ANALISIS COMPARATIVO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO III ADICIONANDO POLVO DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS USADOS, MEDIANTE UN PROCESO HÚMEDO

Comparative análisis of a type III asphaltic mixture by adding rubber powder of used tires throogh a humid process

Carlos Ortiz
Dirección de contacto : Carretera Nacional Cumaná-Cumanacoa. Km 5, Sectro Las Charas. Cumaná, estado Sucre, Venezuela. ortizcordovaotmail.com

Abstract
A type III asphaltic mixture was analyzed comparatively by adding rubber poder of used tires, through a humid process. In order to achieve this goal, rubber poder was characterized by a granulometric analysis using the normal distribution statistical method; the dynamic behavior of the asphalt-rubber mixture was analyzed by the Marshall method stated in the Covenin 2000-87 norm for roads; by determining the adequate percentage of rubber in the modified mixture through a statistical analysis; for this, rubber percentages of 5%, 10% and 15% were stablished at 150ºC and 170ºC. Granulometry obtained was 1,6mm diameter, and it was used for the analyses included in the norm; this determined that 5% of rubber addition at 170ºC temperatura results a mixture with better properties, such as: flexibility increase, fissure appearance delay and impermeability increase.

KeyWords: asphalt, modified asphalts, rubber[1]

[1] Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre, Venezuela. Ingeniero Químico, M.Sc en Gerencia Ambiental. Profesor Agregado DE. Correo: ortizcordova@hormail.com

ANALISIS COMPARATIVO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO III ADICIONANDO POLVO DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS USADOS, MEDIANTE UN PROCESO HÚMEDO

Resumen
Se analizó en forma comparativa una mezcla asfáltica tipo III adicionando polvo de caucho de neumáticos usados, mediante un proceso húmedo. Para llevar a cabo este fin se caracterizó el polvo de caucho por medio de un análisis granulométrico empleando el método estadístico de distribución normal; se analizó el comportamiento dinámico de la mezcla asfalto-caucho por el método Marshall establecido en la Norma COVENIN 2000-87 para carreteras; determinándose el porcentaje adecuado de caucho en la mezcla modificada mediante un análisis estadístico. Para lo cual se establecieron porcentaje de caucho de 5%, 10% y 15% a 150 ºC y 170 ºC. Se obtuvo una granulometría de 1,6 mm de diámetro, la cual fue empleada para los análisis contemplados en la norma, obteniendo que a 5% de adición de caucho a una temperatura de 170 ºC resultó una mezcla con mejores propiedades tales como: aumento de la flexibilidad, retardo de la aparición de fisura y aumento de la impermeabilidad.

Palabras clave: asfalto, asfaltos modificados, caucho

Introducción

Cada año, millones de neumáticos son desechados en todo el mundo. El principal inconveniente con los neumáticos usados es su disposición final, dado que la mayoría de ellos terminan en sitios inadecuados o en vertederos clandestinos. El almacenamiento ocupa un espacio considerable, aparte del peligro por la posibilidad de incendios y además por ser un terreno ideal para la proliferación de roedores e insectos que a menudo son transmisores de enfermedades. La quema directa provoca graves problemas ambientales ya que produce emisión de gases que contienen partículas nocivas para el ambiente. En los vertederos, imposibilitan la compactación y ocasionan problemas de estabilidad por degradación química parcial que sufren, generando inseguridad en los mismos.

Se ha estimado que un 80% de los neumáticos desechados proceden de automóviles o camionetas, un 20% de los vehículos pesados, y alrededor del 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción y vehículos especiales.

En las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos, se pueden incorporar una parte importante del caucho de contenido en los neumáticos desechados. La adición de caucho proveniente de neumáticos a las mezclas asfálticas es una forma de reciclar tales desechos y mejorar las propiedades del pavimento. Las mezclas asfálticas modificadas con caucho permiten obtener un pavimento con mejores respuestas a los cambios térmicos, así como también se aumenta la resistencia a la fisuración por fatiga y al envejecimiento, aumentando la vida útil del pavimento y disminuyendo los costos de mantenimiento. Por otro lado, el incorporar caucho a las mezclas, reduce el nivel de ruido generado por el tráfico al contacto con el pavimento y ayuda a la preservación del medio ambiente al reciclar los neumáticos.

La solución al problema que plantean los neumáticos fuera de uso, pasa necesariamente por la búsqueda de vías capaces de valorizar adecuadamente este residuo bajo condiciones económicas aceptables y en cantidades suficientes como para hacer frente al elevado número de toneladas que se generan anualmente.

Por las razones antes expuestas se propone analizar comparativamente una mezcla asfáltica tipo III adicionando polvo de caucho, para minimizar el almacenamiento directo de neumáticos usados, utilizando como método un proceso húmedo.

Objetivos

Para llevar a cabo esta meta se trazaron los siguientes objetivos:
Caracterizar granulométricamente el caucho proveniente de neumáticos usados.
Comprobar que la curva granulométrica obtenida por la combinación de los agregados cumplan con lo establecido en la Norma Covenin 2000-87 Parte I carreteras parágrafo 12-10.

Determinar el comportamiento dinámico de una mezcla asfalto-caucho, mediante el método Marshall establecido en la Norma Covenin 2000-87 de acuerdo a: Peso específico de la mezcla, densidad, vacíos totales, vacíos minerales, vacíos llenados, estabilidad y flujo.

Determinar el porcentaje adecuado de caucho-asfalto de la mezcla modificada, mediante un análisis estadístico.

Metodología

Para realizar el estudio de la incorporación de caucho mediante vía húmeda fue necesario partir de una mezcla patrón, con el fin de comparar la variación de las propiedades de esta mezcla al añadirle diferentes porcentajes de caucho. Tanto la mezcla patrón, como en las mejoradas con caucho, se utilizaron los mismos materiales pétreos y cemento asfáltico. Se trabajó a porcentajes de 5%, 10% y 15% con las temperaturas de 150 ºC y 170 ºC.

Preparación del cemento asfaltico-caucho.

Se calentó en un envase metálico el cemento asfaltico con 5% de caucho y temperatura de 150 ºC, mezclándose a una velocidad de 720 RPM en un período de 30 minutos. De igual manera se preparó el ligante para 10% y 15% de caucho a una temperatura de 170 ºC.

Preparación de la mezcla.

En el mismo envase metálico donde se preparó el ligante se añadió los agregados previamente calentados a 150ºC ó 170ºC, (Dependiendo a la temperatura de trabajo)

Se mezcló por un periodo de 15 seg para la adherencia del agregado con el asfalto modificado.

Método de ensayo para determinar las propiedades marshall.

El procedimiento para la aplicación del método Marshall se inicia con la preparación de las muestras (elaboración de briquetas) para su ensayo.

Se colocó el molde caliente en una mesa y se sitúo en su fondo el papel parafinado o papel de filtro. Se vertió 1200 gr de la mezcla en el molde, removiendo con la espátula 15 veces en el interior, y se aliso la superficie de la mezcla hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de mezclado antes de la compactación estuvo a 136 ºC (cuando la mezcla se preparó a una temperatura de 150 ºC) y 155 ºC (cuando la mezcla se preparó a una temperatura de 170 ºC).

Se colocó el molde de mezcla sobre el pedestal de compactación (martillo) y se aplicó el número necesario de golpes de compactación.

Se quitó del molde el collar de extensión y se invirtió el molde con la briqueta sobre la placa de base, se volvió a colocar el collar y se aplicó el mismo número de golpes en el lado contario de la briqueta.

Finalizada la compactación se removió la placa de base, y se dejó enfriar la briqueta hasta que no se produjo deformación al sacarla del molde. Reservándola para su posterior caracterización.

Resultados

Para el estudio estadístico de las partículas de un lecho se asumió que la distribución aleatoria (al azar) está bien representada por la ley de Gauss, la cual proporciona una relación entre el valor del carácter estudiado y su frecuencia. En la figura 4 se observa que mediante este método se obtuvo un diámetro de 1,6 mm, para las partículas de caucho, las cuales fueron las que se utilizaron para tal estudio, ya que la cantidad de partículas retenidas en el tamiz # 30 fue mayor, con una frecuencia relativa de 66,6 %. En la tabla 1 se observa el resultado de la granulometría del polvo de caucho.

Tabla 1 Granulometría del Caucho

Tamiz Usado	Peso(g) Retenido Acumulado	% Pasante	Diámetro (di`)	Frecuencia Relativa (Xi)	Abertura del tamiz
Nº 4	19,8	93,4	2,37	6,6	4,74
Nº 8	20,2	93,3	3,55	6,7	2,36
Nº 30	**200**	**33,4**	**1,48**	**66,6**	**0,60**
Nº 50	34,1	88,6	0,45	11,4	0,30
Nº 100	17,6	94,1	0,23	5,9	0,15
Nº 200	6,3	97,9	0,11	2,1	0,074

En la figura 1 se puede visualizar que la muestra patrón (A la cual no se le adicionó caucho) le fue agregado un % de cemento asfáltico de 5,3 y el resto de agregados. Las muestras calentadas a 150 ºC reportan 4,9% de cemento asfáltico (Mezcla con 5% de caucho), 4,7% de cemento asfáltico perteneciente a la mezcla con 10% de caucho y 4,4% de cemento asfáltico perteneciente a la mezcla de 15% de cemento. Para las muestras calentadas a 170 ºC se reportaron los mismos porcentajes de cemento asfáltico para cada una de las muestras con 5%, 10% y 15% de caucho.
Se puede deducir que en la medida que el porcentaje de caucho aumentaba en la mezcla, se requería menos cantidad de cemento asfáltico y la variación con respecto a la temperatura es la misma para los distintos porcentaje, La temperatura no interfiere en la variación de cemento asfaltico ya que el caucho ocupa la cantidad restante de este y a alta temperatura este aditivo se vuelve un medio poroso absorbiendo el cemento asfáltico, evitando que no se queme y mantenga la misma cantidad. Cabe destacar que según las normas COVENIN 2000-87 Parte I carreteras Parágrafo 12-10, el cemento asfaltico sin aditivo (Como es el caucho) no puede exceder a la temperatura de 165 ºC ya que tiende a quemarse y perder calidad.

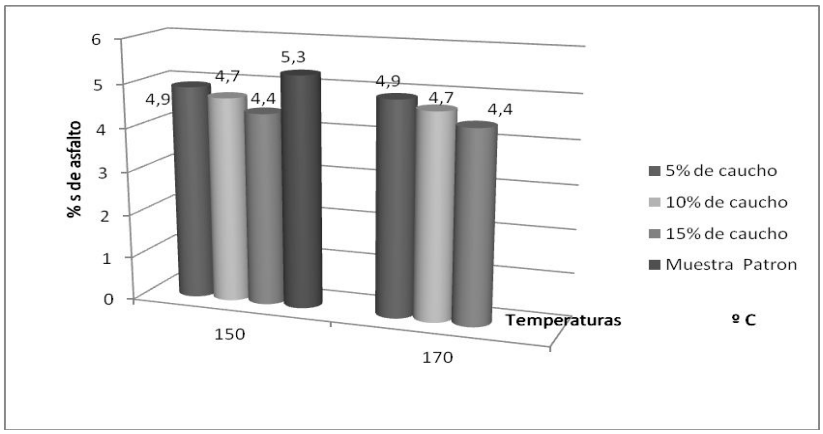

Figura 1 Variación del % de cemento asfaltico respecto a la temperatura de mezclado a distintos porcentajes de adición de caucho.

En la figura 2 se observa que la muestra patrón obtuvo una densidad de 2347 gr/m³, valor alto en comparación a las mezclas con aditivo de caucho, a 5% a la temperatura de 150ºC se obtuvo 2235gr/m³ valor mayor a la de 170ºC que es 2228 gr/m³, en el gráfico las mezclas a temperatura de 150ºC son mayores a la de 170ºC, esto puede ser debido a que a mayor temperatura el caucho suele ser mas viscoso y al aumentar esta propiedad disminuye su densidad, también se observa que a menor porcentaje de caucho mayor es la densidad, esto puede deberse a que hay mayor cantidad de cemento asfáltico y tiende a ser más denso. En la muestra de 15% de caucho a 150ºC se obtuvo 2166 gr/m³ y para 170ºC se obtuvo 2080 gr/m³. Hubo una gran diferencia, aquí puede haber sido por la cantidad de caucho agregada a la mezcla y la poca cantidad de cemento asfaltico 4,4% observándose un mínimo valor de la densidad.
Cabe destacar que al aumentar la proporción de caucho y la temperatura a la mezcla, la densidad disminuye; esto puede ser, que mayor temperatura la mezcla modificada tiende a ser más viscosa ya que los granos de caucho actúa como un espesante y al interactuar con el cemento asfaltico se hinchan y se ablandan por la absorción de aceites aromáticos, los cuales son componentes químicos del cemento asfáltico que le dan la consistencia para que sea trabajable, las partículas hinchadas se vuelven pegajosas, desarrollándose propiedades adhesiva, a medida que se reducen los aceites aromáticos que lubrican la mezcla y se observa un aumento del volumen y por ende disminuye la densidad.

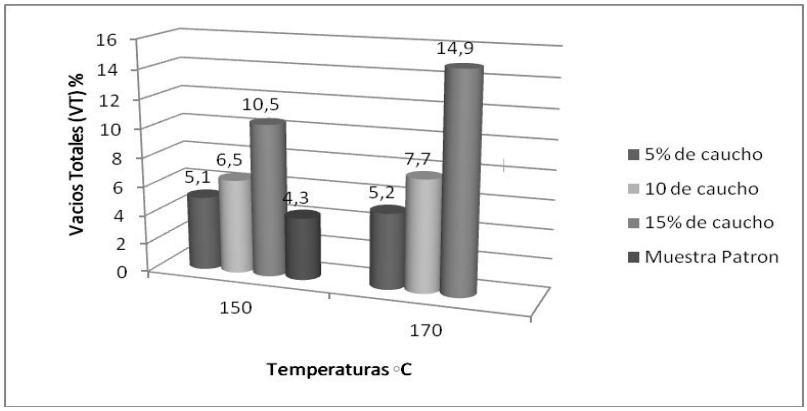

Figura 2. Variación de la densidad respecto a la temperatura de mezclado a distintos porcentajes de adición de caucho

Para un 5% de adición de caucho se obtuvo un valor de 5,1% de vacíos totales a una temperatura de 150 ºC y 5,2% a 170 ºC, se puede observar en la figura 3 que los vacíos totales de estas mezcla se sale en un mínimo grado según las especificaciones de las propiedades de las mezclas 3% - 5% para un 4,9% de cemento asfáltico, sin embargo, por razones prácticas y/o económicas puede aceptarse hasta un mínimo absoluto del 2% ; lo que se asegura que en la mezcla hay suficiente cemento asfáltico para cubrir los espacios vacíos que ocupa el aire. Para un 10% a una temperatura de 150 ºC arrojó 6,5% y 7,7% para 170 ºC, a 15% de adición de caucho se obtuvo un valor de 10,5% y 14,9% a 150 ºC y 170 ºC respectivamente, se observa claramente que los vacíos totales aumentan considerablemente, puede ser a que se disminuye el porcentaje de cemento asfáltico para las diferentes temperaturas como también la densidad, lo que puede ocasionar que el agua y el aire pueden acceder rápidamente hacia la mezcla, y se acelere el proceso de oxidación produciendo el fenómeno de transformación de las resinas de asfáltenos; perdiéndose gran parte de la ductibilidad y adherencia del cemento asfaltico, es decir, un envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica. Si la disminución del cemento asfaltico es muy grande como en el caso de un 15% de adición de caucho la mezcla puede tiene una tendencia a la fragilidad ya que se reduce el espesor de la película de ligante sobre cada partícula de agregado.

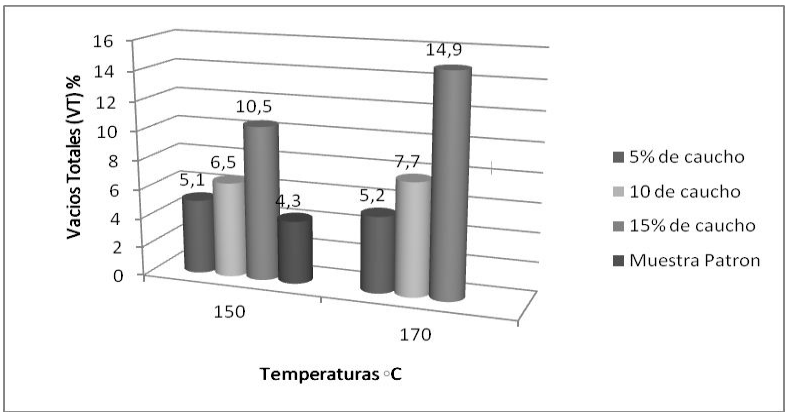

Figura 3. Variación de los vacíos totales respecto a la temperatura de mezclado a distintos porcentajes de adición de caucho.

En la figura 4 se observa que la muestra patrón presentó un valor de VAM de 16,3% para una temperatura de 150 ºC, mientras que para 5% de adición de caucho a una temperatura de 150 ºC arrojó un valor de19, 9 % y 15,8% a 170ºC, teniendo una diferencia de 4,1% de VAM. Para una temperatura de 150 ºC a 10% de caucho se obtuvo un valor de 20,5% y 21,1% para una temperatura de 170 ºC con 0,6 % de diferencia entre ambos, mientras que para 15% de adición de cemento a 150 ºC y 170 ºC reportó un valor de 22% y 25,9% respectivamente con un grado de diferencia de 3,1%. Cabe destacar que según las normas COVENIN 2000-87 Parte I Carreteras Parágrafo 12-10, los vacíos de agregados minerales deben encontrarse dentro los límites especificados para las propiedades de la mezclas cerca del valor ≥ 13%.
Para un 5% a una temperatura de 170 ºC el contenido de vacios de agregados minerales se encuentran entre los límites de las propiedades de las mezclas, lo que es favorable para la compactación de esta, ya

que hay un buen contacto entre cada partícula de agregados. Para un 10% y 15% el VAM aumentan considerablemente esto puede ser debido a que se tiene un menor porcentaje de cemento asfáltico, no hay un contacto adecuado entre las partículas de los agregados y la cantidad de finos en este caso el caucho no es suficiente para llenar los espacios vacios que ha dejado el cemento asfaltico.

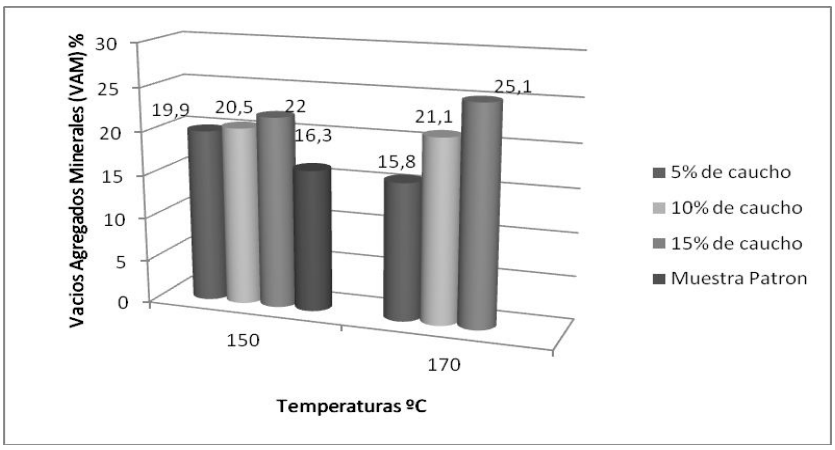

Figura 4. Variación de los vacios agregados minerales respecto a la temperatura de mezclado a distintos porcentajes de adición de caucho

En la figura 5 se puede observar que se obtuvo una estabilidad de 2087 lb mientras que para un 5% a una temperatura de 150 ºC arrojó un valor de 4579 lb y para el mismo porcentaje a una temperatura de 170 ºC un valor de 5115 lb ,mientras que para un 10% de caucho a 150 ºC y a 170 ºC arrojaron los valores de 3317 lb y 3125 lb respectivamente, para un 15% de adición de caucho a una temperatura de mezclado de 150 ºC la estabilidad disminuyó a 2141 lb y a 170ºC arrojó un valor de 2222lb , es apreciable que todas las mezclas al adicionar caucho aumenta la estabilidad en comparación a los límites de las propiedades de las mezclas en la Norma COVENIN 2000-87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12-10 donde se dice que una mezcla asfáltica debe poseer una estabilidad $\geq$ 1800 lb, entre mayor sea ésta mejores propiedades se tendrá en el pavimento.

En la adición de 5% a una temperatura de 150 ºC y 170 ºC se pude constatar que la estabilidad aumenta en consideración a la muestra patrón, ya que al tener una cantidad adecuada de asfalto para reaccionar con el caucho permite envolver los agregados con películas más gruesas de cemento asfaltico sin que se produzcan escurrimientos o exudaciones; mejorando el contacto partícula a partícula con una mejor resistencia al corte y una permeabilidad baja. Al incrementar la proporción de caucho disminuye la estabilidad; como ocurre en el caso de 10% y 15 %, esto puede ser debido a que no posee alta fricción interna para resistir las deformaciones causadas por las cargas impuestas ya se va disminuyendo la cantidad de asfalto y la densidad disminuye al agregar caucho a la mezcla.

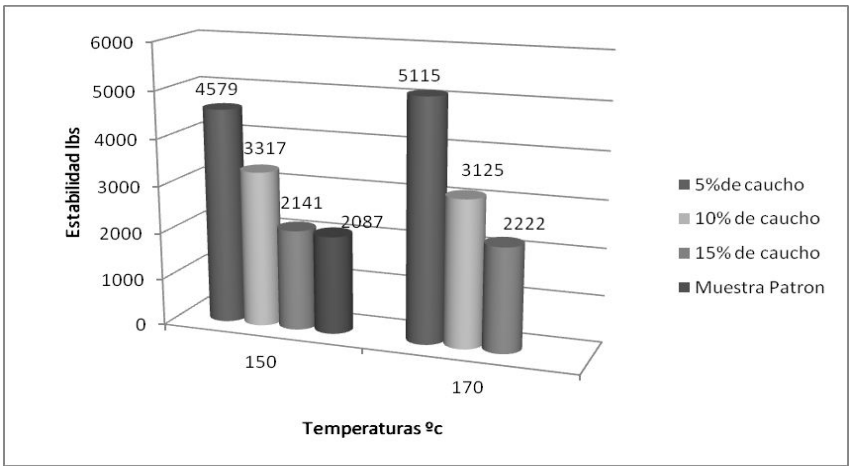

Figura 5 Variación de la estabilidad respecto a la temperatura de mezclado a distintos porcentajes de adición de caucho.

En la figura 6 se puede observar gráficamente la variación del flujo con respecto a la temperatura de mezclado donde se visualiza que la muestra patrón (sin caucho) posee un flujo de 13 pulgadas, a un 5% de caucho; calentado a una temperatura de 150 ºC se tiene 11pulgadas y para una temperatura de 170 ºC un flujo de 12 pulgadas mientras que a un 10% de caucho a 150 ºC se obtuvo un valor de 10 pulgadas, de igual manera ocurrió para una temperatura de 170ºC y para un 15% de adición de caucho arrojó un valor de 9 pulgadas a una temperatura de 150 ºC este mismo flujo se obtuvo para una temperatura de 170 ºC. Cabe destacar que el flujo representa la deformación en cuartos de milímetros, que ocurre desde el instante en que se aplica la carga hasta lograr la carga máxima. Se aprecia en la figura 11 que la fluencia disminuye a medida que aumenta el porcentaje de caucho, esto se debe a que se disminuye el cemento asfaltico y cuando se tiene bajos contenidos de ligante en una mezcla mejorada con caucho estos son insuficientes para proporcionar una buena cohesión, junto a esto hay que decir que al aumentar la proporción de caucho este no reacciona con el cemento asfaltico, por lo que es más relevante el comportamiento elástico del caucho.

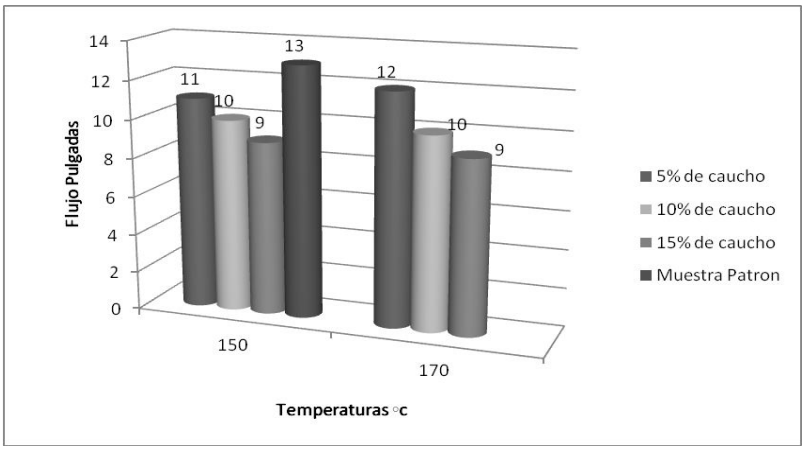

Figura 6 Variación del flujo respecto a la temperatura de mezclado a distintos porcentajes de adición de caucho

Conclusiones

De acuerdo la granulometría el diámetro de partículas de caucho obtenido mediante el la distribución normal o campana de Gauss y empleado para la realización de las muestras a 5%, 10% y 15% de adición de caucho fue de 1,6mm.

Las combinaciones de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla patrón (sin caucho) y a distintos porcentajes de caucho (5%, 10% y 15%) se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma COVENIN 2000- 87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12 – 10.

Para la elaboración de la mezcla patrón se utilizo 5,3% de cemento asfaltico, mientras que para 5%, 10% y 15% de adición de caucho se utilizó 4,9%, 4,7% y 4,4% de cemento asfáltico respectivamente.

Para una muestra patrón la densidad se encontró a 2347 gr/ cm³, para un 5% de caucho a una temperatura de 150 ºC y 170 ºC las densidades arrojaron valores de 2235 gr/ cm³ y 2228 gr/ cm³ respectivamente. Para un 10% de caucho a 150 ºC se obtuvo un valor de la densidad de 2215 gr/ cm³ y a 170 ºC 2205 gr/ cm³ y por último a 15% de caucho a 150 ºC resulto como valor de la densidad 2166 gr/ cm³ y a 170 ºC un valor de 2080 gr/ cm³.

Los vacíos totales que se encontraron en la muestra patrón fueron de 4,3%. Para un 5% de caucho a 150 ºC y 170 ºC se obtuvo valores de vacíos totales de 5,1% y 5,2% respectivamente, mientras que para 10% de caucho a una temperatura de 150 ºC arrojó un valor de 6,5% y a 170 ºC un valor de 7,7% y para 15% de adición de caucho a 150 ºC y 170 ºC se obtuvieron valores de 10,5% y 14,9% respectivamente. Cumpliendo la muestra patrón y a 5% de caucho a 150 ºC y 170 ºC con las normas establecidas en la Norma COVENIN 2000- 87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12- 10.

Las estabilidades de la muestra patrón (sin caucho), como las elaboradas con adición de caucho a los distintos porcentajes (5%,10% y 15%) cumplieron de acuerdo a los límites establecidas en la Norma COVENIN 2000-87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12- 10 presentando buenas estabilidades.

Los flujos para una muestra patrón (sin caucho) como las elaboradas con adición de caucho a los distintos porcentajes (5%,10% y 15%) cumplieron de acuerdo a los límites establecidas en la Norma COVENIN 2000- 87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12- 10 presentando buenas estabilidades.
Por último se puede concluir que la mezcla con una adición de caucho de 5% a una temperatura de 170ºC cumple con todas las propiedades establecida en la Norma COVENIN 2000- 87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12- 10 presentando una buena estabilidad.

Referencias

CORREDOR, G. **Apuntes de pavimentos. Volumen I**. Universidad Santa María Facultad de Ingeniería. Fondo Editorial "Lola de Fuenmayor". Caracas, 1997. Pág. 169.

CORREDOR, G. **Apuntes de pavimentos. Volumen III**. Universidad Santa María Facultad de Ingeniería. Cátedra de pavimentos. Fondo Editorial "Lola de Fuenmayor" Caracas. 1998. Pág. 145.

COVENIN 2000- 87 Parte I Carreteras, Parágrafo 12¨-10. **Norma venezolana**. Sector Construcción especificaciones, codificación y mediciones. Caracas.

HERNANDEZ, M Y RODRIGUEZ, S. **Estudio del control de calidad en la colocación y compactación en mezclas asfálticas en caliente tipo II y III proveniente de la planta de asfalto VEPACA C.A Cumaná estado Sucre.** Cumaná, Octubre del 2007.

FIGUEROA I, Ana Sofía, SANCHEZ C, Arnulfo. REYES L, Freddy A. **Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada.** Épsilon, Julio- Diciembre, numero 009. Universidad De La Salle. Bogotá. Colombia. PP. 41-55.

FLORES, Antonio. **Estudio del diseño de una mezcla de concreto asfáltico en caliente tipo III, mediante el método Marshall en la planta VEPACA Cumaná C.A.** Cumaná. Octubre del 2007.

Ministerio De Fomento. Ministerio de Medio Ambiente. CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. **Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas.** Mayo de 2007. México.