

Influencia de la temperatura, la granulometría y el agua en la cohesión de mezclas asfálticas*

Influence of Temperature, Granulation, and Water in the Cohesion of Asphalt Mixtures**

Influência da temperatura, da granulometria e da água na coesão das misturas asfálticas***

*Oscar Javier Reyes-Ortiz*****
*Sebastián Millán-Montejo******

* Fecha de recepción: 21 de febrero de 2009. Fecha de aceptación para publicación: 7 de septiembre de 2009. El artículo es el resultado de un proyecto de investigación denominado *Influencia de la cohesión en mezclas asfálticas*, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

** Submitted on February 21, 2009. Accepted on September 7, 2009. This article results from the research project called *Influence of Cohesion in Asphalt Mixtures*, financed by the Universidad Militar Nueva Granada Vice-President's Office for Research, Bogotá, Colombia.

*** Data de recepção: 21 de fevereiro de 2009. Data de aceitação para publicação: 7 de setembro de 2009. O artigo é o resultado de um projeto de pesquisa denominado *Influência da coesão em misturas asfálticas*, financiado pela Vice-reitoria de Pesquisa da Universidade Militar Nueva Granada, Bogotá, Colômbia.

**** Ingeniero civil. Máster en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Doctor, Universidad Politécnica de Catalunya, España. Profesor de la Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: oscar.reyes@unimilitar.edu.co.

***** Ingeniero civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: sebastian.millan@unimilitar.edu.co.

Resumen

Este estudio tiene como objeto principal estudiar la influencia de la temperatura, del agua y de la granulometría en la cohesión de las mezclas asfálticas. El estudio se realizó mediante la ejecución del ensayo Caracterización Universal de Ligantes (UCL), en seco y húmedo. Se inició con la caracterización del material granular y de tres asfaltos con comportamiento diferente (60/70, 85/100 y modificado con polímero SBS). Las curvas granulométricas empleadas corresponden a las denominadas md10 y md12, del Instituto de Desarrollo Urbano. Se determinó el porcentaje óptimo de asfalto con el aparato de Marshall en muestras sin relleno, según un procedimiento del ensayo UCL. Se construyeron muestras con el porcentaje óptimo de asfalto y se ensayaron en la máquina de los Ángeles, a diferentes temperaturas características de Colombia, en estado seco y húmedo (curva de estado). Entre los resultados obtenidos se determinó que el asfalto modificado presenta mayor cohesión que los asfaltos convencionales, que el agua disminuye la cohesión entre las partículas y el asfalto, sin importar el tipo que se use y que la granulometría md12 presenta mayores pérdidas que la md10.

Palabras clave

Mezclas de asfalto-efecto de la temperatura, granulometría, cohesión.

Abstract

This research studies the influence of temperature, water, and granulometry in the cohesion of asphalt mixtures. The study was carried out by subjecting dry and wet samples to the UCL test. The research started by characterizing the granular material and three asphalts with different behaviour (60/70, 85/100 and modified with polymer SBS). The grain size curves used correspond to the so established as md10 and md12 by the Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). The asphalt optimal percentage was determined via the Marshall apparatus in samples without filler, following UCL test procedures. Several samples were built with the optimal percentage and tested by means of an Angeles Machine at different typical Colombian temperatures in dry and wet state. The results obtained show that the modified asphalt presents a higher cohesion rate than conventional asphalts; that water diminishes the cohesion between the asphalt and the particles irrespective of the granule used, and that the md12 granulometry yield higher losses than the md10 grain size.

Key words

Asphalt mixtures-effect of temperature, granulometry, cohesion.

Resumo

Este estudo tem como objeto principal estudar a influência da temperatura, da água e da granulometria na coesão das misturas asfálticas. O estudo realizou-se mediante a execução do teste Caracterização Universal de Ligantes (UCL), em seco e úmido. Iniciou-se com a caracterização do material granular e de três asfaltos com comportamento diferente (60/70, 85/100 e modificado com polímero SBS). As curvas granulométricas empregadas correspondem às denominadas md10 e md12, do Instituto de Desenvolvimento Urbano. Determinou-se a porcentagem ótima de asfalto com o aparelho de Marshall em amostras sem enchimento, segundo um procedimento do ensaio UCL. Construíram-se amostras com a porcentagem ótima de asfalto e foram testadas a diferentes temperaturas características da Colômbia, em estado seco e úmido (curva de estado). Com os resultados obtidos determinou-se que o asfalto modificado apresenta maior coesão que os asfaltos convencionais, que a água diminui a coesão entre as partículas e o asfalto, sem importar o tipo que se use e que a granulometria md12 apresenta maiores perdas que a md10.

Palavras chave

Misturas de asfalto-efeito da temperatura, granulometria, coesão.

Introducción

La temperatura es una variable muy importante en las obras civiles y, más aún, en aquellas que están en constante uso, recibiendo todo tipo de cargas y efectos climatológicos, como es el caso de las vías. Por lo tanto, al tener en cuenta que este factor incide en el comportamiento de los pavimentos, la vida útil de estos también se ve afectada. La mezcla asfáltica debe deformarse sin romperse al recibir esfuerzos debidos a las cargas que varían de acuerdo con su magnitud; por esto se estudia la resistencia al corte, considerando la fricción y la cohesión, esta última elemental y definitiva en el momento de evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica.

Durante mucho tiempo se han caracterizado los asfaltos con diferentes ensayos experimentales, por ejemplo, el ensayo Fraass, que determina la temperatura de fragilidad a partir del momento en que el asfalto no se puede flexar sin fisurarse, o el ensayo de anillo y bola, que determina la temperatura en la que el asfalto pierde consistencia y se reblandece (Asphalt Institute, 1996).

El Strategic Highway Research Program (SHRP) desarrolló un procedimiento conocido como *superpave* donde, a partir de las propiedades del asfalto (módulo complejo, ángulo de desfase, deformación, entre otros), plantea parámetros que definen el comportamiento de la mezcla ($G^*\text{sen}(\delta)$ para fatiga y $G^*/\text{sen}(\delta)$ para deformaciones plásticas). Así mismo, *superpave* establece el comportamiento de la cohesión y la adhesividad en la mezcla, con los ensayos de tracción indirecta y resistencia conservada (Kennedy *et al.*, 1994).

Por otra parte, el Laboratorio de Caminos, de la Universidad Politécnica de Cataluña, desarrolló un procedimiento de ensayo para estudiar la cohesión y la adhesividad del asfalto con el árido. Este procedimiento, llamado Método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), permite establecer, a partir de las pérdidas de masa por disgregación, la cohesión y la adhesividad en función de la temperatura de ensayo y su granulometría (Miró, 1994).

Por último, con los resultados de las propiedades de cohesión y adhesividad de los asfaltos, se cuenta con otro parámetro para seleccionar de una manera

más adecuada la granulometría y el tipo de asfalto que se van a utilizar en los pavimentos, de forma que exista la posibilidad de reducir sus fallos o daños.

El objetivo de esta investigación es analizar la influencia de la temperatura, del contacto del agua y de la granulometría en la cohesión del asfalto con el granular, mediante ensayos UCL, a diferentes temperaturas.

1. Marco conceptual

El UCL está basado en el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, que consiste en introducir en la máquina de los Ángeles una probeta tipo Marshall y someterla al ensayo de desgaste sin ningún tipo de carga abrasiva (Figura 1). Durante el ensayo se van desprendiendo, por impacto y abrasión, los áridos más superficiales de la probeta y luego se determina, tras un número de revoluciones, la pérdida de peso de la probeta referida, en tanto por ciento, al peso inicial:

$$p_c = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P_c = pérdidas al cántabro (%).

P_i = Peso inicial (g).

P_f = Peso final (g).

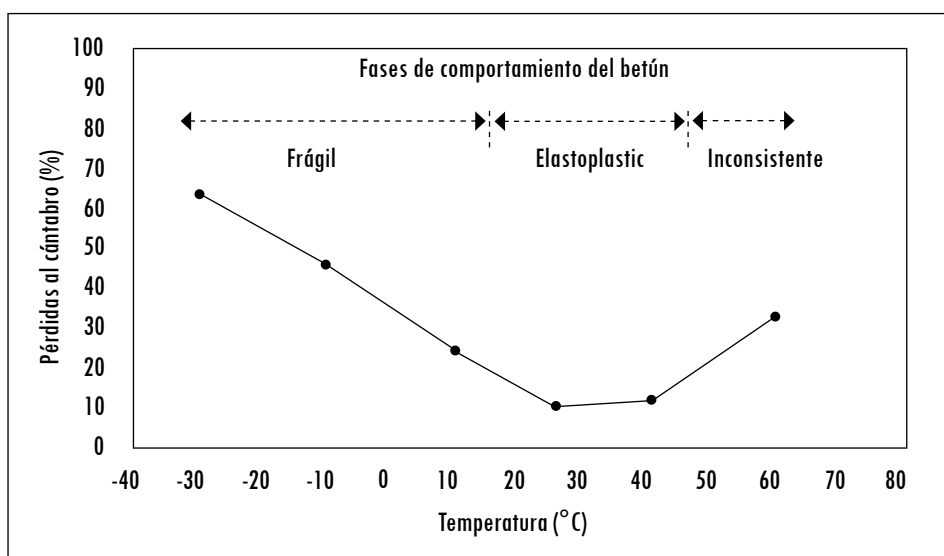
Figura 1. Máquina de ensayo de los Ángeles, Universidad Militar Nueva Granada



Fuente: presentación propia de los autores.

Las probetas utilizadas en el procedimiento UCL están fabricadas con el aparato de Marshall y están compactadas con 50 golpes, por cara. La característica principal de la granulometría de la mezcla asfáltica utilizada es que carece de *filler*, lo cual hace que se tenga una mezcla abierta con porcentajes de vacíos altos. Como resultado del ensayo, se obtuvo la curva de susceptibilidad térmica o curva de estado (Figura 2), donde se representan los valores de pérdidas respecto a la temperatura de la probeta, lo que da una idea de la capacidad del asfalto para mantener unidos los áridos en la mezcla, y cómo cuando estas uniones son dúctiles y tenaces, las pérdidas son bajas, y cuando resultan frágiles o poco consistentes, las pérdidas aumentan.

Figura 2. Influencia de las pérdidas y la temperatura en el comportamiento de una mezcla asfáltica



Fuente: Bianchetto, Miró y Pérez, 2007.

Las pérdidas de masa de la mezcla asfáltica (árido y asfalto) a una temperatura determinada se deben a una pérdida de cohesión intergranular, producto del desprendimiento de los áridos (Figura 3). Esta pérdida de cohesión se inicia cuando los esfuerzos en la probeta, generados por el impacto dentro del equipo, superan el umbral de cohesión entre asfalto-árido. A medida que aumenta el número de revoluciones, crece la cantidad de partículas descohesionadas, hasta llegar en ocasiones a la disgregación total de la mezcla (Pérez, 2002; Miró, Martínez y Pérez, 2006).

Figura 3. Estado de las muestras UCL después de ensayadas

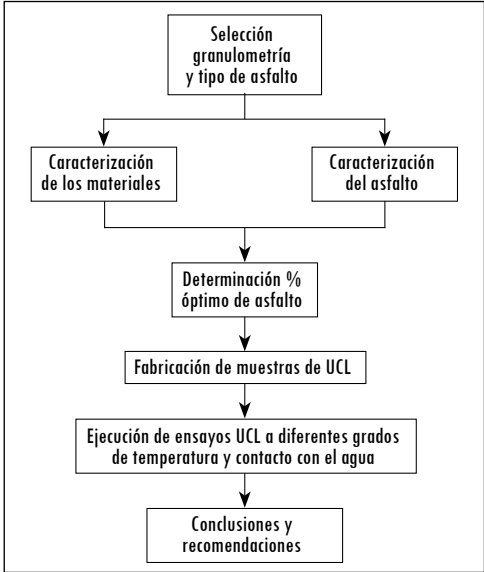


Fuente: presentación propia de los autores.

2. Metodología

En la Figura 4 se presenta el diagrama de la metodología empleada en la investigación, que inicia con la selección de la granulometría y los tipos de asfalto y sigue con la caracterización de los materiales. Con la ayuda de la metodología de Marshall se determina el porcentaje óptimo de asfalto, mediante el análisis de estabilidad, densidad y flujo. A continuación se hacen las muestras de UCL y se ensayan a diferentes temperaturas, por medio del ensayo en seco y húmedo. Por último, se determina la cohesión de los diferentes asfaltos y mezclas estudiadas.

Figura 4. Metodología empleada en la investigación

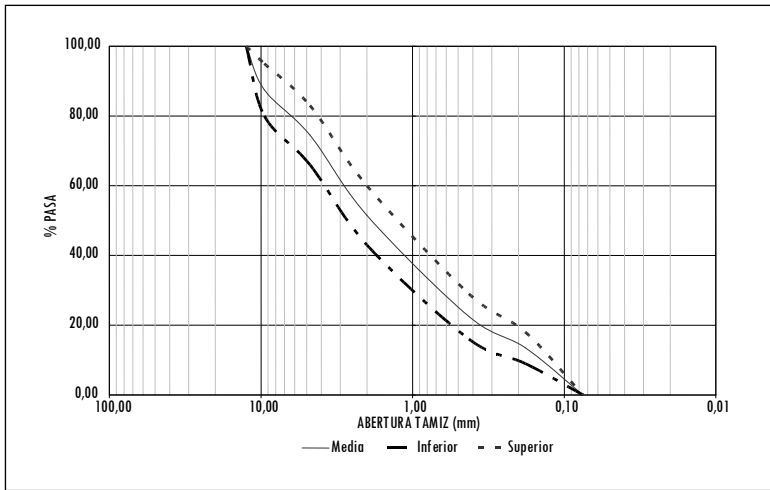


Fuente: presentación propia de los autores.

2.1 Selección de granulometría y tipo de asfalto

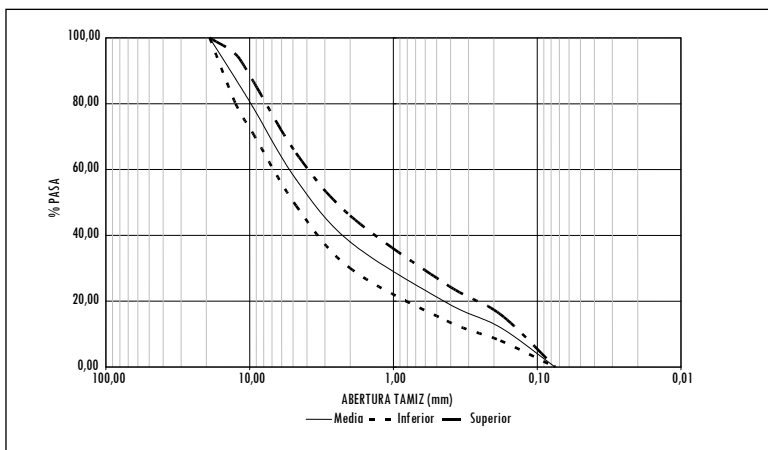
Las granulometrías empleadas en la investigación son las usadas en la construcción de pavimentos en la ciudad de Bogotá, según las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano (2005) y corresponden a las denominadas md10 y md12 en su parte media sin relleno (figuras 5 y 6). El asfalto utilizado es producido por la refinería de Barrancabermeja, Colombia, y el modificado, por Shell.

Figura 5. Granulometría empleada en la investigación md10



Fuente: presentación propia de los autores.

Figura 6. Granulometría empleada en la investigación md12



Fuente: presentación propia de los autores.

2.2 Caracterización del granular y de los asfaltos

El material granular se caracterizó realizando los ensayos de laboratorio que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del material granular

Ensayo	Norma	Resultado
Absorción agregado grueso (%)	ASTM C 127	3,36
Peso específico aparente	ASTM C 127	2,38
Absorción agregado fino (%)	ASTM C 128	2,57
Peso específico aparente	ASTM C 128	2,46
Desgaste agregado (%)	ASTM C 535	25,60
Equivalente de arena (%)	ASTM D 2419	65,00

Fuente: presentación propia de los autores.

Los asfaltos se caracterizaron realizando los ensayos de laboratorio que aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los asfaltos

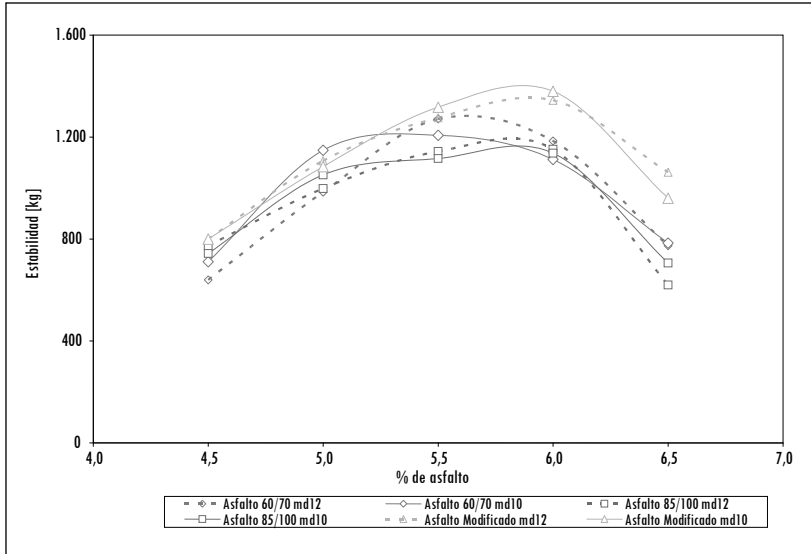
Ensayo	Norma	Resultado	Resultado	Resultado
Penetración (0,1 mm)	ASTM D 5-97	62	95	54
Ductilidad (cm)	ASTM D 113-99	115	120	156
Punto de ablandamiento (°C)	ASTM D 36-95	43	47	54
Punto de llama e ignición (°C)	ASTM D 3143-98	240 y 265	230 y 260	220 y 242
Viscosidad a 135 (°C)	ASTM D-2170	0,56	0,40	2,37

Fuente: presentación propia de los autores.

3. Análisis de resultados

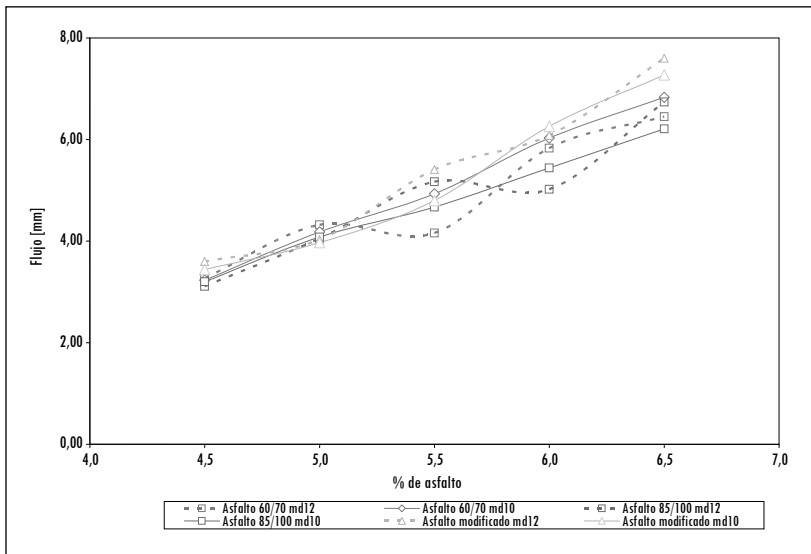
La primera parte de la investigación correspondió a establecer el contenido óptimo de asfalto para las dos granulometrías del estudio y los tres asfaltos utilizados. A partir del análisis de la estabilidad, del flujo y de la densidad de la mezcla (figuras 7, 8 y 9, respectivamente), se determinaron los porcentajes óptimos de asfalto, que aparecen en la Tabla 3.

Figura 7. Estabilidad de las mezclas asfálticas md10 y md12



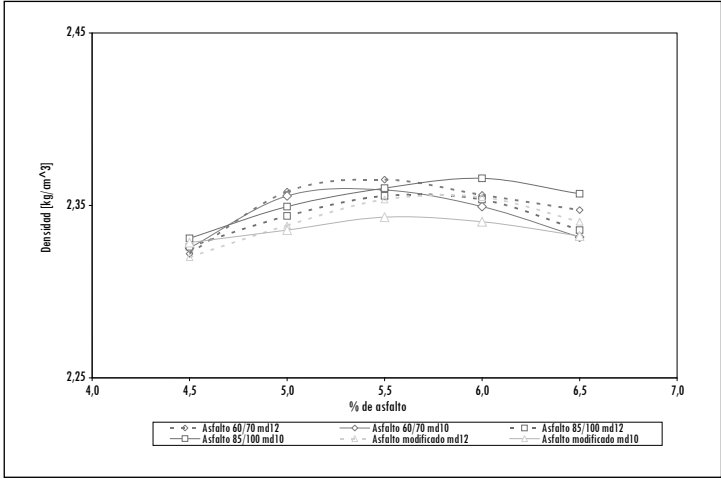
Fuente: presentación propia de los autores.

Figura 8. Flujo de las mezclas asfálticas md10 y md12



Fuente: presentación propia de los autores.

Figura 9. Densidad de las mezclas asfálticas md10 y md12



Fuente: presentación propia de los autores.

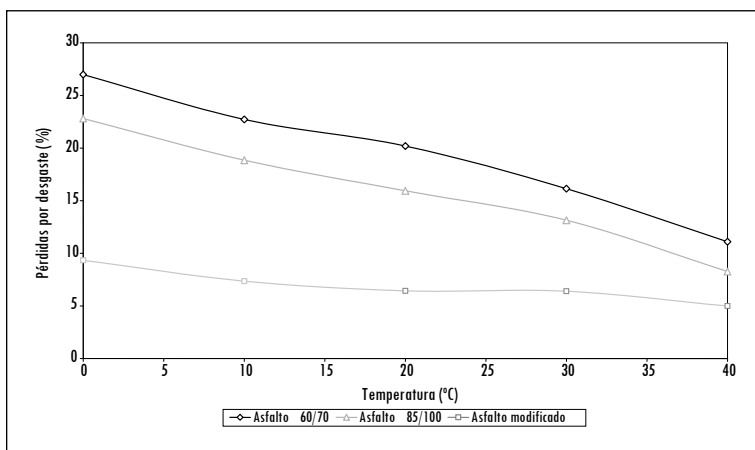
Tabla 3. Porcentajes óptimos de asfalto para las curvas granulométricas del estudio

Granulometría	Asfaltos		
	60/70	85/100	Modificado
md10	5,75	5,75	6,00
md12	5,75	5,75	6,00

Fuente: presentación propia de los autores.

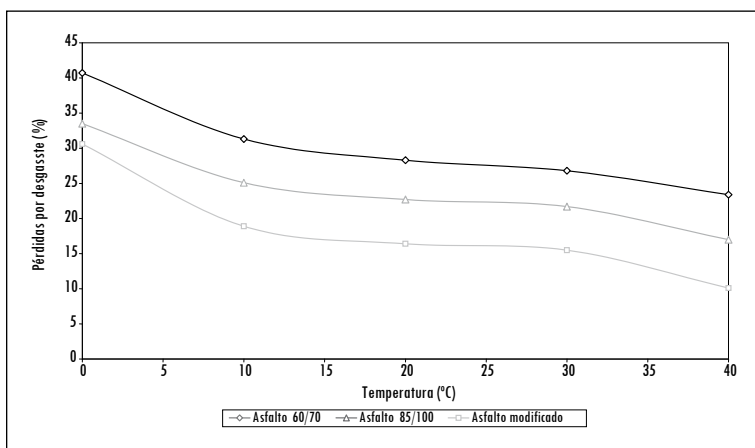
Fabricadas las muestras y ejecutados los ensayos de UCL, en estado seco y húmedo, a las diferentes temperaturas (0, 10, 20, 30 y 40 °C), los resultados son los siguientes: la cohesión de los asfaltos en la granulometría md10 se puede observar en las figuras 10 (estado seco) y 11 (estado húmedo). En la primera se puede observar que en la medida en que la temperatura aumenta, la cohesión de los diferentes asfaltos disminuye, con mayores pérdidas para el asfalto con penetración 60/70. Adicionalmente, se puede establecer que el asfalto modificado presenta un comportamiento de cohesión con el árido muy similar para las temperaturas estudiadas. Las pérdidas por cohesión para el asfalto modificado, con respecto al asfalto 60/70, son aproximadamente 300% menores y del 9%, para el asfalto 85/100.

Figura 10. Influencia de la temperatura en la cohesión para las muestras con granulometría md10 en estado seco



Fuente: presentación propia de los autores.

Figura 11. Influencia de la temperatura en la cohesión para las muestras con granulometría md10 en estado húmedo

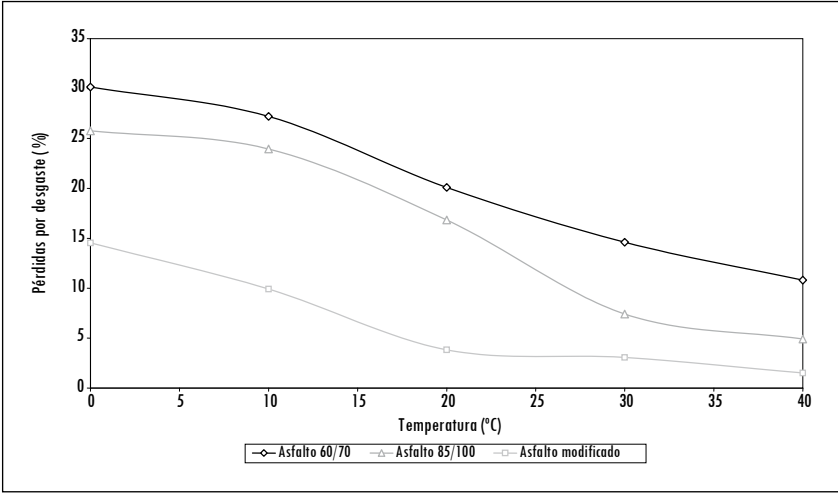


Fuente: presentación propia de los autores.

De la Figura 11 se puede establecer que para la mezcla md10 y el ensayo UCL en estado húmedo las pérdidas por desgaste, sin importar el tipo de asfalto, son mayores a temperaturas bajas (0 °C) y que existe un comportamiento muy similar entre los 10 °C y los 30 °C. El asfalto que presenta mejor comportamiento

a la cohesión es el modificado, seguido del asfalto convencional con penetración 85/100. Por último, se observa una tendencia muy similar del comportamiento de los tres asfaltos con la temperatura. Por otro lado, en las figuras 12 y 13 se muestran los resultados del desgaste para la granulometría md12 en estado seco y húmedo.

Figura 12. Influencia de la temperatura en la cohesión para las muestras con granulometría md12 en estado seco

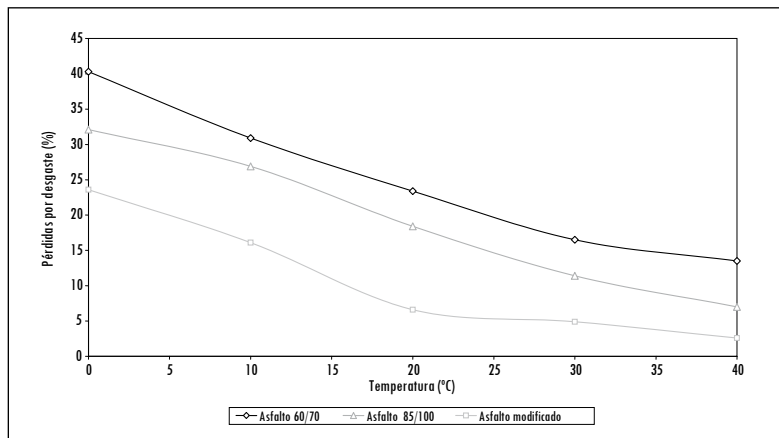


Fuente: presentación propia de los autores.

En la Figura 12 se puede observar que el comportamiento del asfalto modificado entre los 0 °C y los 20 °C decrece de forma lineal y, posteriormente, entre los 20 °C y los 40 °C permanece relativamente constante. Este comportamiento muestra la influencia de la temperatura en la pérdida de cohesión en la mezcla a temperaturas bajas y su poca afectación a temperaturas altas.

En el caso de los asfaltos convencionales (60/70 y 85/100), se podría manifestar que la totalidad del rango de temperaturas influye de manera significativa en la cohesión de la mezcla. Adicionalmente, se determinó aproximadamente una diferencia entre la cohesión del asfalto modificado con los convencionales, de aproximadamente entre 200% y 300% su valor.

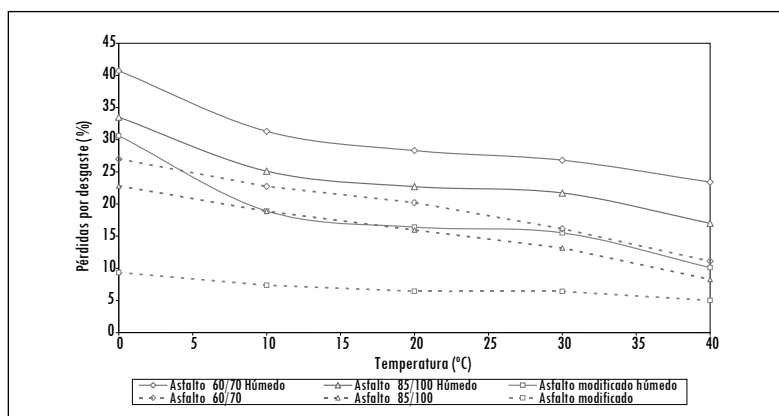
Figura 13. Influencia de la temperatura en la cohesión para las muestras con granulometría md12 en estado húmedo



Fuente: presentación propios de los autores.

De la Figura 13 se puede concluir que la cohesión de los diferentes asfaltos estudiados respecto al ensayo UCL en estado húmedo desciende en forma lineal para los asfaltos convencionales (60/70 y 85/100) desde la temperatura baja (0 °C) hasta las temperaturas altas (40°C), y para el asfalto modificado el descenso es mayor a las temperaturas de 0 °C y 20 °C, y muy similar para las temperaturas superiores a 20 °C. Por último, en las figuras 14 y 15 se presentan los resultados en seco y húmedo del desgaste para las granulometrías y asfaltos estudiados.

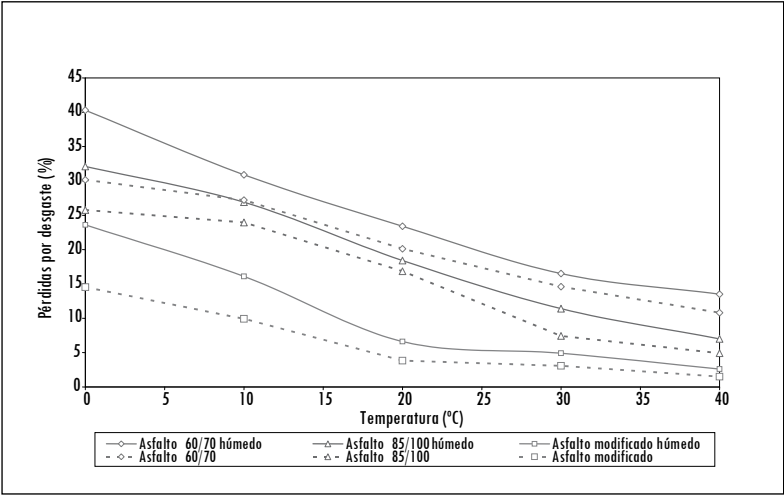
Figura 14. Curvas de estado para la granulometría md10



Fuente: presentación propia de los autores.

De la Figura 14 se concluye que el efecto del agua es una variable crítica en la cohesión en la mezcla asfáltica con granulometría md10, pues reduce la cohesión en todas las temperaturas ensayadas y con los tres tipos diferentes de asfalto utilizados. Las reducciones mayores se presentan para las temperaturas de 0 °C y 10 °C, y las menores a las temperaturas mayores, de 30 °C y 40 °C. Las reducciones en cohesión respecto al contacto con el agua oscilan entre 60% y 200%; las mayores son para las temperaturas bajas.

Figura 15. Curvas de estado para la granulometría md12



Fuente: presentación propia de los autores.

En la Figura 15 se puede observar que el comportamiento de la cohesión de los asfaltos se reduce si hay contacto con agua, especialmente para el asfalto modificado del estudio. Por otra parte, para la temperatura de 40 °C, la incidencia en la cohesión por el contacto con el agua es menor que a temperaturas bajas. Por último, el mejor comportamiento de la cohesión es para el asfalto modificado, sin importar del ensayo en estado seco o húmedo; así mismo, su comportamiento es relativamente constante entre los 20 y 40 °C.

4. Conclusiones

De los resultados de los ensayos con UCL, en estado seco y húmedo, a diferentes temperaturas, con los tres asfaltos estudiados y con las granulometrías md10 y md12 del IDU, se puede concluir que:

- La cohesión de los asfaltos con el granular se reduce si existe presencia de agua en las mezclas asfálticas estudiadas, pues se presentan mayores pérdidas relativas (estado seco y húmedo) en el caso del asfalto modificado. Sin embargo, los asfaltos convencionales presentan como valor absoluto (cohesión seca o húmeda) mayores pérdidas de cohesión. Este comportamiento se debe a la adhesividad del asfalto con el material granular, que en el caso de los asfaltos modificados es mayor, tal como se observó en la investigación.
- La temperatura del ensayo es una variable crítica en la cohesión de la mezcla: a temperaturas bajas (0-10 °C), la cohesión es baja, y a temperaturas altas (40 °C), se incrementa sustancialmente. En el caso del asfalto modificado, irrelevantemente de la presencia de agua o no, la cohesión es mayor y se debe, sobre todo, a que el polímero crea mayor resistencia de unión entre los agregados.
- Para la granulometría md10 se observó que entre las temperaturas de 10 y 30 °C, el comportamiento de la cohesión en estado seco y húmedo presenta un valor relativamente constante; caso contrario de la granulometría md12, cuyo comportamiento es lineal decreciente en dichas temperaturas.
- El uso de asfalto modificado incrementa la cohesión de la mezcla, sin importar la granulometría utilizada y el estado del ensayo (seco o húmedo).
- La granulometría md12, sin importar el tipo de asfalto y temperatura de ensayo, presenta un mejor comportamiento a la cohesión en estado seco y húmedo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Militar Nueva Granada, especialmente a los laboratorios de Ingeniería Civil, por su colaboración en la realización de las pruebas y ensayos; a la Vicerrectoría de Investigaciones, por el apoyo al Grupo de Geotecnia; al programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores de Colciencias, y a la firma Murcia Murcia S. A., por la donación de los agregados pétreos usados en la investigación.

Referencias

- ASPHALT INSTITUTE. *Superpave mix design: serie 2 (SP-2)*. Lexington, 1996.
- . *Performance grades asphalt binder specification and testing: series 1 (SP-1)*. Lexington, 1996.
- BIANCHETTO, H.; MIRÓ, R. y PÉREZ, J. F. Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente: beneficios y limitaciones de la incorporación de filleres comer-

- ciales. Primera parte: estudios en base al método UCL. *Revista Infraestructura Vial*, 2007, núm. 17, pp. 13-24.
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá*. Bogotá, 2005.
- KENNEDY, T. *et al.* *Superior performing asphalt pavement (superpave): the product of the SHRP asphalt research program*. Washington: SHRP, 1994.
- MIRÓ RECASENS, R. *Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo cántabro*. Cataluña: Universidad Politécnica de Catalunya-Departamento de ITT, 1994.
- MIRÓ, R.; MARTÍNEZ, A. y PÉREZ, F. Evaluation of effect of heat-adhesive emulsions for tack coats using shear test from Laboratorio de Caminos de Barcelona. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2006, núm. 1970, pp. 64-70.
- PÉREZ, F.; MIRÓ, R. y MARTÍNEZ, A. Caracterización de los ligantes bituminosos a partir de su tenacidad y energía de rotura. *XIII Congreso Ibero-Americano del Asfalto*, San José de Costa Rica, Lanamme, 2005, pp. 1-18.
- PEREZ, F. *et al.* Nuevos ensayos para la caracterización de ligantes y mezclas asfálticas. *Carreteras*, 2002, núm. 122, pp. 24-35.