

IAG387-08-2013
INFLUENCIA DE LA PIGMENTACIÓN DE ASFALTO EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA
INFLUÊNCIA DA COLORAÇÃO DO ASFALTO NAS PROPIEDADES
MECÂNICAS DA MISTURA

HUGO LEON ARENAS LOZANO, Ms.C.
Universidad del Cauca
Popayán - Colombia
harenas07@hotmail.com

JAIME RAFAEL OBANDO ANTE, Ms.C.
Universidade de Brasília – UnB
Brasília, Brasil
jaime_obando87@hotmail.com

PEDRO JESUS GUERRERO, Esp.
Universidad del Cauca
Popayán – Colombia
pedroguerre@hotmail.com

Resumen

Durante la última década se han llevado a cabo nuevas y diversas investigaciones con el fin de conocer más acerca de la tecnología de la pigmentación de los materiales bituminosos y las mezclas asfálticas. En esta primera parte del estudio de mezclas asfálticas coloreadas, se utilizó el ensayo Marshall para la determinación de la fórmula de trabajo para cada una de las mezclas convencional y coloreada con el fin de analizar la variación y tendencia de las características físicas y mecánicas de dichas mezclas: densidad, vacíos con aire, vacíos en los agregados minerales, la estabilidad y el flujo. En general, las características Marshall de las mezclas asfálticas coloreadas mantienen el mismo comportamiento con el incremento del contenido de asfalto que las mezclas convencionales. De los resultados obtenidos se puede concluir que el porcentaje de vacíos con aire (%Vv), el porcentaje de los vacíos en los agregados minerales (%VAM) y los vacíos llenos de asfalto (VFA) prácticamente permanecen constantes, con el incremento en el porcentaje de pigmento, mientras que la estabilidad disminuye en un 36% y el flujo aumenta en un 12% respecto a los de la mezcla original.

Resumo

Durante a última década tem-se realizado, novas e diversas pesquisas visando conhecer mais além da tecnologia de coloração dos materiais asfálticos e das misturas asfálticas. Nesta primeira etapa do estudo de misturas asfálticas coloridas, foi empregado o método de dosagem Marshall para a determinação da dosagem, para cada um das misturas convencionais e coloridas com a finalidade de avaliar a mudança e tendência das características físicas e mecânicas das misturas avaliadas, entre as propriedades avaliadas tem-se: densidade, volume de vazios, vazios no agregado mineral, estabilidade e fluxo, sendo os resultados comparados com a mistura asfáltica convencional. De maneira geral, as características das misturas

asfálticas coloridas, mantem o mesmo comportamento com o acréscimo do teor de cimento asfáltico em comparação com as misturas convencionais. Dos resultados obtidos pode-se concluir que a percentagem de vazios com ar diminui, a percentagem de vazios no agregado mineral e os vazios cheios de asfalto, permanecem constantes com o acréscimo do pigmento, enquanto que a estabilidade diminui 36% e o fluxo é acrescentado em 12% com respeito à mistura asfáltica original.

1. INTRODUÇÃO

La utilización de colores en la vida cotidiana, generaran sensaciones en la psicología del ser humano, por ejemplo la utilización del color rojo genera un estimulación relacionada con el peligro, el color amarillo produce una sensación de luminosidad y vigilancia, naranja genera actividad, colores azul y verde generan sensaciones de tranquilidad, paz y confort. Dentro de diferentes condiciones de seguridad vial, los efectos psicológicos del color deben ser razonablemente usados en el diseño estético y de seguridad vial, atendiendo las condiciones específicas de cada lugar donde vayan a ser utilizadas (Xu *et al* 2012). En relación a los pavimentos coloreados, ellos fueron introducidos en el mercado para atender las demandas de estética, seguridad, confort y armonía con el medio ambiente. Las innovaciones en la ingeniería de pavimentos a color se ha dividido en dos principales líneas de investigación: micro revestimientos coloreados y la coloración de los agregados en la elaboración de mezclas asfálticas; en cuanto a las primeras mezclas, diversas investigaciones han sido realizadas (Carnielo *et al* 2013 y Synnefa *et al* 2011, entre otros), utilizando micro revestimientos coloreados, con la finalidad de reducir el efecto de la absorción de temperaturas en las áreas urbanas, que genera efecto de micro climas, que acompañados de ausencia de vegetación, alta densidad construida y contaminación ambiental, aumentan las temperaturas y por consecuente aumenta la demanda en el consumo de energía eléctrica para contrarrestar el efecto del calor, de los resultados obtenidos se puede decir que con la utilización de revestimientos a color se obtienen significativas reducciones en las temperaturas adsorbidas y consecuentemente una reducción en la temperatura ambiente. Otro uso importante dado a las mezclas coloreadas, corresponde a los puntos de acceso y salida de túneles viarios, una investigación realizada por Xu *et al* (2012), demostró los beneficios del uso de revestimientos coloridos en cuanto a la reducción en el consumo de energía eléctrica para la iluminación del túnel y para generar sensaciones de alerta en las zonas de salida y entrada. La segunda línea de investigación (coloración de agregados con asfalto convencional), ha sido muy poco estudiada, debido que genera una coloración menos fuerte e impactante que la obtenida con otro tipo de solución técnica, por lo anterior, la presente investigación pretende efectuar una evaluación de la variación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica pigmentada con óxido de hierro (Fe_2O_3) y cemento asfáltico convencional.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la presente investigación, fueron empleados los siguientes materiales: agregados pétreos triturados de origen aluvial, cemento asfáltico 80 – 100 y pigmento inorgánico de óxido de hierro sintético. Los principales resultados de la caracterización física de los materiales son descritos a continuación.

2.1 Materiales

2.1.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos provienen del río Téllez en el departamento de Nariño – Colombia, son de origen aluvial, fueron triturados y seleccionados para su posterior uso en la elaboración de mezclas asfálticas. Los resultados de la caracterización de los agregados pétreos, son presentados a continuación en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Granulometría de los agregados pétreos

Peneira	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
% Passa	100	76	52	22,5	14	7,5

La granulometría empleada en este estudio, corresponde a la especificación promedio tipo 3 para mezclas densas en caliente (MDC-3), de la norma Colombiana ART-450 del instituto nacional de vías (INVE).

Tabla 2: Caracterización física de los agregados pétreos

Nombre del ensayo	Resultado
Equivalente de Arena (%)	42
Peso específico aparente agregado (kN/m^3)	28,59
Resistencia a los sulfatos agregado grueso (%)	5,5
Porcentaje de caras fracturadas (%)	82
Desgaste en la máquina de los Ángeles (%)	24
Índices de aplanamiento y alargamiento (%)	18

De los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados, se puede concluir que los materiales presentan una forma, limpieza, resistencia a la abrasión e distribución granulométrica adecuada, que permiten que el material sea utilizado para la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

2.1.2 Cemento asfáltico

El asfalto que se empleó en esta investigación, fue un cemento asfáltico AC 80 – 100 proveniente de la refinería de Barrancabermeja – Colombia. En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización física.

Tabla 3: Caracterización física cemento asfáltico AC 80 - 100

Ensayo	Temperatura (°C)	Resultados
Penetración promedio (1/10 mm)	25	87
Ductilidad (cm) (5cm/min)	25	>100
Punto de ablandamiento (°C)	-	47
Índice de penetración	-	-0,6
Viscosidad Absoluta Brookfield (cP)	60,0	107500
Viscosidad Absoluta Brookfield (cP)	135	202
Densidad relativa	25/25	1,0095
Pérdida de Masa en Película Fina (%)	163	0,22

De los resultados obtenidos en la caracterización del cemento asfáltico, se puede concluir que cumple con las especificaciones Colombianas para la elaboración de mezclas asfálticas,

además de presentar una baja susceptibilidad térmica, valor que para asfaltos convencionales se encuentra entre $-1,5$ a $0,7$ (Arenas 1996).

2.1.3 Pigmento

El pigmento que se empleó en la investigación fue un óxido de hierro sintético (Fe_2O_3), tipo inorgánico. En la Tabla 4, son presentados los principales resultados de la caracterización físico – química.

Tabla 4: Caracterización físico-química pigmento

Parámetro	Resultado
Contenido Fe_2O_3 (%)	95,5
Contenido $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	4,0
Perdida sobre ignición en $1000\text{ }^\circ\text{C}$, 0,5 h (%)	0,8
Humedad (%)	0,5
Peso específico (KN/m^3)	50,0
Contenido soluble en agua (%)	0,5
Residuo de cribado en tamiz de $0,045\text{ mm}$ (%)	0,1
pH	8,0

2.2 Elaboración briquetas Marshall

Para comparar el comportamiento mecánico y la fórmula de trabajo de las mezclas asfálticas convencionales y coloreadas mediante el ensayo Marshall, se elaboraron una serie de probetas con la mezcla asfáltica convencional y dos series de probetas con las mezclas asfálticas coloreadas, utilizando en estas últimas 4 y 6% de pigmento (respecto a la mezcla) con el objetivo de tener un rango más amplio de análisis. El pigmento se incorporó en la mezcla asfáltica reemplazando parte del filler (pasa No. 200) proveniente de la trituración del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla, compactándose 25 probetas por cada serie. Las temperaturas de trabajo para la mezcla asfáltica convencional y las mezclas asfálticas coloreadas obtenidas de la curva reológica del cemento asfáltico son las siguientes: la temperatura de mezclado de $145\text{ }^\circ\text{C}$ y una temperatura de compactación de la mezcla de $135\text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la temperatura del agregado fue de $160\text{ }^\circ\text{C}$.

3. RESULTADOS

En la Tabla 5, son presentados los resultados promedios del ensayo Marshall, para cada una de las combinaciones de ensayo.

En la Figura 1, se puede observar claramente que a mayor contenido de pigmento en la mezcla se obtienen mayores pesos específicos. Este comportamiento se debe a que el pigmento posee peso específico ($50,00\text{ KN/m}^3$) mayor a la del filler que se reemplaza ($28,59\text{ KN/m}^3$). La estabilidad disminuye a medida que aumenta el porcentaje de pigmento, como se aprecia en la Figura 2.

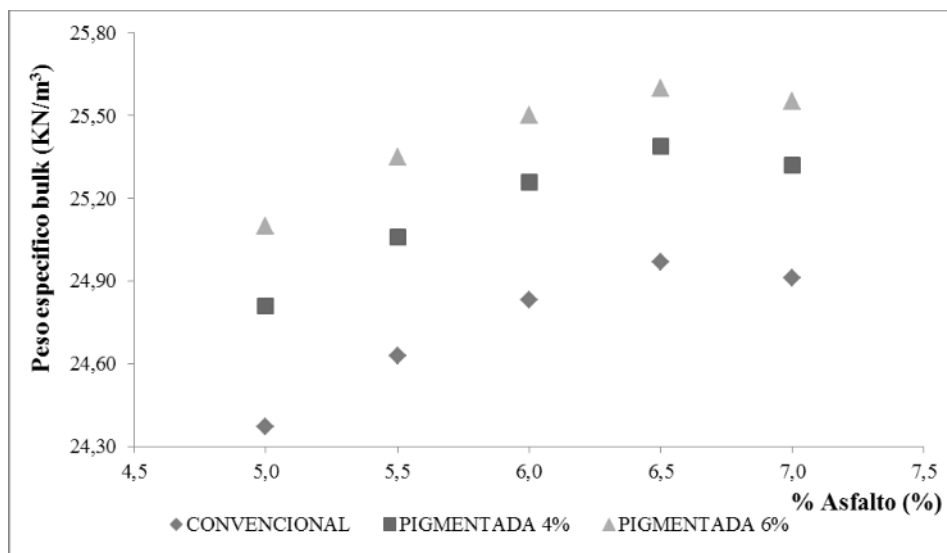


Figura 1: Variación Peso específico Bulk versus contenido de asfalto

Tabla 5: Resultados promedios ensayo Marshall para las diferentes combinaciones

ENSAYO MARSHALL							
SERIE	% asfalto	P.E Bulk (KN/m³)	Vacíos (%)	Estabilidad (KN)	Flujo (mm)	% VAM (%)	% VLL (%)
Mezcla convencional	5,0	24,37	7,22	9,88	1,86	17,24	58,15
	5,5	24,63	5,63	10,82	1,95	16,74	66,35
	6,0	24,83	3,98	11,64	2,12	16,46	75,80
	6,5	24,97	2,54	11,25	2,29	16,38	84,51
	7,0	24,91	2,08	10,20	2,54	16,97	87,73
Mezcla coloreada (4%)	5,0	24,81	7,01	8,98	2,03	17,12	59,06
	5,5	25,06	5,15	10,06	2,16	16,68	69,14
	6,0	25,26	3,77	10,15	2,29	16,41	77,02
	6,5	25,39	2,57	10,09	2,62	16,41	84,33
	7,0	25,32	2,13	9,57	3,22	17,03	87,51
Mezcla coloreada (6%)	5,0	25,10	6,31	7,51	2,20	16,85	62,56
	5,5	25,35	5,16	8,09	2,33	16,42	68,56
	6,0	25,50	3,66	8,27	2,37	16,35	77,59
	6,5	25,60	2,51	8,54	2,74	16,42	84,69
	7,0	25,55	2,07	8,31	3,30	16,97	87,80

Es importante destacar, que los resultados presentados en la Tabla 5, son similares a los obtenidos por Arredondo (2005), para un contenido de asfalto de 6,3% y un porcentaje de pigmento rojo de 6%.

Estudios realizados por Lee *et al.* (1985), confirman los resultados obtenidos en la presente investigación, demostrando que no hay una variación significativa de las propiedades volumétricas y de deformabilidad, comparando resultados obtenidos de ensayos realizados sobre una mezcla asfáltica convencional y otra pigmentada con óxido de hierro (Fe_2O_3).

El flujo tiende a aumentar a medida con el incremento en el contenido de pigmento en la mezcla asfáltica, tal como se muestra en la Figura 3.

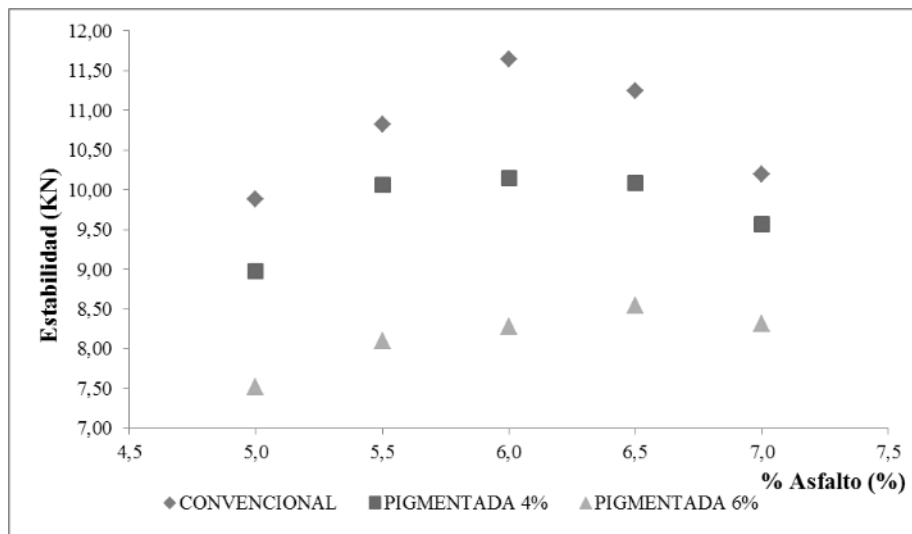


Figura 2: Variación Estabilidad versus contenido de asfalto

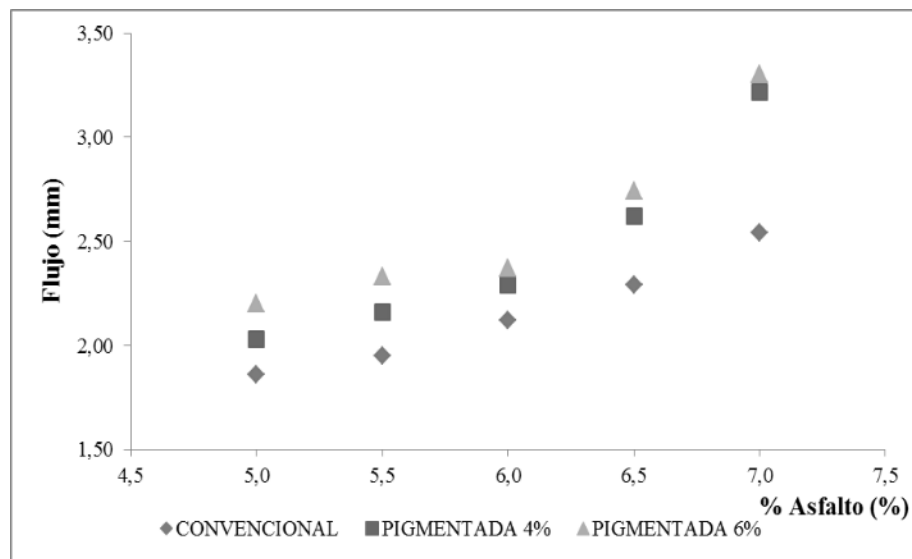


Figura 3: Variación Flujo versus contenido de asfalto

En la Figura 4, se puede establecer que a medida que aumenta el porcentaje de pigmento la rigidez de la mezcla asfáltica disminuye. Probablemente la disminución de la estabilidad, el aumento del flujo y disminución de rigidez a medida que aumenta el porcentaje de pigmento, se debe a la forma y textura de las partículas que lo conforman y a la capacidad que tienen de formar grumos por su alta superficie específica. En la Figura 5 (a) y (b), se muestran microfotografías de partículas de pigmento y de filler respectivamente. En las microfotografías se puede observar que el pigmento tiende a formar grumos en condiciones normales, mientras que el filler mineral presenta una forma angular y rugosa, producto del proceso de trituración del agregado.

De acuerdo con los resultados ilustrados en las Figuras 6, 7 y 8, no se presenta una variación significativa en la mezcla asfáltica con los diferentes incrementos de pigmento, en cuanto

volumen de vacíos, vacíos en el agregado mineral y vacíos llenos de asfalto; lo anterior puede ser explicado debido a que el reemplazo de la fracción de filler, fue realizada con relación al peso total de la mezcla y el pigmento al tener un peso específico tan elevado, el volumen que ocupa es pequeño en comparación con el que ocuparía el material original.

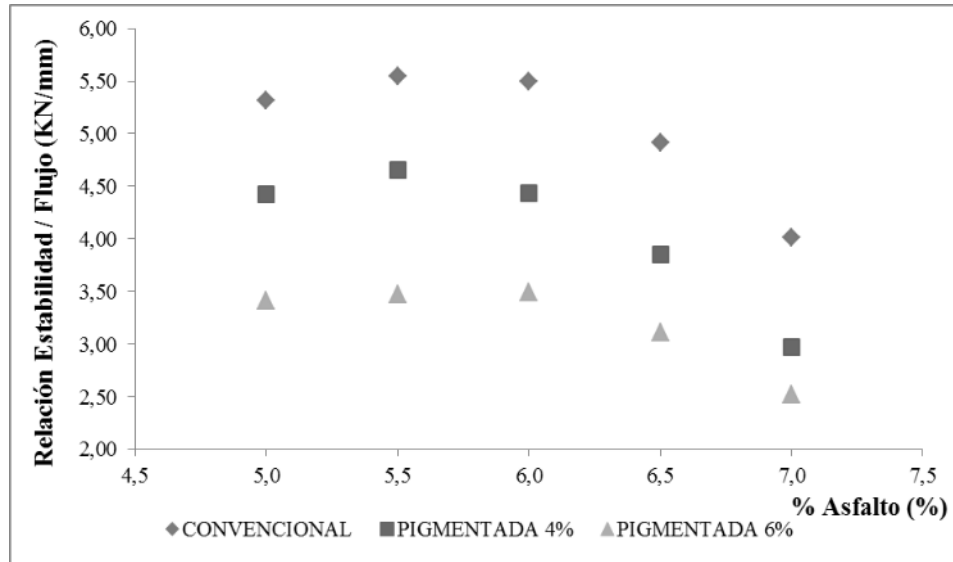


Figura 4: Variación Relación Estabilidad/Flujo versus contenido de asfalto

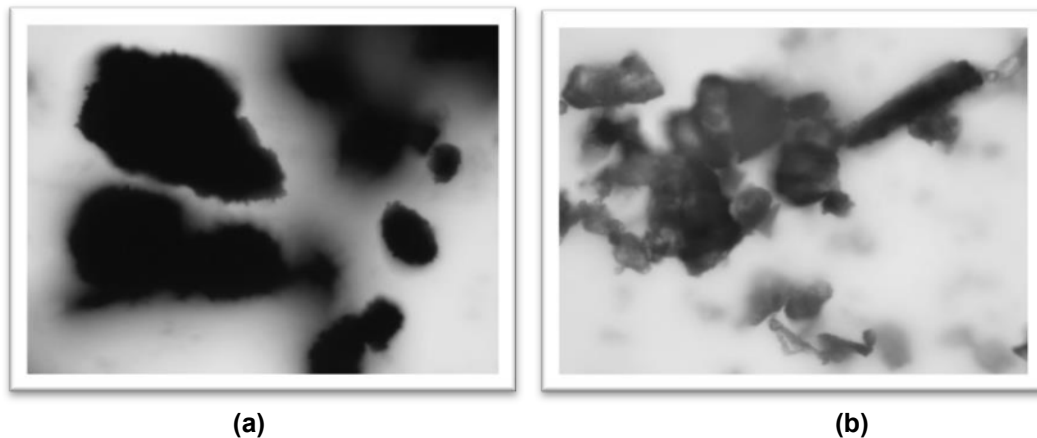


Figura 5: Microfotografías: (a) Pigmento; (b) Filler

En cuanto al porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica coloreada (4% y 6% de pigmento) no tiene una variación significativa con respecto a la mezcla asfáltica convencional (0% de pigmento), sólo varía en 0,1%, de la siguiente manera: para un porcentaje de volumen de vacíos de 4,5%, se obtiene para la mezcla convencional un porcentaje de asfalto óptimo de 5,8% y para las mezclas pigmentadas el porcentaje cae para 5,7%.

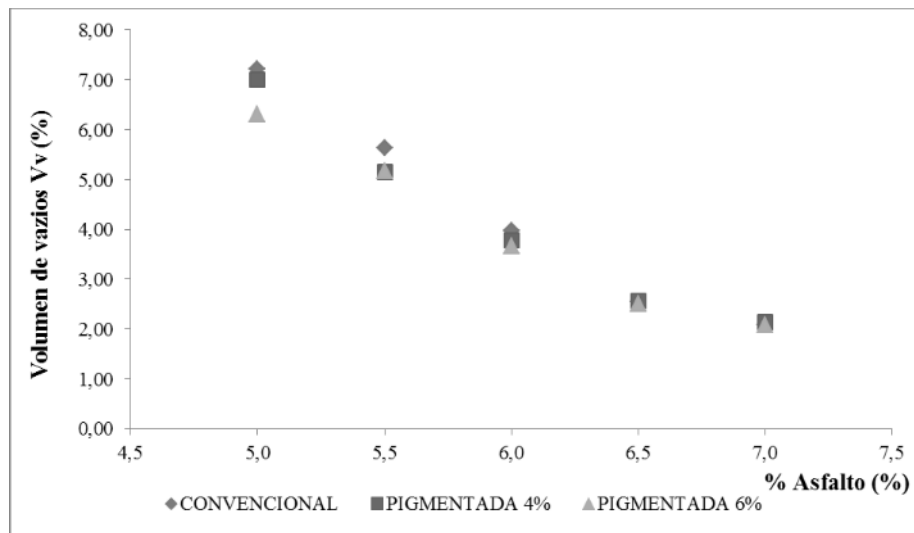


Figura 6: Variación volumen de Vacíos *versus* contenido de asfalto

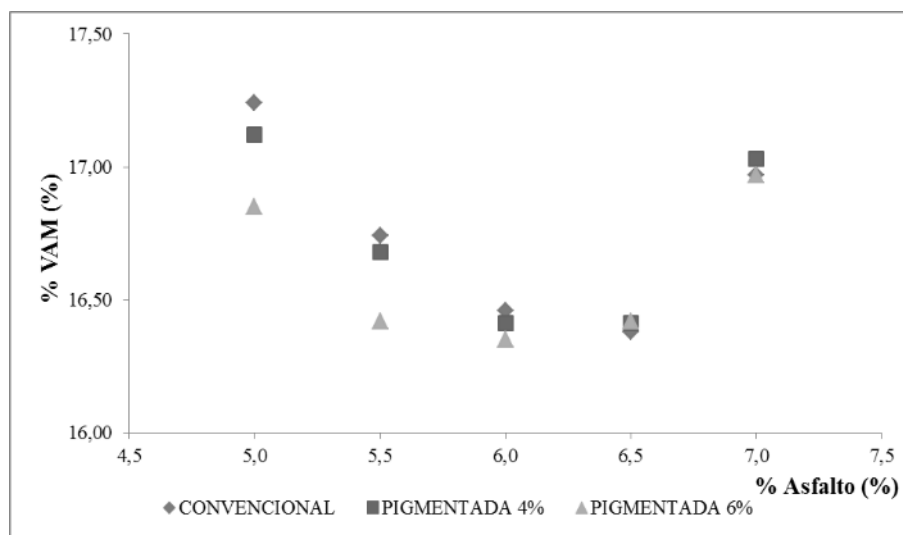


Figura 7: Variación Vacíos Agregado Mineral *versus* contenido de asfalto

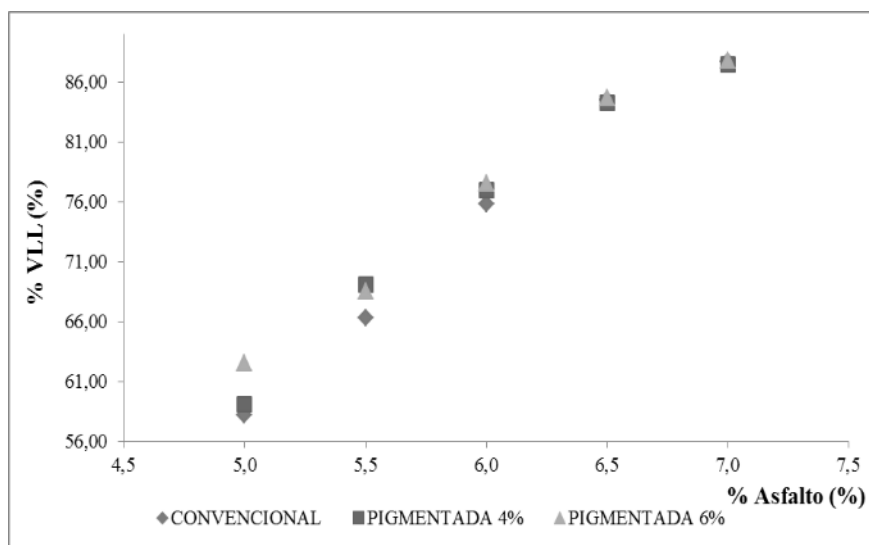


Figura 8: Variación Vacíos Llenos de asfalto *versus* contenido de asfalto

Con el objetivo de ampliar el análisis de la influencia del pigmento en las propiedades físicas y en el comportamiento mecánicas de las mezclas asfálticas, se elaboraron mezclas asfálticas coloreadas utilizando dos porcentajes de pigmento diferentes a los anteriores (3% y 5%), utilizando el mismo porcentaje óptimo de cemento asfáltico (5,7% con respecto al peso de la mezcla). En total fueron elaboradas 10 briquetas Marshall, sobre las cuales fueron realizados análisis de vacíos, estabilidad y flujo.

De los resultados obtenidos de la evaluación de las 10 briquetas, se puede concluir que el porcentaje de vacíos con aire (% Vv), el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM) y los vacíos llenos de asfalto (% VLL), prácticamente permanecen constantes con el aumento del porcentaje de pigmento, mientras que el flujo aumenta hasta un 12% , la estabilidad disminuye hasta en 28% y la relación estabilidad/flujo disminuye hasta un 36% respecto a la mezcla original (Tabla 7). El aumento del flujo, la reducción de la estabilidad y de la relación Estabilidad/Flujo, puede ser atribuida a la superficie específica del pigmento, tendencia a la aglomeración y la forma de las partículas. Los resultados totales son presentados en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados promedios totales ensayo Marshall para las diferentes combinaciones

% de Pigmento	% de Asfalto	% Vv (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (KN)	Estabilidad/Flujo (KN/mm)	VAM (%)	VLL (%)
0	5,8	4,5	2,04	11,42	5,60	16,5	72,8
3	5,7	4,5	2,07	10,50	5,08	16,5	72,8
4	5,7	4,5	2,16	10,10	4,67	16,5	72,8
5	5,7	4,5	2,26	9,10	4,02	16,4	72,5
6	5,7	4,5	2,29	8,20	3,58	16,4	72,5
Norma (INV – 450)		4-6	2 – 3,5	>7,50	3,00 – 6,00	>16	65 - 75

Tabla 7: Variación de las propiedades de resistencia y deformabilidad con respecto a la mezcla de referencia

% de Pigmento	% de Asfalto	Variación de Flujo (%)	Variación de Estabilidad (%)	Variación Estabilidad/Flujo (%)
0	5,8	0%	100%	100%
3	5,7	1%	92%	91%
4	5,7	6%	88%	83%
5	5,7	11%	80%	72%
6	5,7	12%	72%	64%

En general las características Marshall de las mezclas asfálticas coloreadas mantienen el mismo comportamiento con el incremento del contenido de asfalto que las mezclas convencionales. La densidad aumenta hasta un máximo después del cual comienza a decrecer; los valores de flujo aumentan, el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla disminuye, el porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye hasta alcanzar un mínimo, a partir del cual comienza a aumentar.

4. CONCLUSÕES

- La inclusión del pigmento en la mezcla asfáltica no afectó la fórmula de trabajo obtenida en el diseño Marshall. El porcentaje óptimo de asfalto y el porcentaje de vacíos de aire en las mezclas asfálticas coloreadas no variaron con respecto a las mezclas asfálticas convencionales.

- La forma, textura y superficie específica son propiedades físicas del pigmento que influyen de manera directa en la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica coloreada.
- Las relaciones volumétricas de la mezcla asfáltica coloreada son similares a las obtenidas en la mezcla asfáltica convencional.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arenas, H. Tecnología del Cemento Asfáltico. Editorial Faid, Cali – COLOMBIA, 1996.

Arredondo, A. C, Diseño de mezclas densas coloreadas y mezclas porosas coloreadas modificadas con polímeros para su utilización en la ciudad de Medellín: XIII CONGRESO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO (XIII CILA), Costa Rica, Noviembre de 2005.

Carnielo, E., Zinzi, M. (2013). Optical and termal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperaturas an building cooling demand, Building and Enviromental. 60: 56 – 65.

Invias. Instituto Nacional de Vías. Normas de ensayos de materiales para carreteras. Bogotá, 1996.
_ARTÍCULO 450 – 07 Mezclas asfálticas en caliente (concreto asfáltico y mezcla de alto módulo).

Lee, K. W., Kim, J. W., Kim, D. W. (1985). Development of color pavement in Korea, Journal of Transportation engineering. 11: 19739.

Synnefa, A., Karlessi, T., Gaitani, N., Santamouris, M., Assimakopoulos, D. N. (2011). Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate, Building and Enviroment. 46: 38 – 44.

Xu, M., Pan, X., Deng, Q. (2012). Setting method of thin-layer antiskid colored pavement in tunnel base don increasing luminance of pavement, 12th International Conference of Transportation Professionals CICTP, Beijing – China.