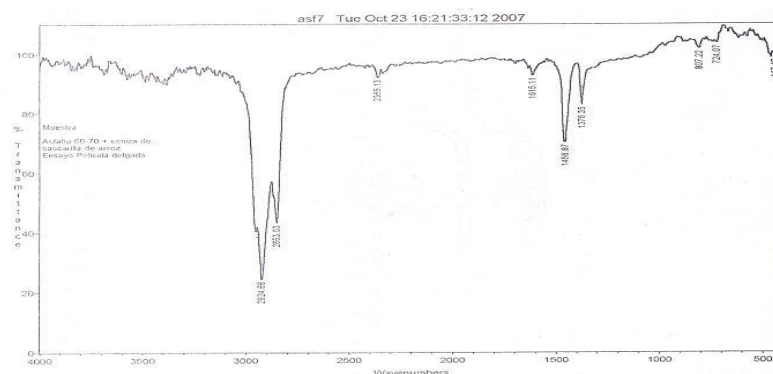


Figura 2. Espectro realizado al Asfalto 60-70, más adición de ceniza de cascarilla de arroz, luego de envejecido mediante ensayo de película delgada

2.5 Caracterización Química de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

Fue ejecutada la caracterización química de la ceniza de cascarilla de arroz por medio del ensayo de espectroscopia de infrarrojo por transformada rápida de Fourier, obteniendo el resultado presentado a continuación en la Figura 3.

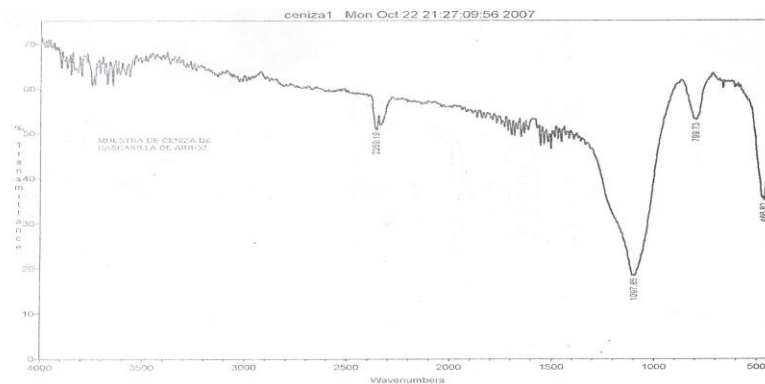


Figura 3. Espectro IR a la cascarilla de arroz incinerada

En el espectro IR de la Figura 3, aparecen las bandas características de las vibraciones de los enlaces de Si-O, a 1600 cm^{-1} , 1097 cm^{-1} , 799 cm^{-1} y 466 cm^{-1} . No hay presencia de bandas de material orgánico debido a las altas temperaturas a la que fue sometida inicialmente la muestra. Adicionalmente se observa un espectro propio de la sílice, caracterizado por una banda ancha entre $1100 - 900\text{ cm}^{-1}$ aproximadamente, este rango corresponde al Si-O. También es posible apreciar dos bandas comunes de la sílice amorfa entre $795 - 800\text{ cm}^{-1}$.

2.6 Diseño Mezclas Asfálticas Metodología Marshall

Se elaboró inicialmente un diseño Marshall de referencia el cual no contenía cascarilla de arroz incinerada como material de aporte, posteriormente se realizaron cuatro diseños Marshall cada uno de ellos efectuando la sustitución del llenante minera, en porcentajes de 25% - 50% - 75% - 100% con respecto al peso total del llenante de mineral.

2.6.1 Diseño de Mezcla Asfáltica de Referencia

El diseño de la mezcla asfáltica de referencia fue realizado con agregado pétreo y cemento asfáltico, con el objetivo de obtener resultados referencia y poder determinar que parámetros se alteran con la adición del nuevo material. Los resultados obtenidos son presentados en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados diseño Marshall de referencia

% Asfalto	Estabilidad (KN)	Peso específico Bulk (kN/m ³)	Flujo (mm)	% V _v	% VAM	% VLL
-----------	------------------	---	------------	------------------	-------	-------

4,0%	10,78	21,85	3,28	10,30%	17,98%	42,68%
4,5%	12,36	22,74	3,79	5,99%	15,10%	60,34%
5,0%	13,19	23,06	3,82	3,98%	14,37%	72,27%
5,5%	13,48	23,19	4,14	2,74%	14,33%	80,91%
6,0%	12,9	23,17	4,45	2,09%	14,83%	85,89%
6,5%	11,63	23,26	4,5	1,04%	14,98%	93,06%

2.6.2. Análisis de las Propiedades Mecánicas de la Mezcla con Adición de Ceniza Cascarilla de Arroz

Para realizar un análisis comparativo entre las diferentes mezclas con adición de cascarilla incinerada y la mezcla de referencia, se muestran los resultados obtenidos mediante de los incrementos presentados en cada porcentaje de asfalto de los diferentes parámetros analizados. En la Figura 4, se presenta la variación de la estabilidad con diferentes incrementos de asfalto y ceniza de cascarilla de arroz.

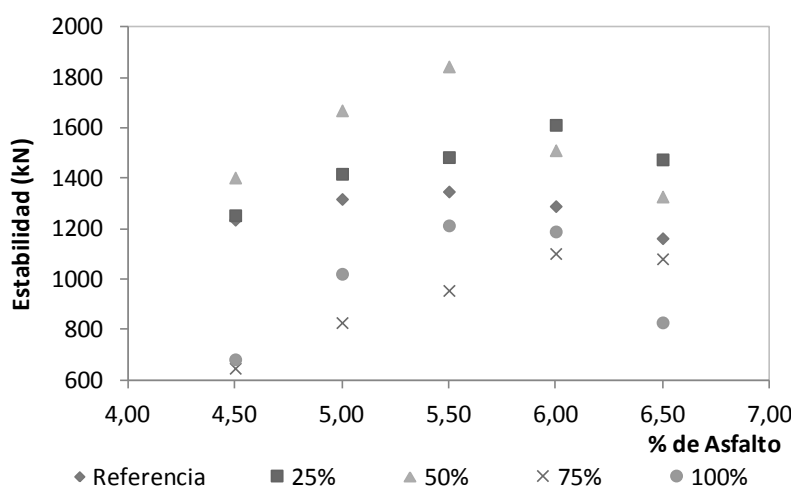


Figura 4. Análisis de estabilidad Marshall

De acuerdo a los resultados de estabilidad obtenidos, con los diferentes incrementos de porcentaje de asfalto y cascarilla, se puede observar un aumento progresivo en la estabilidad, al reemplazando cascarilla de arroz incinerada entre el 0% y 50% del peso total del llenante mineral. También es posible determinar que realizar una adición de este material en proporciones mayores al 50% ocasiona un descenso notable en la estabilidad, hasta obtener valores inferiores a los encontrados en la mezcla de referencia.

Los resultados de las variaciones del peso específico bulk, son presentados a continuación en la Figura 5.

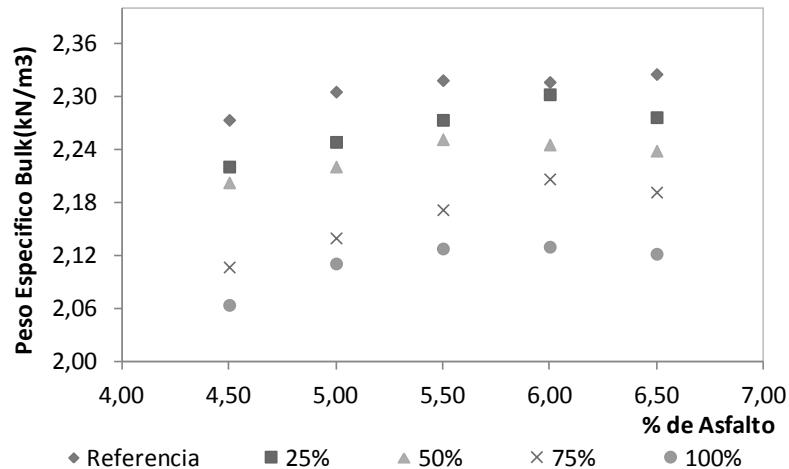


Figura 5. Análisis Peso Especifico Bulk

En los resultados se evidencia que a medida que se reemplaza el llenante convencional por la cascarilla de arroz, la mezcla se vuelve menos densa.

En la Figura 6 son presentados los resultados de Volumen de Vacios encontrados para cada una de las mezclas elaboradas.

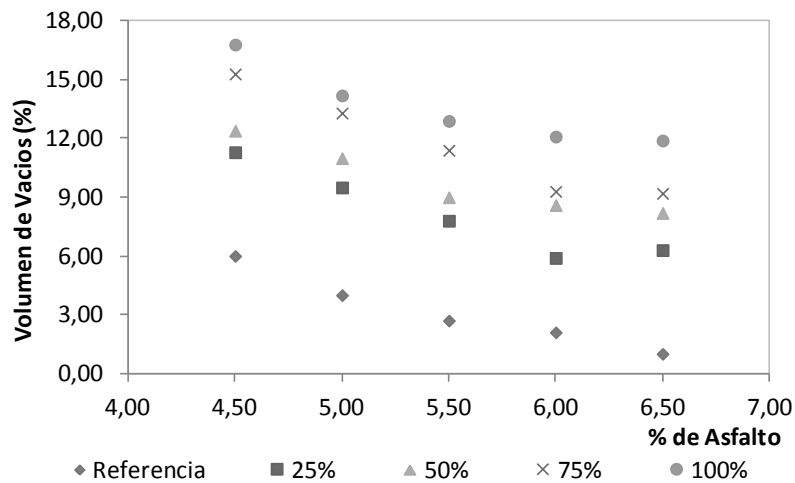


Figura 6. Análisis Volumen de Vacios Vv

En el anterior gráfico se detallan crecimientos en el volumen de vacios de las mezclas con adición de ceniza de cascarilla de arroz con respecto a la mezcla asfáltica de referencia. Igualmente se aprecia que a medida que se aumenta el porcentaje de ligante asfáltico, el volumen de vacios tiende a disminuir un poco. Lo que ratifica que este ligante se encuentra ocupando los espacios inter-particulares de la mezcla, además de cubrir cada una de las partículas del agregado mineral en su mayoría.

A seguir en la Tabla 6 se presenta un resumen de los valores de algunas propiedades de las mezclas asfálticas elaboradas con adición de ceniza de cascarilla de arroz, para valores de porcentajes óptimos de asfalto encontrados.

Tabla 6. Resultados diseño Marshall para las adiciones de ceniza de cascarilla de arroz.

Mezcla Asfáltica	% Optimo	Estabilidad (kN)	Peso Especifico Bulk (kN/m3)	Volumen de Vacíos V _v (%)	Flujo (mm)	Volumen de vacíos en el agregado mineral VAM (%)
Referencia (0% de Ceniza de Cascarilla de Arroz	5,37	1472	2,33	2,27	4,24	13,92
25 % de Ceniza de Cascarilla de Arroz	5,95	1613	2,30	5,89	4,32	15,11
50% de Ceniza de Cascarilla de Arroz	5,6	1844	2,25	9,04	4,65	18,6
75 % de Ceniza de Cascarilla de Arroz	6,3	1080	2,19	9,22	4,75	19,11
100 % de Ceniza de Cascarilla de Arroz	5,7	1190	2,13	12,15	4,90	20,75

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 6, es posible apreciar claramente la presencia de un aumento de la estabilidad para un porcentaje del 50% de adición de ceniza de cascarilla de arroz y un porcentaje de asfalto de un 5.6%. El incremento presentado corresponde a un 36.8 % de resistencia con respecto a la muestra de referencia.

Mas resultados acerca de la investigación pueden ser encontrados en Góngora et al, 2007.

3. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo, es posible destacar que:

- La implementación de la cascarilla de arroz incinerada es una alternativa viable para darle uso a un material que presenta volúmenes excesivos y de difícil manejo para el sector arrocero.
- La mezcla asfáltica que mejor comportamiento presento, fue la que tuvo una adición del 50 % de ceniza de cascarilla de arroz, para la cual fue necesario 5,6 % de cemento asfáltico. Esto se debe principalmente a la forma, superficie específica, granulometría, composición mineralógica y afinidad química entre el ligante asfáltico y la cascarilla de arroz incinerada.
- Al adicionar cascarilla de arroz en una mezcla asfáltica se observa la presencia de grupos funcionales en la composición del asfalto, tales como Naftenos y Polares Aromáticos que contribuyen al mejoramiento de la adherencia entre el ligante y el agregado pétreo. Adicionalmente se observó la aparición de grupos de Asfaltenos en las bandas de los espectros IR, causantes de un aumento de la resistencia de la mezcla.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arenas, 2007. Tecnología del Cemento Asfáltico. Universidad del Cauca.

Góngora, G. I.A, Ceballos, M. C. (2007). Incidencia de la ceniza de cascarilla de arroz en el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional, empleando agregado pétreo procedente del río Coello (Tol). Trabajo de grado ingeniería civil. Universidad de Ibagué.

Kumar T.P.(2010). Influence of lime on Alluvial Soil Strengthened with Pond Ash and Rice Husk Ash for Construction of Subgrade of Road. Proceedings of the GeoShanghai 2010 International Conference.

Osinubi, K.J, Edeh J., Agada J. (2011). Rice Husk Ash Stabilization of Reclaimed Asphalt Pavement. Journal of ASTM International, Vol. 9, No. 1.

Torres, 2001. Conferencia: “Carta de referencia para estudiar la composición química de los asfaltos colombianos mediante espectroscopia infrarroja por transformada rápida de Fourier”. XIII simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos.

VILLENA, J. (2009). Estudo da influência da adição da cinza de casca de arroz nas propriedades do CCR (Concreto Compactado com Rolo) para seu uso em pavimentos compostos, Dissertação de mestrado, UFSC Brasil.