

Efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash* en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente tipo III

Victoria Valera, Luis Romero, Cezar García y Gabriela Carruyo.

Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.
Maracaibo, Venezuela.

Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia.
Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: vickyvalerohart@hotmail.com; ladrianr198@gmail.com; cgarcia@uru.edu y gabcarruyo@gmail.com

Recibido: 04-02-2020 Aceptado: 17-09-2020

Resumen

En el trabajo de investigación presentado se enfocó en determinar el efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash* en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente tipo III, haciendo variaciones de 5% p/p de ceniza con respecto a la arena, se utilizó la metodología Marshall para evaluar las briquetas elaboradas en el laboratorio, se realizaron 5 briquetas por diseño, se mezclaron los agregados pétreos con la ceniza de *oil fly ash* incluida y el cemento asfáltico a temperatura constante para obtener una mezcla homogénea, se pesaron 1200g de mezcla dentro del molde y realizó la compactación dando 75 golpes por cara, una vez las briquetas se encontraron frías se determinaron las propiedades Marshall. Al realizar dichos ensayos se observó que en la densidad a medida que se aumentaba el %p/p de *oil fly ash* disminuía, de igual forma al evaluar la estabilidad de las mezclas se observó un ligero aumento de estabilidad al 5% modificado y luego un decrecimiento de la estabilidad a medida que seguía aumentando el %p/p de *oil fly ash*, en cuanto a la fluencia de las mezclas no presentaba un comportamiento predecible en los porcentajes evaluados.

Palabras claves: Mezcla asfáltica, cenizas volantes, bitumen, Método Marshall, MAC tipo III.

Effect of the substitution of sand by oil fly ash on the Marshall properties of a hot asphalt mixture type III

Abstract

In the research work present, it focused on determining the effect of the substitution of sand by oil fly ash on the Marshall properties of a hot asphalt mix type III, making variations of 5% w/w of ash with respect to the sand, the Marshall methodology was used to evaluate the briquettes elaborated in the laboratory, 5 briquettes were made by design, the stone aggregates were mixed with the ash of oil fly ash included and the asphaltic cement at constant temperature to obtain a homogeneous mixture, 1200g of mixture were weighed inside the mold and the compaction was carried out giving 75 blows per face, once the briquettes were cold we proceeded to determine the property Marshall. When performing these tests, it was observed that in the density as the % w / w of oil fly ash increased, similarly, when evaluating the stability of the mixtures, a slight increase in stability at 5% modified and then a decrease in stability was observed as the % w / w of oil fly ash continued to increase. As for the creep of the mixtures, it does not show predictable behavior in the percentages evaluated.

Key words: Asphalt mix, fly ash, bitumen, Marshall Method, MAC type III.

Introducción

Los cambios climáticos que se están viviendo en nuestros días afectan a la infraestructura vial de ciudades y pueblos en general. Se hace necesaria la búsqueda de nuevos materiales o modificaciones de los existentes para aportar al desarrollo vial de la población. En el argot popular se dice que un país se conoce por su infraestructura vial, y es aquí en donde se propondrá una nueva forma de modificación del asfalto para sustituir arena por *oil fly ash* en las propiedades Marshall de una mezcla asfáltica caliente

tipo III. Los estudios sobre los asfaltos modificados llevan más de 30 años trabajándose. Entre otros se ha estudiado la adición de polímeros de tipo elastómero y plastómero los cuales logran mejorar algunas de sus propiedades tales como la estabilidad pero como contraparte se tiene un alto costo en la fabricación de los mismos originando que la implementación de éstos no se pueda generar para todo tipo de proyecto. (Reyes y otros 2007).

En nuestro país se ha visto una tendencia de aumento del número de ejes equivalentes y cargas suministradas por el paso del tráfico pesado, lo cual genera en las carpetas asfálticas mayores esfuerzos y deformación. Por tal razón, este estudio pretende encontrar una alternativa de solución a las necesidades existentes para poder mejorar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de los asfaltos con la intención de aumentar la resistencia y la rigidez utilizando un material sobrante de las centrales termoelectricas, conocidas por el nombre *oil fly ash*, las cuales son cenizas sobrantes de la combustión. A lo largo de este trabajo se evaluaron los cambios que una mezcla en caliente tipo 3, presentó con la adición de cenizas al asfalto en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%. De esta manera, se aportó una opción de un material para asfaltos y se contribuyó a la aplicación de una solución al problema de contaminación ambiental generado por la posible inadecuada disposición de este producto. La hipótesis es proveer una metodología alternativa para la construcción de carpetas asfálticas.

Fundamentos Teóricos

Método de Marshall

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El ensayo Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple. Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas. (Garnica Aguas et al., 2004).

Cenizas volantes

Cenizas volantes son un producto el cual resulta de la combustión del fuel *oil* o del carbón pulverizado en la producción de energía en plantas termoeléctricas. Las partículas de ceniza son generalmente de un tamaño menor a 200 μM , tiene una alta resistencia mecánica una gama de densidades entre 0,6 y 3 gr/cm^3 , un punto de fusión superior a 10.000°C, baja conductividad térmica, y son en la mayoría de los casos químicamente inertes. (Herrera Galvis, 1999)

La mayoría de las cenizas volantes apropiadas para la construcción provienen del carbón que es utilizado en la combustión en plantas eléctricas. En este proceso el carbón es primero pulverizado o triturado a un grado específico de finura y luego mezclado con el aire caliente y soplado dentro de una cámara generadora que se enciende inmediatamente para calentar los tubos de la caldera, los componentes orgánicos del carbón son quemados casi inmediatamente, dejando la mayor parte de ceniza inorgánica como subproductos. (Herrera Galvis, 1999)

Parte Experimental

Caracterización físico química de las muestras de bitumen, *oil fly ash* y de los agregados pétreos que utilizaran en las mezclas.

Como primera actividad se determinó la viscosidad cinemática, viscosidad dinámica, punto de inflamación y la penetración del cemento asfáltico ac-30 suministrado por PDVSA, siguiendo la metodología descrita en la NORMA COVENIN, posterior eso se hicieron los análisis granulométricos a las muestras de arena, *oil fly ash*, polvillo y piedra, haciendo pasar la muestra por unos tamices de diferentes tamaños utilizando un agitador mecánico para agilizar la separación de las partículas de diferentes tamaños y así poder determinar el porcentaje que pasa por cada tamiz. Antes de realizar este ensayo se deben lavar todos los agregados para eliminar todos los residuos de arcilla y material orgánico que puedan estar presentes.

Determinación del %p/p máximo con el que se puede dosificar las mezclas

La determinación del %p/p máximo con el cual se podía dosificar la mezcla se realizó mediante la observación de las mezclas al ir sustituyendo la arena por la ceniza, ya que las mezclas asfálticas en caliente son totalmente homogéneas. De tal manera que al observar que la mezcla no sea homogénea se sabrá que ese porcentaje de ceniza con el cual se dosifico la mezcla fue demasiado para que se logre una buena adherencia entre los agregados y el cemento asfáltico, que para cada uno de los diseños es el mismo (5,5%). Se harán variar los porcentajes de ceniza en rangos de 10% hasta que la mezcla no sea homogénea.

Determinación de las propiedades Marshall de las mezclas preparadas.

Para la determinación de las propiedades Marshall se realizaron nuevas asfálticas esta vez haciendo variar el porcentaje de ceniza en un rango menor con la finalidad de poder observar los fenómenos que ocurren de una mejor forma. Esta vez se hicieron variar los % sustituidos en 5%. Se realizan las nuevas mezclas y se compactaran las briquetas para poder realizarles los ensayos de estabilidad, densidad y flujo. Apenas se enfrían las briquetas se determina la densidad de mezcla, mientras que para determinar la estabilidad y flujo se dejó reposar las briquetas por 5 días para que expulsara los gases atrapados por la compactación. La medida de la densidad real y el peso específico "BULK" de las briquetas puede hacerse tan pronto como las briquetas se enfrían a temperatura ambiente.

$$\text{Densidad real de la briqueta} = \frac{\text{peso en el aire}}{\text{volumen total de la briqueta}} \quad (1)$$

Peso específico “BULK”= densidad real de la briqueta/densidad del agua (2)

El volumen total de la briqueta se puede determinar por varias formas la más común que se puede utilizar es aplicando la siguiente ecuación para determinar el volumen de un cilindro

Para la determinación de la estabilidad y flujo se introducen las briquetas en un baño de baria a 90°C por 40 min, luego se colocan en la prensa Marshall, se coloca el indicador de flujo en 0, y se activa la prensa hasta que llegue al punto de falla, donde se deben leer ambos valores. Este ensayo se hace con todo el juego de briquetas para sacar un promedio. Es recomendable tener ayuda al momento de realizarlos ya que se tienen que observar ambas lecturas.

Comprobar que las mezclas preparadas cumplan con las especificaciones para una mezcla asfáltica caliente tipo III

El posible uso que se le pueda dar a la mezcla depende fuertemente de las propiedades Marshall evaluadas anteriormente, estas propiedades se compararan con las NORMAS COVENIN, donde se muestran las especificaciones de diferentes mezclas asfálticas en calientes y así como su funcionalidad ya sea carpeta base, carpeta intermedia y/o carpeta de rodadura. En este caso se compararan con los de carpeta de rodadura ya que esta es la que corresponde a una mezcla asfáltica caliente tipo III.

Análisis de resultados

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización del cemento asfáltico ac-30 despachado por PDVSA.

Tabla 1 Características fisico-químicas del bitumen

Características del tipo de cemento asfáltico original	Valor reportado
Viscosidad cinemática a 135°C, mm ² /s	412
Viscosidad dinámica a 60°C, poise	2464
Penetración a 25°C, mm	60
Punto de inflamación, °C	276

Posterior a eso, se realizaron los análisis granulométricos de las muestras de bitumen, *oil fly ash* y agregados pétreos utilizados para elaborar las mezclas asfálticas. Pero, debido a que se está evaluando el efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash* nos resulta de comparación de estas granulometrías. En la Figura 1 se observó las diferencias entre ellas.

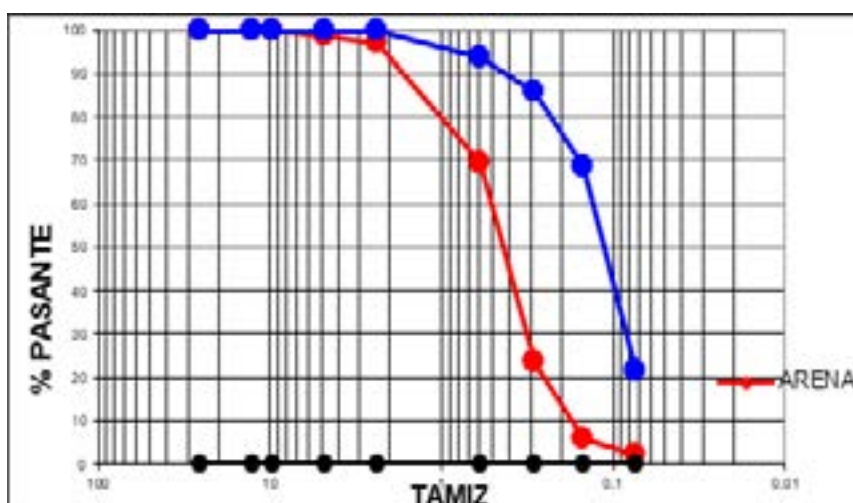


Figura 1. Granulometría arena con respecto a cenizas (% pasante)

Donde, el eje de las ordenadas representa el %pasante, mientras que en las abscisas se muestra en escala logarítmica el tamaño de los tamices (Figura 1). Se puede observar que el tamaño de partículas de la arena es mucho mayor que la de la ceniza, se nota una diferencia considerable entre el porcentaje pasante desde el tamiz N°30(0.59mm) hasta el N°200(0.074mm).

La Tabla 2 muestra los porcentajes de arena sustituido por *oil fly ash* con los que se comenzaron a preparar las mezclas para la determinación del porcentaje máximo con el cual se puede dosificar la mezcla asfáltica caliente tipo III.

Tabla 2. % p/p sustituido por ceniza con respecto a la arena.

Mezcla	1	2	3	4	5
% p/p sustituido	10%	20%	30%	40%	50%

Después de haber planteado los porcentajes (Tabla 2), se comenzó la preparación de cada una de ellas, se pudo observar que al aumentar el porcentaje de ceniza de 20% a 30% no se pudo conseguir una mezcla asfáltica homogénea, ya que para el porcentaje de cemento asfáltico planteado (5,5%) no era suficiente para lograr una buena adherencia entre los agregados, las cenizas y el líquido, este resultado desfavorable se le atribuye a las características granulométricas de las cenizas *oil fly ash*. Se elaboró una mezcla sustituyendo el 25% de arena por ceniza para observar si se obtenía una mezcla homogénea pero no se consiguió. Por lo que se tomó como tope 20% de arena que podía ser sustituida por *oil fly ash*.

La Tabla 3 muestra los nuevos diseños de mezclas para la determinación de las propiedades Marshall, esta vez haciendo variar los % p/p en un rango más pequeño para poder conseguir una mejor apreciación de los diferentes fenómenos que se presentan.

Tabla 3. Dosificación de las mezclas elaboradas.

Mezcla	1	2	3	4	5
%C.A	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
%arena	32	30.4	28.8	27.2	25.6
%ceniza	0	1.6	3.2	4.8	6.4
%piedra	26	26	26	26	26
%polvillo	42	42	42	42	42
%p/p que representa	0	5	10	15	20

Posterior a haber planteados los diseños (Tabla 3), se elaboraron las mezclas, se compactaron las briquetas y se dejaron enfriar para la determinación de la densidad, estabilidad y flujo.

En la Figura 2 se observó los valores de estabilidad en función del porcentaje de arena sustituido por *oil fly ash*, destacándose una ligera elevación de los valores de estabilidad al aumentar de 0% a 5% sustituido (Figura 2) aumento favorable ya que tiene que existir un valor más elevado de esfuerzo para que exista el punto de rotura. Mientras que al seguir aumentando la ceniza estos valores de estabilidad van decreciendo por lo que se dice que la mezcla comienza a perder la capacidad de soportar carga y hace que llegue al punto de falla más rápido, lo que no es recomendable si se tomara en cuenta para la aplicación que se le da.

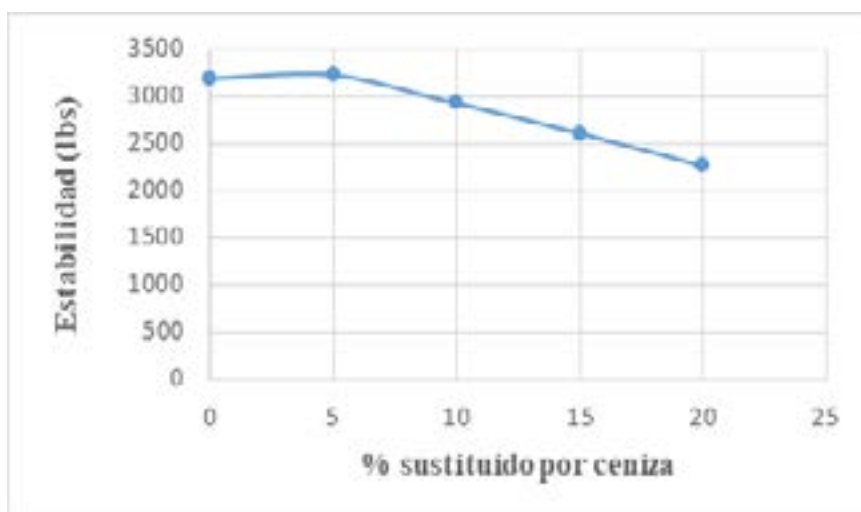


Figura 2. Estabilidad de mezcla en función del % sustituido por *oil fly ash*

La Figura 3 muestra los valores de fluencia en función del porcentaje sustituido, se observó que hay un decrecimiento desde 0% hasta 10% y luego un crecimiento brusco hasta el 20% sustituido, esto se debe a que la mezcla al ser modificada con mucha cantidad de ceniza hace que esta se vuelva una mezcla más débil acreditándose esto a la granulometría de la ceniza, ya que aporta mucho a los agregados finos quitándole rigidez a la mezcla, se puede decir que a partir del 15% sustituido esta mezcla es blanda. Ahora si se observan los valores desde 0% hasta 10% pueden ser valores permisibles, sin embargo al dosificarse con un primer 5% de ceniza esta propiedad mejora, haciendo que la mezcla sea un poco más rígida, seguirá siendo pavimento flexible pero con un valor de fluencia mejorado.

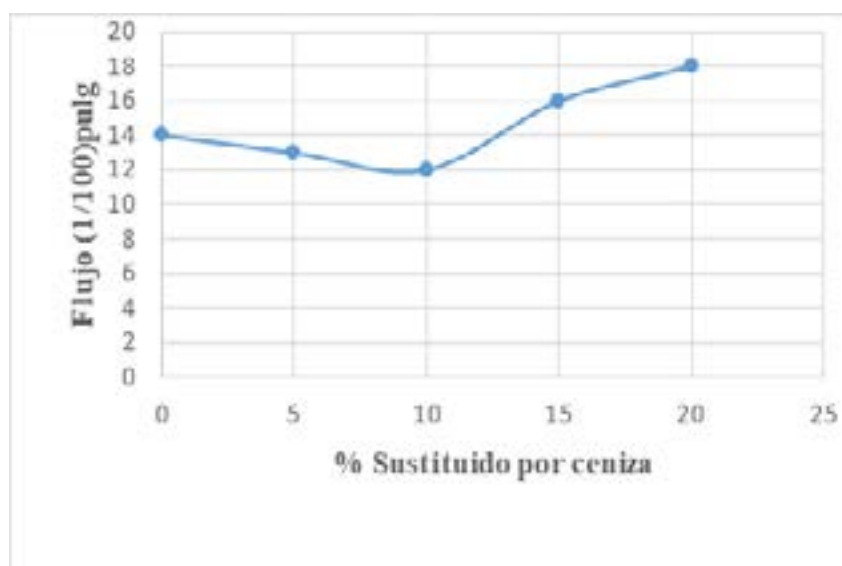


Figura 3. Fluencia de mezcla en función del % sustituido por *oil fly ash*

La Figura 4 muestra los valores de densidad en función del % sustituido por *oil fly ash*, se observa a lo largo de todas las dosificaciones un decrecimiento considerable de la densidad, este fenómeno sigue acreditándose a la granulometría de la ceniza, ya que de por si estas cenizas son muy poco densas y sustituirlas por arena ocasiona que la densidad de la mezcla también baje.

Ahora bien, al analizar la densidad con respecto al porcentaje sustituido, se observó que el mejor valor de densidad obtenido fue cuando se dosifico la mezcla con un 5%, ya que apporto un valor de den-

idad más aproximado a la mezcla original tipo III que representa a la de 0% y no es tan baja, hay que añadir a esto, que la estabilidad y fluencia dependen directamente de la densidad de la mezcla.



Figura 4. Densidad de mezcla en función del % sustituido

Una vez determinadas las propiedades se compararon los valores con los establecidos en la NORMA COVENIN, donde se especifica que una vez seleccionada el tipo de granulometría, que en nuestro caso es la tipo 3, y determinado el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, que en nuestro caso se mantuvo fijo en 5,5%, las mezclas tenían que cumplir con lo señalado por norma.

Tabla 3. Parámetros de aceptación de carpetas según NORMA COVENIN 12-10

Uso de la mezcla asfáltica	Estabilidad Marshall (en lb)	Flujo 1/100 pulg	%de vacíos de la mezcla
Rodamiento	1.200 min	8-16	3-5
Intermedia	1.000 min	8-16	3-7
Base	900 min	8-16	3-8

Fuente: (COVENIN, 1987:2000)

La Tabla 3 muestra las especificaciones según la norma para cada uno de los diferentes usos que se le da a las mezclas asfálticas, teniendo esto se compararon los valores obtenidos con los establecidos en la norma.

La Figura 5 muestra la comparación de los valores de estabilidad obtenidos y los especificados para una carpeta de rodamiento

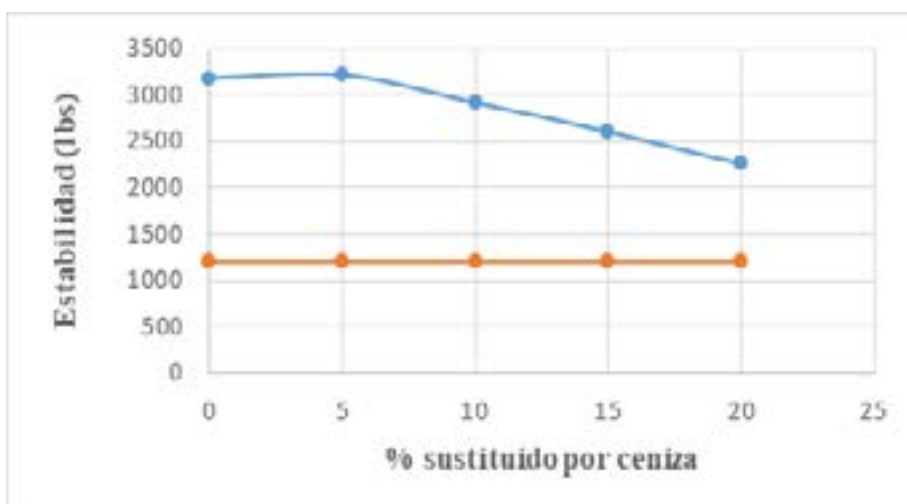


Figura 5. Relación entre estabilidad calculado con los especificados en norma

Se observó que (Figura 5), la estabilidad satisface en todo momento la especificación mínima de estabilidad para carpetas de rodadura, por lo que si solo dependiera de estabilidad, tomar una elección para darle un posible uso a las mezclas preparadas se pudiera escoger cualquier diseño planteado.

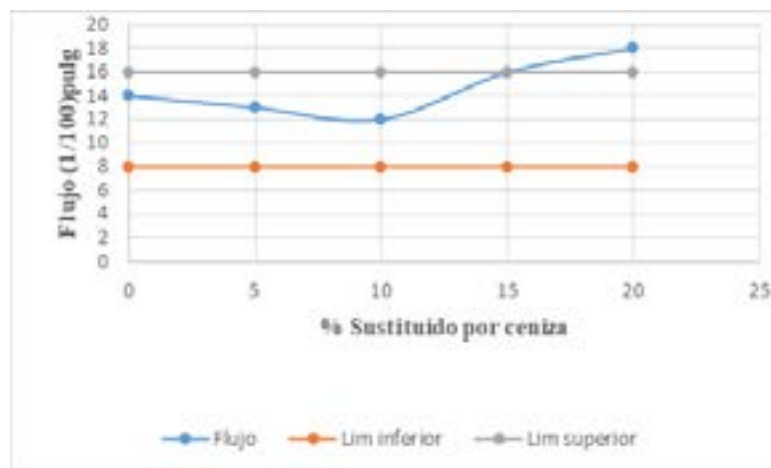


Figura 6. Relación entre el flujo calculado y requisitos de norma.

Sin embargo, se observaron los valores de fluencia en comparación de los especificados en la norma (Figura 6), se observa que hasta el porcentaje de 15% cumple con lo especificado, no obstante, el valor de flujo para 15% de ceniza queda en el límite superior por lo que no se sugiere tomar en cuenta ese diseño, porque a pesar que este dentro del límite es una mezcla blanda y no ofrece las mejores propiedades de calidad ya que para el porcentaje del 15% la estabilidad está por encima del mínimo pero no es la más alta, al igual que la densidad que igual ha disminuido con respecto a porcentajes más bajos.

Por lo que si se toman en cuenta todas las propiedades evaluadas las cuales son densidad, estabilidad y flujo en cual el porcentaje de cenizas que ha sido modificada presenta resultados favorables, se tendría que optar por la de 5% que fue la que proporciono mejores resultados, esta mezcla asfáltica con 5% de ceniza con respecto a la arena se puede implementar como Mezcla Asfáltica Caliente tipo III que es un pavimento flexible, en la actualidad es uno de los pavimentos más comerciales que hay ya que su uso fundamental es para asfaltado en vías principales que tienen un alto tráfico y soportan cargas pesadas.

Conclusiones

- Al modificar las mezclas con un 30% p/p de *oil fly ash* no se pudo preparar una mezcla homogénea, esto se debe a que era demasiado agregado fino para la cantidad de cemento asfáltico que tenía establecida la mezcla asfáltica caliente tipo III.
- Al elaborar mezclas modificadas con 5% ,10% ,15% ,20% de *oil fly ash* se pudieron obtener mezclas homogéneas, sin embargo se tomó 20%p/p como tope máximo con el que se puede dosificar la mezcla original.
- A medida que el % p/p de *oil fly ash* aumentaba la densidad fue disminuyendo, esto no es un resultado favorable ya que la estabilidad y flujo tienen relación con la densidad de mezcla.
- El flujo se mantuvo en el rango permisible por la Norma COVENIN hasta que la mezcla se modificó con un 15% donde se obtuvo un valor de fluencia que se ubicó en el límite superior indicando una mezcla muy blanda.

- Al evaluar los valores de estabilidad en función del %p/p modificado se obtuvieron resultados que satisfacían en todo momento los requisitos mínimos de la NORMA COVENIN.
- Se observó que al modificar la mezcla original con un 5% se obtuvo un crecimiento en el valor de estabilidad con respecto a la de 0% modificado, resultado favorable ya que está agregando más capacidad de resistencia al esfuerzo.
- Los resultados de efecto de la sustitución de arena por *oil fly ash*, satisfacen los requisitos mínimos de la norma hasta la sustitución del 20% donde la fluencia sale del rango permisible.
- La mezcla modificada que presento mejores resultados fue la de 5%, esta es la que se debería tomar en cuenta para la fabricación de una mezcla asfáltica caliente tipo III a nivel industrial.
- En la actualidad se producen un poco más de 7875 toneladas de pavimento tipo III al mes por lo que se puede aprovechar aproximadamente 126 toneladas de cenizas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Reyes, F., Figueroa, A. y Sanchez, A. Caracateirzación física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. Epsilon, Julio- Diciembre, Núm. 009, pág. 41-45, Universidad de la Salle, Bogotá Colombia. (2007).
- [2] Garnica, P., Delgado, H. y Sandoval, C. Análisis comparativo de los métodos Marshall y superpave para compactación de mezclas asfálticas. Publicación Técnica 271. Instituto Mexicano del Transporte. (2005).
- [3] Herrera, L. Utilización de las cenizas volantes en el concreto. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana. Coolombia. (2009).
- [4] Norma COVENIN N° 424-91 “Petróleo crudo y sus derivados. Determinación de la viscosidad cinemática y cálculo de la viscosidad dinámica”
- [5] Normas Venezolanas COVENIN. Sector construcción especificaciones. Codificación y Mediciones. Parte 1: Carreteras. FONDONORMA, Venezuela. (2000).
- [6] Norma COVENIN N° 372-97 “Productos derivados del petróleo. Determinación del punto de inflamación y fuego método Cleveland de copa abierta”
- [7] Norma COVENIN N° 4105 “.” Materiales bituminosos. Método de ensayo para determinar la penetración”