

ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

PERFORMANCE ANALYSIS OF WARM ASPHALT MIXTURES

Jorge Rodríguez Cepeda¹

1 Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE, Ecuador,
jrodriguez517@hotmail.es

RESUMEN

El propósito principal de la investigación fue modificar el asfalto mediante el uso de aceite crudo de palma (ACP), para fabricar mezclas asfálticas tibias y establecer su desempeño en laboratorio y compararlas con las mezclas asfálticas en caliente. La mezcla utilizada corresponde a las denominadas mezclas de graduación densa, de tamaño máximo nominal del agregado de 1/2". El trabajo de laboratorio inició con la caracterización de los materiales a utilizar (asfalto, agregados), continuando con ensayos de caracterización para el asfalto modificado con diferentes porcentajes experimentales de Aceite Crudo de Palma, de esta manera seguir con los ensayos de viscosidad rotacional en el asfalto y el modificado con ACP. A partir de lo anterior se eligió porcentajes que puedan ser los potenciales modificadores para la reducción de las temperaturas de producción de mezclas asfálticas de tal manera seguir con la realización del método Marshall, para las mezclas asfálticas en caliente (MAC) y mezclas asfálticas tibias (MAT) evaluando su comportamiento en cuanto a estabilidad y flujo Marshall. Se determinó a partir del análisis del comportamiento de la MAT, el porcentaje óptimo de ACP y el contenido de asfalto óptimo para fabricar mezclas tibias. Del análisis de los resultados se estableció que el ACP utilizado reduce la viscosidad del asfalto y por ende las temperaturas de mezcla y compactación. El desempeño estudiado en las mezclas asfálticas con asfalto modificado con ACP, son similares a las mezclas convencionales, estableciendo la viabilidad para su aplicación y uso.

Palabras Clave: Mezclas Asfálticas Tibias, Asfalto modificado, Aceite de Palma, Viscosidad, Temperatura.

ABSTRACT

The main purpose of the research was to modify the asphalt using crude palm oil (ACP), to produce warm asphalt mixes and establish its performance in laboratory and compare them with hot mix asphalt. The mixture used corresponds to the named dense gradation mixtures, which aggregate maximum nominal size of 1/2". Laboratory work began with the characterization of the materials to be used (asphalt, aggregates), followed of characterization tests for the asphalt which was modified with different experimental percentages of Crude palm oil, then it continues the rotational viscosity tests in the asphalt and the modified one with ACP. Based on the results obtained above, potential modifiers for the reduction of the production temperatures of asphaltic mixtures were selected, for the implementation of the Marshall Method in the hot mix asphalt (HMA) and in the warm mix asphalt (WMA) and evaluate its stability and Marshall Flow behavior. Based on the WMA behavior analysis, the optimal percentage of ACP and optimum content of asphalt to produce warm mixtures were determined. From the analysis of the results it was established that the used ACP reduces the asphalt viscosity and therefore the mixing and compaction temperatures. Performance of the asphalt mixtures with modified asphalt is similar to the conventional mixtures, establishing the feasibility of its use application.

KeyWords: Warm Mix Asphalt, Asphalt Modified, Palm Oil, Viscosity, Temperature

1. INTRODUCCIÓN

Para el ser humano es importante la movilización y como parte de su bienestar se considera de trascendencia las carreteras y lo que se involucra directamente en su entorno, todo esto genera su impacto tanto en términos económicos como sociales, pero las carreteras tienen principalmente un impacto negativo en el medio ambiente, tanto en su etapa de construcción como durante el mantenimiento y su uso. A partir de ello, lo que se debe buscar es minimizar parte de dichos impactos de tal manera que los ingenieros en respuesta a esto, presentan la producción y aplicación de mezclas asfálticas pero a temperaturas reducidas. Las mezclas asfálticas en caliente se caracterizan por las altas temperaturas necesarias para su producción, por lo tanto se busca disminuir estas altas temperaturas como parte de la ayuda y conciencia ambiental.

Dentro de esta idea se ha tratado de crear una técnica para poder producir una mezcla tibia, para lo cual se hallan distintas opciones tal que se reduzca el impacto medioambiental en la construcción y mantenimiento de carreteras.

A partir de la contaminación ambiental en el mundo se ha generado regulaciones acerca de las emisiones de gases contaminantes, generando de esta manera el necesario sostenimiento del medio ambiente, para esto se genera la producción de mezclas asfálticas "tibias" con nuevas técnicas e investigaciones conocidas internacionalmente como WMA (Warm Mix Asphalt) o se las llamará MAT (Mezclas Asfálticas Tibias), mediante las cuales se busca reducir las altas temperaturas utilizadas en las mezclas tradicionales y usadas en el medio llamadas como HMA (Hot Mix Asphalt) o en el Ecuador llamadas MAC (Mezclas Asfálticas Calientes).

Como parte de una conciencia ambiental necesaria para el sostenimiento equilibrado del ambiente la Ingeniería Civil propone como su principal innovación, la utilización y la implementación de las mezclas asfálticas tibias, con el objetivo de reducir las temperaturas de mezclado y compactación en donde la viscosidad del asfalto tiene principal importancia para lograr dicho objetivo fundamental.

El método MAT permite la disminución del consumo de energía utilizada en el proceso de producción de las mezclas asfálticas por consiguiente la reducción de las emisiones contaminantes en la fase de producción tanto como en la fase de colocación y que pueden ser perjudiciales para la salud ocupacional de las personas involucradas en construcciones viales.

Al hablar de mezclas asfálticas tibias y la existencia de varios métodos para la producción de este tipo de mezclas (WMA) existen métodos que buscan reducir la viscosidad del asfalto a una temperatura determinada, permitiendo de esta manera la fluidez del asfalto a una menor temperatura y consiguiendo así que el agregado sea cubierto completamente a esa temperatura menor.

En relación a las mezclas asfálticas tibias existen varias investigaciones realizadas al respecto, en donde en varios países se concentran en encontrar mediante tecnología, componente o productos útiles para modificar los componentes del asfalto y así producir una mezcla tibia, entonces con estas investigaciones se ha buscado un material alternativo que sea un modificador del asfalto, en este caso se trabajará con el aceite crudo de palma africana como agente reductor de la viscosidad en el asfalto para posteriormente evaluar sus características de desempeño y luego comparar con las mezclas asfálticas en caliente.

2. ESTADO DEL ARTE

A partir de 1997 mediante el tratado de Kyoto desarrollado por la comunidad Económica Europea, se comenzó a desarrollar nuevas técnicas y tecnologías llamadas mezclas asfálticas tibias (MAT o WMA), como una respuesta a los gases del efecto invernadero evidenciadas en el desarrollo de las mezclas asfálticas en caliente. La National Asphalt Pavement Association (NAPA) en cooperación con la Federal Highway Administration (FHWA), introdujeron las MAT en el World Asphalt Show & Conference del 2004, en Nashville, como aporte a los problemas ambientales, con todo esto evidenciando la necesidad del interés que se ha puesto en temas como ahorrar energía y bajar la temperatura de producción y por ende reducir las emisiones contaminantes, estos temas han sido ampliamente discutidos, tratados e investigados.

En 1999, Jenkins et al. Introdujeron un nuevo proceso, el tratamiento de betún espumado templado. Sus documentos y estudios exploraron las consideraciones y posibles beneficios de calentar una amplia gama de áridos a temperaturas superiores a la ambiente, pero por debajo de los 100°C, antes de introducir el betún espumado en la mezcla. Los resultados de esta investigación mostraban una buena envuelta de las partículas de árido, así como una gran cohesión de las mezclas, un índice de tracción correcto y una compactación adecuada. Habían nacido así las mezclas semicalientes, tal y como las conocemos actualmente.

Mientras avanzaba el tiempo la experiencia

acerca del tema iba incrementándose, al igual que los conocimientos al respecto, por lo tanto esto comienza a generar patentes todo esto ocurrido para el año 2000. Este mismo año, aparece un documento del autor Koenders y su equipo. En éste evaluaban el rendimiento de las mezclas tibias (WMA) mediante el ensayo de mezclas en laboratorio y en campo (en Noruega, Reino Unido y Holanda) con referencia particular a la producción de mezclas densas en capas de rodadura.

El uso de zeolitas sintéticas se comienza a evidenciar en el año 2004, en donde Barthel, Von Devivere et hacen uso de las mismas, recogidas bajo el nombre comercial Aspha-Min®, como aditivo en las mezclas bituminosas de cara a mejorar su trabajabilidad a temperaturas más bajas. Como se comprueba a partir de lo anterior, el desarrollo de los inicios de esta tecnología se produce principalmente en Europa y Australia [1].

Siguiendo con la idea de conseguir una mezcla tibia se incursionó en este ámbito la mezcla de asfalto con aceite crudo de palma en donde se ha investigado principalmente en la Universidad Nacional de Colombia por parte del Ing. Conrado Lopera. Msc en donde se concluye la investigación con buenos resultados en cuanto a la disminución de temperatura de mezcla, pruebas de desempeño mecánico y dinámico

En el Ecuador no se encuentran registros del tema de mezclas tibias y peor aún con una mezcla alternativa como con el aceite crudo de palma.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

El asfalto muestreado proviene de la planta de mezcla asfáltica del sector de Cashapamba, a partir del mismo se realizaron ensayos de caracterización del asfalto como los ensayos de penetración, reblandecimiento, ductilidad, punto de inflamación y densidad, por lo cual se lo denomina como un asfalto de penetración 60-70 mm/10.

El aceite crudo de palma proviene de la empresa EPACEM del sector de Quinidé, a partir del mismo y cumpliendo con sus características iniciales determinados en la Norma INEN-1640, se verá añadido al asfalto AC-20, a través de porcentajes experimentales, indicados en la metodología.

3.2 Metodología

El presente estudio se basa en la experimentación, de tal manera que la información experimental es aquella que se obtiene de la aplicación de métodos y ensayos a partir de la modificación del asfalto AC-20 y sus

consecuencias en el diseño de las mezclas asfálticas y su posible utilización para el uso de mezclas tibias. Esta investigación está constituida por las siguientes metas:

- Obtener el asfalto modificado con el porcentaje óptimo de ACP.
- Realizar el diseño Marshall para mezclas asfálticas,
- Comparar el desempeño de las mezclas asfálticas realizadas con el asfalto base y las realizadas con el asfalto modificado con ACP.

Meta 1: Asfalto modificado

- Se realizará la elección del lugar y el muestreo del asfalto base para lo cual se aplicara la norma ASTM D-140.
- Muestreo del Aceite Crudo de Palma (ACP) a través de la norma INEN-5.
- Control de calidad del asfalto base a partir de los ensayos de penetración, punto de inflamación, punto de reblandecimiento, ductilidad.
- Se desarrollará la experimentación a partir de la adición de diferentes porcentajes de aceite crudo de palma al asfalto base. Los porcentajes a utilizar son el 0.4%, 0.7 %, 1%, 2%, 3%, 5% y 10%.
- Se realizará en control de calidad del asfalto modificado y los posibles valores de Aceite Crudo de Palma que puedan utilizarse en una primera instancia para realizar los ensayos de viscosidad, de manera que el asfalto modificado no se vea afectado en su comportamiento original.
- Ensayos de viscosidad con variación de la temperatura para los porcentajes óptimos que se han concluido en el punto anterior.
- Gráficos de la curva de viscosidad vs temperatura del asfalto base y asfalto modificado, comparación y conclusiones acerca de la modificación y el porcentaje óptimo.
- Obtención del porcentaje óptimo de Aceite Crudo de Palma para el cumplimiento de las especificaciones de materiales según la norma Ecuatoriana vial NEVI-12.
- Control de calidad del asfalto modificado para los porcentajes finales de investigación obtenidas el punto anterior, a partir de los ensayos expuestos anteriormente para el asfalto base.

Meta 2: Diseño Marshall

- Determinación de la fuente de materiales pétreos para el muestreo y posterior

utilización para realizar las mezclas asfálticas.

- Caracterización de los materiales pétreos.
- Realización de las briquetas para cada porcentaje de asfalto definido. Se realizará la mezcla con el asfalto base y con el asfalto modificado con el porcentaje óptimo de ACP.
- Diseño de la mezcla asfáltica de acuerdo al método Marshall.
- Realización probetas para las pruebas de desempeño de las mezclas mediante ensayos de laboratorio.

Meta 3: Comparación de desempeño

- Recolección de información y datos que permitan decidir sobre la conveniencia de usar asfalto modificado con aceite de crudo de palma a partir de los ensayos realizados a las probetas y el comportamiento del asfalto modificado mediante los ensayos de caracterización.
- Comparación a partir de los resultados con respecto al comportamiento de las probetas con asfalto convencional y conclusiones de la experimentación.

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

4.1 Caracterización del asfalto AC-20 y modificado

Es importante evaluar la calidad del asfalto y de esta manera caracterizar mediante ensayos que tratan de reproducen el comportamiento del material a escala real, debido a la importancia de los requisitos en cuanto a la calidad del asfalto.

De esta manera, para verificar los porcentajes con los que se pueden modificar el asfalto y conocer la influencia del ACP en la mezcla con el asfalto, se realizaron los ensayos de penetración, reblandecimiento y ductilidad, con los siguientes porcentajes: 0.4, 0.7, 1, 2, 3, 5 y 10% de ACP, para luego decidir los porcentajes que puedan ser los óptimos que cumplan con los requerimientos de la normativa NEVI-12 y que al analizar el comportamiento mediante los ensayos de viscosidad rotacional, sean reductores de la viscosidad y que por consiguiente sean adecuados para realizar la mezcla asfáltica y evaluar su comportamiento.

4.2 Ensayos realizados de caracterización en el asfalto AC-20 y modificado con ACP

- Penetración a 25° C. Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de qué tipo de asfalto se trata.

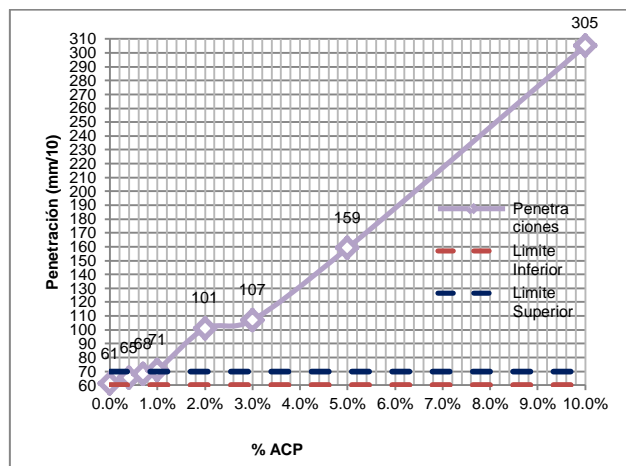


Fig. 1: % ACP vs Penetración

A partir de los resultados de los ensayos de penetración en el asfalto modificado con ACP, se puede ver en la Fig. 1, que los porcentajes de ACP en relación al peso del asfalto, más aptos en cuanto a cumplir con el parámetro de calidad, serán los siguientes: 0.4%, 0.7% y el 1%, debido a que están dentro del rango de penetración mínima y máxima y en función que aumenta el contenido de ACP aumenta su penetración.

- Punto de Reblandecimiento (Anillo y esfera). Proporciona una medida de la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.

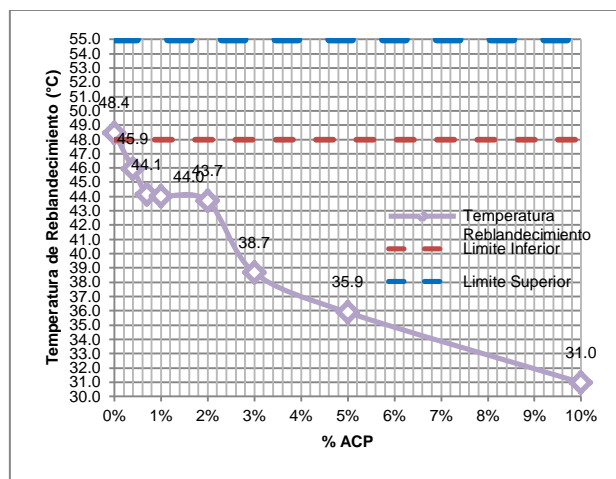


Fig. 2: %ACP vs Reblandecimiento

A partir de los resultados de los ensayos de

reblandecimiento, se considera a los asfaltos susceptibles a la temperatura cuando su punto de reblandecimiento es menor al rango especificado, para este caso el asfalto modificado es susceptible a la temperatura debido a que los resultados están por debajo a 48 °C, de tal manera solo cumple el asfalto AC-20 y en relación al asfalto modificado con ACP, dicho asfalto se vuelve más susceptible del cambio de su consistencia, es decir disminuir su viscosidad, en función del incremento de ACP, siendo para este tipo de ensayo ningún porcentaje el adecuado.

- **Índice de Penetración:** El índice de penetración no es un ensayo, dicho índice proporciona un criterio de medida de susceptibilidad del asfalto a los cambios de temperatura. Para el cálculo del índice de penetración IP, se requieren los resultados hallados en los ensayos de penetración a 25 °C y el punto de reblandecimiento.

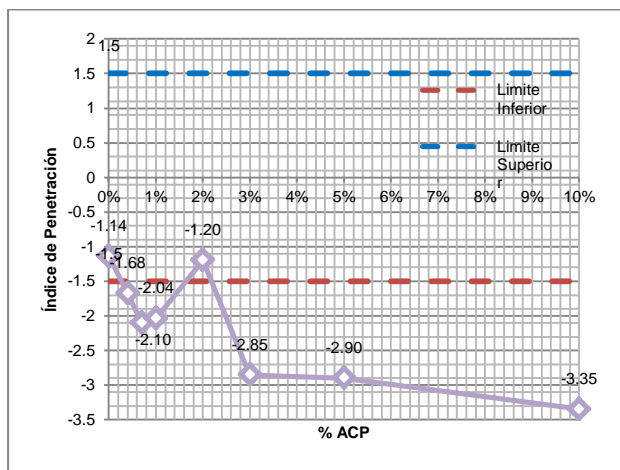


Fig. 3: % ACP vs Índice de Penetración

- **Ductilidad a 25° C.** Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm., este ensayo además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características.

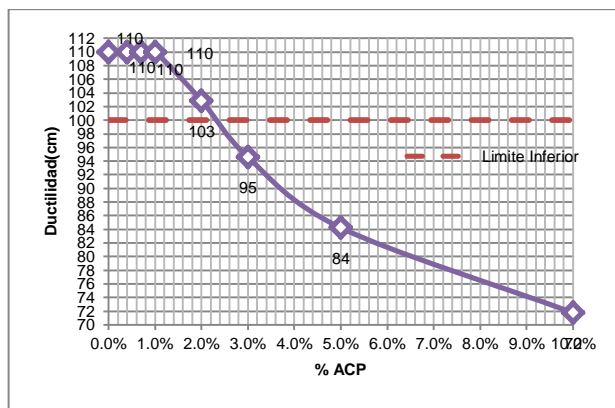


Fig. 4: %ACP vs Ductilidad

Para el ensayo de ductilidad y a partir de los resultados, el rango de porcentaje de ACP que entra en especificaciones, está entre el 0.4% al 2%.

En función del porcentaje de ACP añadido la ductilidad del asfalto modificado disminuye.

A partir de los ensayos anteriores se determinan los porcentajes a utilizar en los ensayos de viscosidad, siendo estos los siguientes: 0.4%, 0.7%, 1% y 2% de ACP. Los ensayos a continuación se analizarán en los resultados para los porcentajes óptimos utilizados

- **Punto de Inflamación.** Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.

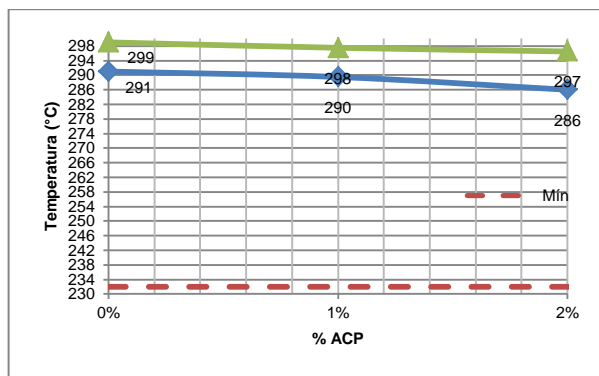


Fig. 5: %ACP vs Temp. Combustión

Mediante la Fig. 5, se evidencia que el punto de inflamación no varía demasiado reduciéndose 5 °C al 2% de ACP con respecto al asfalto base que resultó en 291 °C.

En cuanto al punto de combustión se reduce a penas 2 °C al 2% de ACP con respecto al asfalto base que resultó en 297 °C. En los dos casos se cumple con el mínimo de seguridad que es 232 °C.

- **Densidad:** en los asfaltos que se utilizan en la construcción de pavimentos varía desde

0.9 – 1.4 g/cm³. La densidad puede darnos idea de las impurezas que contiene un producto y su medida nos sirve de control de la uniformidad de un suministro. La densidad relativa de un asfalto es la razón entre el peso de un determinado volumen de asfalto y el peso de un volumen igual de agua a una determinada temperatura. Su conocimiento permite pasar de pesos a volúmenes y viceversa.

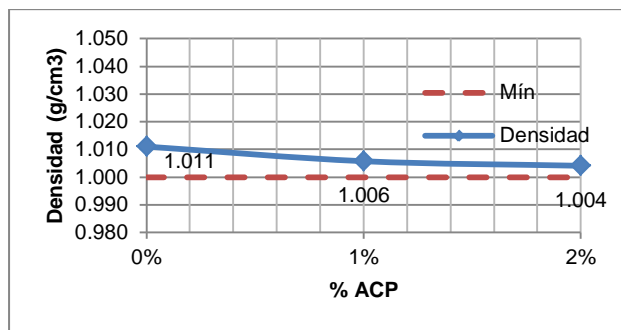


Fig. 6: %ACP vs Densidad relative

En la Fig. 6 se observa que la densidad se reduce desde 1.011 g/cm³ en el asfalto base pasando a 1.006 g/cm³ al 1% y a 1.004 g/cm³ al 2% de ACP, pero se mantiene dentro del mínimo que es 1.00 g/cm³. Pero la variación es mínima, es decir que varía en milésimas de g/cm³.

4.3 Ensayo de viscosidad rotacional

Mediante este ensayo se obtiene la determinación de la viscosidad mediante un viscosímetro rotacional con cámara termostatazada, de tipo Brookfield Thermosel. Esta norma describe un procedimiento para la medición de la viscosidad aparente del asfalto en un ámbito de temperatura entre 38 °C y 200 °C, para este caso realizado para 80,120 y 160 °C.

A continuación en la Tabla I se presentan los resultados de los ensayos de viscosidad.

Tabla I: Resultados ensayos de viscosidad

% ACP Añadido	Temperatura de ensayo (°C)		
	80	120	160
	Viscosidad (Cp)		
ASFALTO AC-20			
0.40%	21400	842.5	120.0
0.70%	19300	792.5	115.5
1%	18050	765.0	112.5
2%	17350	724.5	110.0
	14067	660.0	102.0

4.3 Caracterización de los agregados

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en los agregados.

Tabla II: Caracterización Agregado grueso

Ensayo	Resultados	Especificación NEVI-12 Tabla 811-4.1
Densidad relativa(seca al horno) [gr/cm ³]	2.51	-
Densidad relativa SSS [gr/cm ³]	2.56	-
Densidad aparente relativa [gr/cm ³]	2.65	-
Absorción	2.0%	-
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	28.3%	max 40%

Tabla III: Caracterización Agregado Fino

Ensayo	Resultados	Especificación NEVI-12 Tabla 811-4.2
Densidad relativa(seca al horno) [gr/cm ³]	2.48	-
Densidad relativa SSS [gr/cm ³]	2.55	-
Densidad aparente relativa [gr/cm ³]	2.66	-
Absorción	2.7%	-
Equivalente de Arena	81%	minimo 50%
Índice de plasticidad	NP	max 4%

A partir de la Tabla II y III, se concluye que los agregados cumplen con los ensayos de caracterización de agregados en función de los resultados obtenidos en relación a los valores referentes.

4.4 Método Marshall

Mediante el método Marshall el desempeño que puede tener una mezcla asfáltica preparada en el laboratorio y que puede ser analizada para determinar el comportamiento mediante los ensayos de estabilidad y flujo que por consiguiente los resultados serán comparados en función del comportamiento de la mezcla con el asfalto base y luego el comportamiento de la mezcla asfáltica tibia modificada al 1% y al 2% de ACP.

La granulometría de la mezcla de agregados será la indicada en la Fig. 7, correspondiente a una graduación de tipo densa.

Fig. 7: Granulometría tipo densa

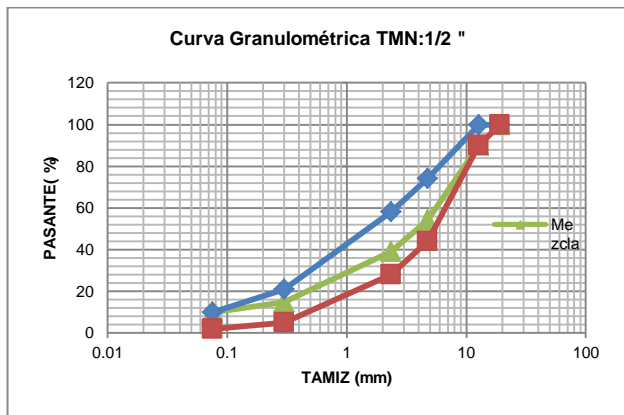


Tabla IV: Criterios Marshall

Criterio	Tráfico Alto	
	min	max
Número de golpes por cara	75	
Estabilidad(lb)	1800	-
Flujo(0.01")	8	14
Vacios de Aire (%)	3	5
Vacios de agregado mineral (%)	13	-
Vacios llenos de asfalto (%)	65	75

En la Tabla IV se presentan los valores referenciales a cumplir en el método Marshall según la norma NEVI-12

5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados en las diferentes etapas de realización para obtener el resultado esperado.

5.1 Ensayos de caracterización en el asfalto

Tabla V: Resultados ensayos de caracterización

Parámetro	Resultado	Mínimo	Máximo
Penetración (mm/10)	61	60	70
Reblandecimiento (°C)	48.4	48	55
Índice de Penetración	-1.14	-1.5	1.5
Ductilidad (cm)	110	100	-
Punto de Inflamación (°C)	291	232	-
Densidad relativa (gr/cm ³)	1.011	1.000	-

A través de la Tabla I se tiene que el asfalto AC-20

cumple con parámetros de calidad.

5.2 Variación de viscosidad

Tabla VI: Resultados de viscosidad a 80 °C

% ACP	Temperatura de ensayo= 80 °C		
	Viscosidad (Cp)	Disminución (Cp)	% Disminución
ASFALTO AC-20	21400	0	0%
0.40%	19300	2100	10%
0.70%	18050	3350	16%
1%	17350	4050	19%
2%	14067	7333	34%

Tabla VII: Resultados viscosidad a 120 °C

% ACP	Temperatura de ensayo= 120 °C		
	Viscosidad (Cp)	Disminución (Cp)	% Disminución
ASFALTO AC-20	842.5	0.0	0%
0.40%	792.5	50.0	6%
0.70%	765.0	77.5	9%
1%	724.5	118.0	14%
2%	660.0	182.5	22%

Tabla VIII: Resultados viscosidad a 160 °C

% ACP	Temperatura de ensayo= 160 °C		
	Viscosidad (Cp)	Disminución (Cp)	% Disminución
ASFALTO AC-20	120.0	0.0	0%
0.40%	115.5	4.5	4%
0.70%	112.5	7.5	6%
1%	110.0	10.0	8%
2%	102.0	18.0	15%

En las tablas V, VI y VII, se puede observar la disminución que se obtiene de manera general, en la viscosidad a las diferentes temperaturas de ensayo y con relación al contenido de ACP añadido al asfalto base. A 80 °C se disminuye de 21400 Cp (0% ACP) a 14067 Cp al 2% de ACP. A la temperatura de 120 °C se disminuye desde 842.5 Cp sin modificación, a 660 Cp al 2% de ACP. Y a

160 °C se disminuye desde 120 Cp sin modificación a 102 Cp al 2% ACP.

Para la temperatura de ensayo de viscosidad rotacional a 80 °C la variación es mucho mayor que la variación a mayor temperatura como a 120 °C y 160 °C y se incrementa en función del incremento del contenido de ACP, de manera que a mayor temperatura hay menor disminución de la viscosidad pero a mayor contenido de ACP hay mayor disminución de la viscosidad. Por ejemplo tenemos que para el 1% de ACP se disminuye a 80°C un 19%, a 120 °C disminuye a 14% y a 160 °C disminuye la viscosidad un 8%. Al 2% de ACP se disminuye a 80°C un 34%, a 120 °C disminuye a 22% y a 160 °C disminuye la viscosidad un 15%.

5.2.1 Temperaturas de mezcla y compactación

Se considera temperatura de mezclado la que se obtiene para una viscosidad de 170+-20 Centipoises (Cp) y la temperatura de compactación para una viscosidad de 280+-30 Centipoises.

Tabla IX: Resultados de los valores de temperatura de mezcla

% ACP	Disminución de Temperaturas		
	Mezcla		
	Promedio Temperatura(°C)	°C	%
Asfalto AC-20	156	0	0.0
0.004	153.5	2.5	1.6
0.007	152.5	3.5	2.2
0.01	149	7	4.5
0.02	146	10	6.4

Tabla X: Resultados de los valores de temperatura de compactación

% ACP	Disminución de Temperaturas		
	Compactación		
	Promedio	°C	%
Asfalto AC-20	143	0	0.0
0.004	141.5	1.5	1.0
0.007	140.5	2.5	1.7
0.01	137	6	4.2
0.02	134.5	8.5	5.9

En las Tablas IX y X, se evidencia la disminución de las temperaturas, tanto en mezcla como en compactación de manera que de 156 °C sin modificación se disminuye hasta 146 al 2% de ACP, en la temperatura de mezcla, y en las temperaturas de compactación se disminuye desde

143 °C sin modificación hasta 134.5 al 2% de ACP.

La variación porcentual de la temperatura de mezcla incrementa en función del porcentaje de ACP, ya que para el 1% de ACP se tiene una variación del 4.5% en la temperatura de mezcla, hasta un 6.4 % al 2% de ACP. Para la temperatura de compactación se tiene que se incrementa desde un 4.2% al 1% de ACP, hasta un 5.9% al 2% de ACP. Con lo cual el incremento es mucho mayor hasta el 1% de ACP con un 4% pero para el 2% de ACP es un 6%, de manera que disminuye el incremento en función del porcentaje de ACP mayor.

5.3 Análisis de desempeño. Mezclas Asfálticas ten Caliente (MAC) y Mezclas Asfálticas Tibias (MAT)

Tabla XI: Resumen de resultados del método Marshall

Parámetro	TIPO DE MEZCLA		
	MAC	MAT-1%	MAT-2%
% Asfalto	6.1	6.0	6.0
Gmb(g/cm ³)	2.213	2.206	2.204
Estabilidad (lb)	3550	3170	3100
Flujo (0.01")	12.4	13.5	15.5
Va (%)	4	4	4
V.A.M (%)	13.5	13.7	13.8
V.A.F (%)	71	70	72

Según el porcentaje óptimo de asfalto, para la MAC se tiene un contenido de asfalto de 6.1% y se disminuye para los dos casos de MAT-1% y MAT-2% al 6.0% es decir 0.1% lo cual no varía significativamente, entonces el diseño en cuanto al contenido de asfalto óptimo, se genera principalmente por la granulometría de la mezcla y en contenido de relleno mineral (Pasante del tamiz No 200), además que se generaría un ahorro de un 0.1% de asfalto al utilizar el ACP como modificador.

Según la gravedad específica bulk de la briqueta compactada, se puede concluir que la densidad disminuyó en función del tipo de mezcla, así teniendo para la mezcla MAC una densidad de 2.213 g/cm³ como el valor más alto y disminuye para la mezcla MAT-1% a un valor de 2.206 g/cm³ y como el punto más bajo el valor de 2.204 g/cm³ para la MAT-2%, este tipo de gráfica es similar al de estabilidad ya que al disminuir la densidad de la briqueta también disminuye la estabilidad, además que se disminuye la densidad en función también que el asfalto modificado es menos pesado de acuerdo a los ensayos de densidad relativa

realizados.

Según **la Estabilidad**, se puede establecer que todas la mezclas ensayadas cumplen el valor de estabilidad mínima que es 1800 lb, de manera que para la MAC se tiene el valor más alto con 3550 lb, siguiendo para la MAT-1% que disminuye a 3170 lb y para la MAT-2% disminuye hasta 3100 lb, pero estos valores altos de estabilidad pueden ser perjudiciales para el pavimento ya que puede generar un envejecimiento prematuro y por lo tanto una menor duración de la capa de rodadura debido al agrietamiento por fatiga (Padilla, 2008).

Según **el flujo**, se puede evidenciar uno de los parámetros de desempeño que nos puede dar una idea del comportamiento del tipo de mezcla, en este caso como una base principal partimos del ensayo de penetración que nos mide la consistencia y de la misma manera este parámetro aumenta en función del incremento del porcentaje de ACP, de manera que para una mezcla MAC se tiene un flujo de 12.4 (0.01”), mientras que para una mezcla MAT-1% el flujo aumenta hasta 13.5 (0.01”) y finalmente para una mezcla MAT-2%, se tiene un flujo de 15.5 (0.01”), de esta manera los que cumplen los límites entre 8 y 14 (0.01”) son las mezclas MAC y MAT-1%.

Según **los vacíos de agregado mineral (V.A.M)**, se puede ver la variación que se tiene en cuanto al porcentaje de vacíos de agregado mineral, el cual es la suma del volumen de vacíos de aire y del asfalto efectivo, en este caso se tiene que dicho porcentaje se incrementa, no significativamente pero va desde 13.5% para MAC siguiendo a 13.7 % de una MAT-1% hasta 13.8% para una MAT-2%. Este porcentaje es en función del porcentaje del volumen de la mezcla total. Cabe recalcar que el límite es 13% y esto está en función de la gravedad específica del agregado(Gsb), y de la gravedad bulk de las briquetas (Gmb), en este caso al disminuir la Gmb aumenta el VAM. Este parámetro debe ir aumentando y no bajar del mínimo para que el asfalto tenga espacio para la cohesión con el agregado.

Según **los vacíos llenos de asfalto (V.A.F)**, en relación al comportamiento de los vacíos llenos de asfalto, estos son un porcentaje respecto a los VAM, de tal manera que para una MAC se tiene un porcentaje de 71%, para una MAT-1% un 70% y para una MAT-2% un 72%. Este aumento se encuentra relacionado con la deformación o el flujo de la mezcla, de tal manera que al tener más vacíos llenos de asfalto la mezcla tiende a ser más deformable. Este parámetro al igual que el VAM, los Vacíos de aire, la densidad son parámetros volumétricos de la mezcla pero que a la final tienen influencia en el comportamiento en cuanto a la estabilidad y el flujo que generan las mezclas.

6. TRABAJOS RELACIONADOS

A partir de los resultados obtenidos en el presente proyecto y según Lopera, (2011) [2], podemos analizar las diferencias obtenidas en los resultados a partir del uso de ACP como modificador de viscosidad en el asfalto.

Lopera, utiliza dos proveedores de ACP, los mismos que son de dos lugares diferentes de Colombia, el primero de la empresa Dismaprin y el segundo de la empresa Palmagro, para lo cual se presentan los resultados en cuanto a las variaciones de las temperaturas de producción de la mezcla asfáltica presentadas en las Fig. 8 y 9 que se detallan a continuación:

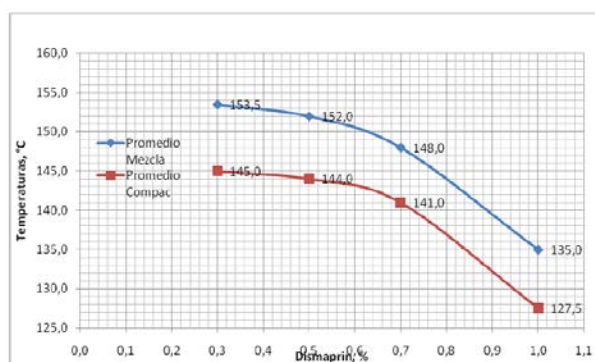


Fig. 8: Variación de la temperatura de producción en función del %ACP Dismaprin

Fuente: Lopera, (2011). [2]

Para los resultados mostrados en la Fig.8, se puede ver que hay una mayor variación de las temperaturas en función del porcentaje de adición de ACP Dismaprin desde 152.5 °C hasta 135 °C, en relación a los resultados obtenidos por parte del presente proyecto de tesis en el cual hay una variación desde 156 °C hasta 146 °C.

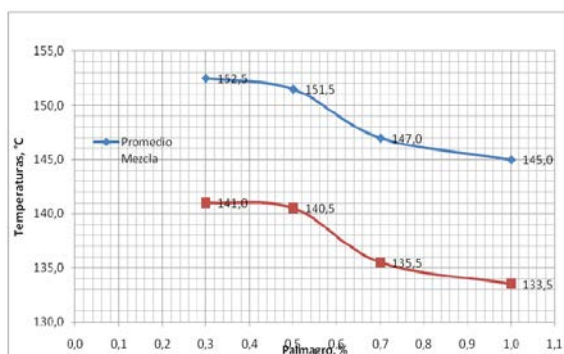


Fig. 9: Variación de la temperatura de producción en función del % ACP Palmagro

Fuente: Lopera, (2011). [2]

Para los resultados mostrados en la Fig. 9, se puede ver que hay una variación similar de las temperaturas en función del porcentaje de adición

de ACP Palmagro desde 152.5 °C hasta 145 °C, en relación a los resultados obtenidos por parte del presente proyecto de tesis en el cual hay una variación desde 156 °C hasta 146 °C.

A partir del análisis anterior, se puede concluir que el proveedor del ACP puede influir en la disminución de las temperaturas de producción de mezcla asfáltica ya que la extracción del ACP a partir de la palma africana, puede variar en su calidad necesaria para este tipo de uso, por lo tanto se recomienda que para futuros proyectos en este ámbito, se realice varias pruebas en función de varios proveedores.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Viscosidad

- A medida que se incrementa el contenido de ACP, se consigue reducir la viscosidad de manera que para el **1% de ACP se disminuyó 7 °C** con respecto a la temperatura del asfalto AC-20 y para el **2% de ACP se disminuyó 10 °C**.
- El incremento del contenido de ACP genera un incremento de la variación de la viscosidad, pero a menores temperaturas, a partir de ello se puede considerar como porcentaje **óptimo al 1%** para evitar que a bajas temperaturas se produzca ahuellamiento de la capa de rodadura por la baja consistencia del asfalto, de manera que el 2% disminuye en exceso la viscosidad.

Control de calidad de asfalto

- El asfalto AC-20 que se ha muestreado para el estudio, cumple las especificaciones estipuladas en el NEVI-12.
- Se ha obtenido el asfalto modificado con ACP y se ha elegido los porcentajes de ACP óptimos que cumplan la mayoría de las especificaciones que para el 1% de ACP el asfalto no cumple en el ensayo de reblandecimiento y el índice de penetración y para el 2% no cumple en cuanto a la penetración y reblandecimiento con lo cual el porcentaje óptimo queda regido por los parámetros a evaluarse en el diseño Marshall

Diseño Marshall

- Se realizó el diseño Marshall para la mezcla asfáltica en caliente y mezcla asfáltica tibia, de manera que se ha

conseguido realizarlas en función de las viscosidades y temperaturas indicadas por el método en cuanto a la producción de dichas mezclas, especificando la granulometría dentro de los rangos de tipo densa y que para el caso de la mezcla MAC y MAT-1% cumple con las especificaciones estipuladas en la norma NEVI-12.

- El desempeño de la mezcla MAC y la MAT-1% es de similares características y que cumplen con las especificaciones de diseño Marshall, teniendo en cuenta que la MAT-1% el flujo es más alto, pero la estabilidad disminuye con lo cual los dos tipos de mezclas se las puede utilizar para capa de rodadura teniendo para la MAC un temperatura de mezcla de 156 °C y de compactación de 143 °C y para la mezcla MAT-1% una temperatura de mezcla de 149 °C y de compactación de 137 °C

Recomendaciones

- Es importante tomar en cuenta que el ACP puede ser perjudicial a temperaturas de servicio ya que a menores temperaturas el potencial reductor es mayor y eso puede generar ahuellamientos en el pavimento, se recomienda realizar ensayos de deformación como el ensayo de la rueda cargada.
- Se recomienda realizar el ensayo de envejecimiento del asfalto por medio de horno de película delgada para tener una idea del cambio de las propiedades después del ensayo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Al-Rawashdeh A.S. (2008). Performance Assessment of Warm Mix Asphalt (WMA) Pavements. A Master of Science Thesis. Rus College of Engineering and Technology. Ohio University.

[2] Lopera Conrado, (2011). *Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (Elaeis Guineensis)* Informe final de investigación aplicada presentado como requisito para optar al título de Máster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas – Medellín.