

Optimización del contenido de asfalto modificado con cal hidratada en mezclas asfálticas densas

Optimization of the hydrated lime-modified asphalt content in dense asphalt mixes

Fecha de Recepción Artículo: JUNIO 11 DE 2015

Fecha de Aceptación Artículo: JULIO 10 DE 2015

JUAN GABRIEL BASTIDAS, MSC

Universidade de Brasília
Brasília, Brasil.

jbastidasmartinez@gmail.com

JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, PHD

Universidade de Brasília
Brasília, Brasil.

LÊDA DE F.L. LUCENA, DSC

Universidade Federal de Campina Grande
Campina, Grande Brasil.



Se han desarrollado diferentes técnicas y materiales para el aumento de la consistencia de asfaltos utilizados en carpetas de pavimentos flexibles. Para la modificación de asfaltos se utiliza la adición o sustitución de materiales alternativos, entre los cuales se destacan: fibras, materiales llenantes naturales, cemento, cal y polvo de caucho proveniente de las llantas usadas. La cal hidrata contribuye a tener asfaltos modificados de mayor consistencia, ayudando a tener mezclas más flexibles y aumentando la adhesividad entre los materiales. Este trabajo tiene como finalidad verificar la posibilidad de utilizar la cal hidratada como agente modificador del asfalto y posteriormente en mezclas densas, proporcionando a su mejoría de comportamiento, sin tener en cuenta en esta fase inicial, los costos directos. Fueron realizados asfaltos modificados utilizando diferentes concentraciones de cal hidratada: 10%, 15% y 20%, con respecto al peso total del asfalto. Para la determinación de las propiedades de los asfaltos modificados, fueron realizados los ensayos de: viscosidad Brookfield, punto de ablandamiento, penetración, ductilidad, recuperación elástica y densidad, posteriormente de la clasificación, fue realizado el diseño de la mezcla densa por medio de la metodología Marshall y finalmente se determinaron las características mecánicas y de adhesividad, tales como: estabilidad, fluencia Marshall, resistencia a la tracción y resistencia al daño por humedad inducida de las mezclas densas. Los resultados obtenidos muestran la influencia directa de la cal hidratada, los incrementos de la consistencia demuestran aumentos en las propiedades mecánicas y una disminución del contenido óptimo de asfalto.

Palabras clave: Asfaltos modificados, Cal hidratada, mezclas densas.

Abstract

Different techniques and materials have been developed for increasing the consistency of asphalt binders used in flexible pavements. For the modification of asphalts it is used the addition or substitution of alternative materials, among which stand out fibers, natural filler materials, cement, lime and rubber powder from used tires. Hydrated lime yields to more consistent modified asphalts, helping to have more flexible mixes and increasing the adhesiveness between the materials. This paper aims to verify the possibility of using hydrated lime as asphalt modifier and then in dense mixtures, providing improved behavior, regardless at this early stage, the direct costs. Modified asphalts were obtained by using different concentrations of hydrated lime: 10%, 15% and 20%, relative to the total weight of the asphalt. To determine the properties of the modified asphalts the following tests were performed: Brookfield viscosity,

softening point, penetration, ductility, elastic recovery and density. Subsequent to the classification, the design of the dense mixture was conducted through the Marshall method and finally the mechanical and adhesion characteristics, such stability, Marshall creep, tensile strength and resistance to moisture damage were determined. The results show the direct influence of the hydrated lime, the increases in consistency demonstrate the increases in mechanical properties and the decrease in the optimum asphalt content.

Key words: Modified asphalts, hydrated lime, dense mixes.

Introducción

El desenvolvimiento económico y la integración Nacional de un país son influenciados por el sector de los transportes. En Brasil, el sector de los transportes fue iniciado con la navegación marítima, seguido de la malla ferroviaria hasta la expansión y predominio de las carreteras, en especial de los pavimentos flexibles. Datos estadísticos de investigaciones realizadas por la Confederación Nacional del Transporte Brasileiro (CNT, 2013), indican que el Brasil tiene una malla vial compuesta por 1.713.855 kilómetros, de los cuales 79,3% son no pavimentadas, 11,8% pavimentadas y 8,9% encuentran en fase de planeación y estudios previos. Con la necesidad de mejorar y ampliar la malla vial, nace la preocupación de realizar nuevos estudios que desarrollen nuevas técnicas y materiales que presenten menor costo de construcción, manutención y que sean al mismo tiempo durables.

Los fenómenos destructivos más comunes en los pavimentos, en especial en la carpeta asfáltica, son el surgimiento de fisuras y deformaciones permanentes, con o sin formación de huellas. Las deformaciones permanentes pueden ocurrir con la ausencia o exceso de asfalto y ser originadas del envejecimiento del mismo. Son generalmente formadas por la aplicación cíclica de cargas en condiciones de temperatura elevada. Las fisuras o grietas pueden ser originadas en la capacidad del propio revestimiento o ser originadas por acciones de las capas inferiores en consecuencia de las alteraciones climáticas.

La rigidez del mastic (asfalto con carga mineral) influencia directamente en el comportamiento del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica, aumentando la resistencia a la deformación permanente y al fisuramiento, teniendo en cuenta la indispensable definición de una estructura de pavimento con elevada compatibilidad entre las capas. En lugares de elevada temperatura, pavimentos con asfaltos de mayor consistencia y mayor rigidez, tienden a tener mayores valores de resistencia a la deformación permanente, en cambio, que en locales de temperaturas bajas tienden a tener aumentar considerablemente la rigidez, tornándose más susceptibles

al fisuramiento. Este problema puede ser mitigado por la incorporación de fibras metálicas, sintéticas o naturales.

La norma Brasileira del DNIT (Departamento Nacional de Infraestructura y Transportes), define material de lleno, como material inerte finamente dividido por el tamiz 200 (0,075), en lo mínimo 65%. Este material tiene que presentar una homogeneidad y estar libre de grumos. Los materiales más utilizados para este fin son: cemento portland, polvo de piedra, cal hidratada, cenizas volátiles u otro material conveniente preparado por la norma y satisfacer las necesidades técnicas de la mezcla asfáltica.

El material fino es importante para llenar los vacíos entre los agregados gruesos de las mezclas, promoviendo el contacto puntual entre las partículas mayores y alterar las propiedades de los asfaltos al actual como parte activa del mastic, generando aumento de la consistencia y cimentando las partículas mayores (Bardini et al., 2010).

Según Bardini (2013), unas de las principales consideraciones a tener en cuenta en el material llenantes, es la granulometría. Cuando el asfalto recubre el material suficiente fino (menor que 20 μm) el mastic forma una película muy fina, donde los granos de material llenante crean puntos de contacto ente las partículas del esqueleto pétreo. Cuando se tiene material llenante grueso, el mastic llena los vacíos del esqueleto mineral.

Las propiedades de los asfaltos dependen de las especificaciones del propio asfalto, así como de la forma de incorporación de los materiales llenantes y fibras. Entre los materiales llenantes más convencionales se encuentran el polvo de piedra, cemento y cal. En este contexto, el presente estudio busca analizar la influencia de la cal hidratada vislumbrando la mejoría del comportamiento de las mezclas asfálticas para fines de pavimentación.

Materiales y métodos

Materiales utilizados

Para estudiar la influencia de la incorporación de la cal hidratada en el asfalto, y posterior en el concreto asfáltico denso, fueron utilizados los siguientes materiales: CAP 50/70; cal hidratada y agregados de naturaleza calcaria.

El asfalto corresponde a un Cemento Asfáltico de Petróleo clasificado como CAP 50/70, producido en la refinería Gabriel Pasos (GEGAP) en el municipio de Betim, estado Brasileiro de Minas Gerais. En la Tabla 1 se presenta los resultados de la caracterización del CAP 50/70 obtenidos por el productor en el proceso del control de calidad.

Tabla 1.

Resultados del asfalto – Petrobras (refinería Gabriel Pasos 2012).

Característica	Norma	Especificación	Resultado	Unidad
Penetración	NBR 6576	50 a 70	50	0,1 mm
Punto de ablandamiento	NBR 6560	46	46	° C
Viscosidad Brookfield SP-21 a 177; 150 e 135 ° C	NBR 15184	Min: 57 a 285; 112; 274	66; 176; 350	cP
ROTf Penetración Retenida	ASTM D 2872	55 min	72	%
ROTf Aumento del punto de ablandamiento	ASTM D 2872/NBR 6560	8 máx.	3,4	° C
ROTf Ductilidad a 25 ° C	ASTM D 2872/NBR 6293	20 min	> 150	cm
ROTf Variación e % masa	ASTM D 2872	-0,5 a 0,5	-0,099	%
Ductilidad a 25 ° C	NBR 6293	60 min	> 150	cm
Solubilidad n tricloroetileno	NBR 14855	99,5 min	100	% masa
Punto de fulgor	NBR 11341	235	347	° C
Índice de susceptibilidad térmica		-1,5 a 0,7	-1,0	N/A
Densidad Relativa a 20/4° C	NBR 6296	----	1,005	N/A
Recalentamiento a 177 ° C		----	No especifica	N/A

*NBR Norma Brasileira

La cal hidratada fue utilizada como material de referencia para otra pesquisa realizada por los mismos autores, cuyo objetivo era estudiar el efecto de comparación de la cal hidratada con residuos provenientes de las estaciones de tratamiento de agua potable y residual.

En este estudio fue utilizada cal hidratada tipo calcita producida en el estado Brasileiro de Minas Gerais. Esta escogencia se fundamentó en el hecho de la obtención de mejores resultado cuanto al mejoramiento de adhesividad y desempeño mecánico de la mezcla asfáltica.

Los agregados empleados en la fabricación del concreto asfáltico denso, fueron definidos de modo a satisfacer el intervalo medio de la granulometría tipo C, según la norma Brasileira (DNIT, 2006), destinada para capas de rodamiento

densas. Fue utilizado material calcáreo proveniente de la mina Briccal Industria, comercio y mineración Ltda, localizada en la región del Distrito Federal. En la Tabla 2 se presentan los ensayos de caracterización de agregados.

Tabla 2.
Resultados de caracterización de los agregados

Ensayo	Norma de ensayo	Unidad	Especificación	Resultado
Equivalente de Arena	DNER-ME 054/97	%	Min 55	66
Abrasión Los Ángeles	DNER-ME 035/98	%	Máx. 50	31
Índice de Forma	DNER-ME 086/94	IF	> 0,5	0,7
Durabilidad	DNER-ME 089/94	%	12	7
Adhesividad del agregado al asfalto (con e sin cal hidratada).	DNER-ME 078/94	Cualitativa	Satisfactoria	Satisfactoria
Masa específica en la condición seca	DNER-ME 195/97	g/cm3	----	2,64
Masa específica na condición saturada superficie seca	DNER-ME 195/97	g/cm3	----	2,59
Absorción	DNER-ME 195/97	%	----	0,8
Densidad Real - Agregado medio	DNER-ME 084/95	-	----	2,6
Masa específica Real - llenante granular	DNER-ME 085/94	g/cm3	----	2,719
Masa específica Real - llenante cal hidratada	DNER-ME 085/94	g/cm3	----	2,692

Preparación de los asfaltos modificados con cal hidratada

Los asfaltos modificados fueron elaborados en un equipamiento rotacional como es indicado en la Figura 1. El equipamiento operaba con una velocidad comprendida en el intervalo de 250 a 300 rpm durante 45 minutos. El asfalto fue llevado hasta una temperatura de 165 °C y la cal hidrata a 170 °C, después fueron mezclados a una temperatura media de 150 +/-3 °C produciendo los siguientes tipos de asfaltos modificados.

- Tipo I: A - Asfalto CAP 50/70 (referencia);

- Tipo II: A CH10 - 90% Asfalto CAP 50/70 + 10% Cal Hidratada;
- Tipo III: A CH15 - 85% Asfalto CAP 50/70 + 15% Cal Hidratada;
- Tipo IV: A CH20 - 80% Asfalto CAP 50/70 + 20% Cal Hidratada.

Fueron analizados diferentes porcentajes de cal hidratada dentro del asfalto: 10%, 15% y 20% en peso, entre tanto se observó mayor homogeneidad del asfalto modificado con 20% (Martínez, 2014). La adición de porcentajes mayores genero el proceso de sedimentación en el fundo del recipiente, originando la mezcla no homogénea.



Figura 1.
Fabricación en laboratorio de los asfaltos modificados con cal hidratada.

Ensayos de caracterización de los asfaltos modificados

Para el conjunto de asfaltos modificados con cal hidratada, fueron realizados los ensayos de caracterización convencional de asfalto, tales como: consistencia (penetración y punto de ablandamiento), viscosidad rotacional, recuperación elástica, ductilidad y densidad.

Diseño Marshall

El diseño Marshall fue realizada según los procedimientos de la norma Brasileira DNIT 2006, según el intervalo granulométrico tipo C correspondiente a un concreto

asfáltico denso. Para determinar el porcentaje óptimo de asfalto para la fabricación de la mezcla asfáltica, se utilizó asfalto CAP 50/70 puro y modificado con la cal hidratada en la proporción: 80% CAP y 20% material llenante. Para fines prácticos del trabajo, se adoptó la siguiente metodología:

- Tipo I: CA – Concreto Asfáltico (CAP 50/70 referencia);
- Tipo IV: CA – CH20 Concreto Asfáltico con cal hidratada (80% CAP + 20% Cal hidratada).

Cabe resaltar que para el estudio de los concretos asfálticos o mezclas densas, se utilizaron los asfaltos asfálticos tipo I e tipo IV descritos en el ítem 2.2.

Las especificaciones para la fabricación del concreto asfáltico, son presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3.

Características del concreto denso – Granulometría C (DNIT)

Características	Método de ensayo	Capa de rodadura	Capa intermedia (Binder)
Porcentaje de vacíos, %	DNER-1995	3 a 5	4 a 6
Relación Asfalto/vacíos	DNER-1995	75 - 82	65 - 72
VAM Volumen de Agregado Mineral (%) función del Tamaño Nominal Máximo	DNIT-2006	15	15
Estabilidad, mínima, (kgf) (75 golpes)	DNER-1955	500	500
Resistencia a tracción por Compresión Diametral estática a 25°C, mínima (MPa)	DNIT-2009	0,65	0,65

Según las curvas de viscosidad versus temperatura de los dos tipos de asfaltos (LA y LA-CH), fueron obtenidos los intervalos de temperaturas de usina y compactación de las mezclas calientes. La Tabla 4 presenta los intervalos de temperaturas para las dos mezclas de estudio.

- Ensayo Brasileño (DNIT, 2009), módulo de resiliencia (DNIT, 2009), resistencia al daño por humedad inducida o ensayo Lottman modificado (ABNT, 2011) y desgaste a la abrasión en la máquina de los Ángeles (DNIT, 1999).

Caracterización de los asfaltos modificados con cal

Luego de realizado el ensayo Marshall para las dos mezclas asfálticas de estudio, procedió a determinar las propiedades mecánicas y de adhesividad, teniendo en cuenta los siguientes ensayos: Estabilidad y fluencia Marshall (DNIT, 2009), resistencia a la tracción por compresión diametral

Resultados y discusión

Caracterización de los asfaltos modificados con cal

En la Tabla 4 se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de los asfaltos modificados con diferentes contenidos de cal hidratada.

Tabla 4.

Características de los asfaltos modificados con cal hidratada

Muestra	Tipo	Contenido de Cal hidratada (%)	Penetración (0,1 mm)	Punto de ablandamiento (°C)	Ductilidad (cm)	Recuperación Elástica (%)	Densidad (gr/cm³)
1	LA	0	60	46,0	100	7,5	1,050
2	LA CH10	10	61	48,6	69,3	7,5	1,065
3	LA CH15	15	59	50,4	42,5	7,5	1,102
4	LA CH20	20	47	52,0	37,3	7,5	1,139

La Figura 2 presenta las curvas de viscosidad absoluta versus temperaturas para cada tipo de asfalto modificado con cal hidratada. La Tabla 5

indica los intervalos de temperaturas de la usina y de compactación de la mezcla asfáltica, a partir de los valores de viscosidad.

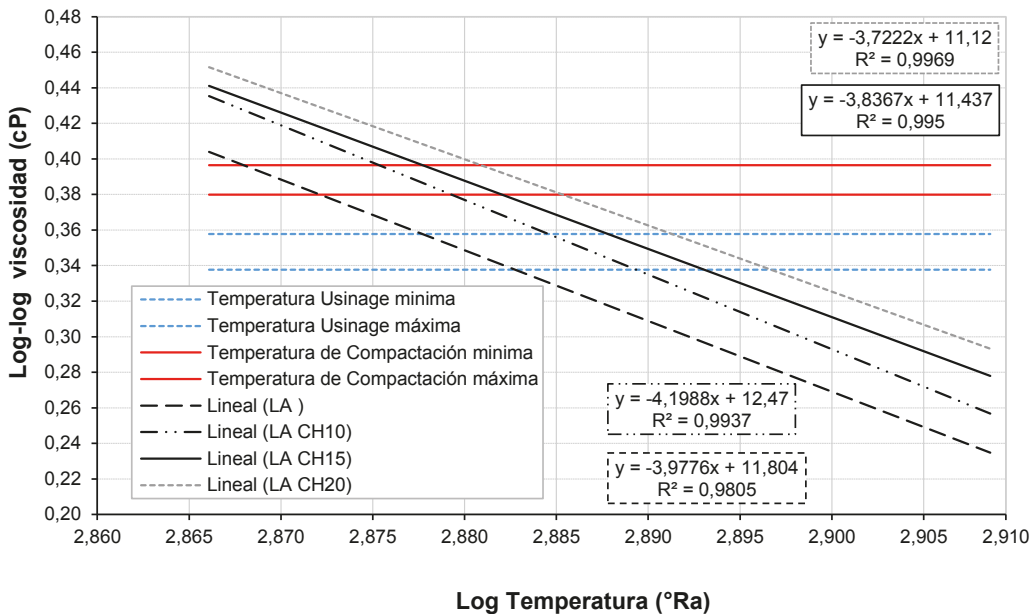


Figura 2.

Curva de viscosidad versus Temperatura de los asfaltos modificados con cal hidratada.

Tabla 5.

Intervalos de temperaturas de compactación y de calentamiento de los asfaltos modificados con cal hidratada

Temperatura (°C)	Compactación			Calentamiento del Asfalto		
	Min	Media	Max	Min	Media	Max
LA	137	139	141	146	148	151
LA CH 10	144	146	148	153	155	158
LA CH 15	146	148	150	156	158	161
LA CH 20	149	151	154	160	162	165

El ensayo de penetración indica un aumento proporcional de la consistencia en función del porcentaje de cal hidratada adicionada al asfalto. La disminución del valor de la penetración, se traduce en el aumento de la consistencia, indicando mayor dureza. La otra medida de la consistencia es el aumento del punto de ablandamiento por la presencia del contenido de cal hidratada, pudiendo contribuir en el concreto asfáltico a la reducción del fenómeno de ahuellamiento.

Se observó el aumento de la viscosidad de los asfaltos modificados con cal hidratada de forma proporcional con respecto a la mezcla de referencia (asfalto puro). Por consiguiente, probablemente se tiene aumento del desempeño mecánico de la mezcla asfáltica. El aumento de la viscosidad está relacionado

al aumento de los intervalos de temperaturas de usina y de compactación.

Ensayo Marshall

Después de realizar la caracterización de los asfaltos modificados, fue determinado utilizar el asfalto A CH 20, a fin de estudiar la mayor influencia de la cal hidratada como material modificador. Asfaltos modificados con contenidos de cal hidratada mayores de 20% no presentaron afinidad con el asfalto, puesto que el elevado contenido de material conlleva a la sedimentación y separación de materiales. La Tabla 6 indica los parámetros de las dos mezclas de concreto asfáltico de estudio, obtenidas para cinco probables contenidos de asfalto.

Tabla 6.
Parámetros del ensayo Marshall

Contenido de Asfalto	CA - Concreto Asfáltico (CAP 50/70)					CA CH - (CAP 50/70 con Cal Hidratada)				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
d* (gr/cm ³)	2,400	2,405	2,419	2,437	2,410	2,334	2,378	2,398	2,414	2,406
DMT* (gr/cm ³)	2,563	2,543	2,512	2,493	2,475	2,492	2,476	2,461	2,445	2,430
Vv* (%)	6,4	5,4	3,7	2,3	2,6	6,3	4,0	2,5	1,3	1,0
VCB* (%)	9,6	10,8	12,1	13,4	14,4	8,3	9,5	10,6	11,8	12,8
VAM* (%)	15,9	16,2	15,8	15,6	17,1	14,6	13,4	13,2	13,1	13,8
RBV* (%)	60,1	66,6	76,5	85,5	84,6	56,7	70,6	80,8	90,1	92,7
Estabilidad (KN)	7,78	8,87	11,07	11,11	9,55	9,71	10,37	12,10	13,65	11,87
Fluencia (0,25 mm)	24	20	20	20	36	14	16	17	20	21

*d: densidad aparente; DMT: Densidad Máxima Teórica; Vv: Volumen de Vacíos; VCB: Volumen Con Bitumen; VAM: Volumen de agregado Mineral; RBV: Relación Bitumen Vacíos.

Las Figuras 3 presentan los principales parámetros del ensayo Marshall, tales como: (a) densidad aparente de la mezcla compacta (d), (b) densidad máxima teórica (DMT)

calculada matemáticamente, (c) volumen de vacíos (Vv), (d) volumen de agregado mineral (VAM), (e) relación bitumen vacíos (RBV) y (f) estabilidad versus contenido de asfalto.

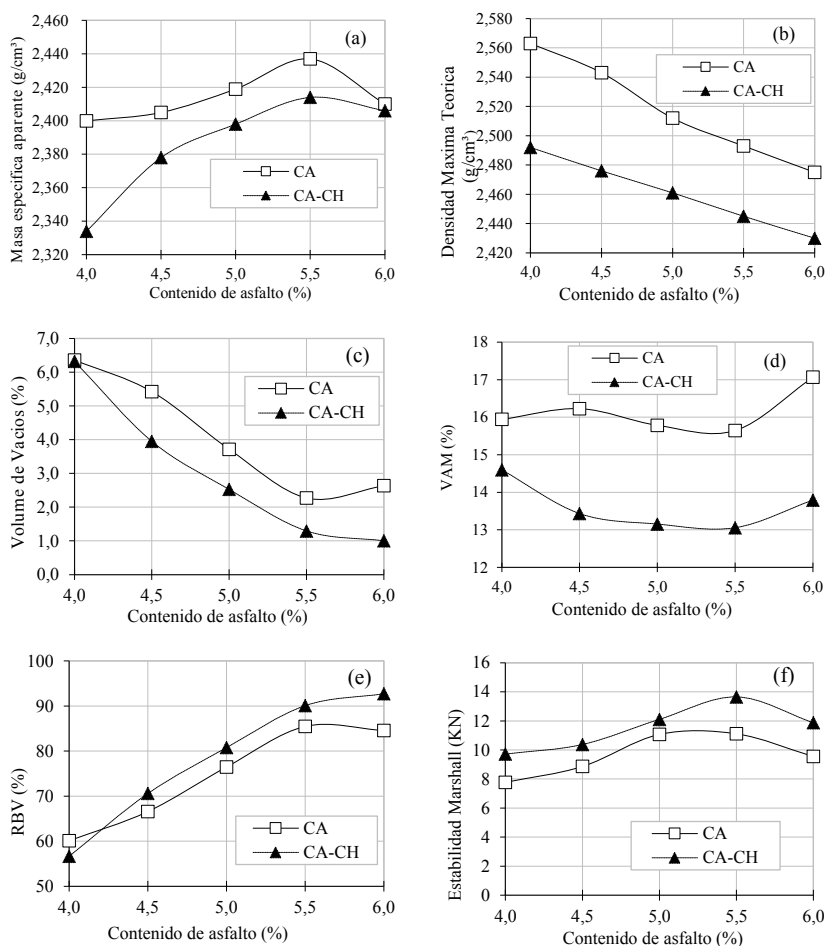


Figura 3.

(a) Densidad específica aparente (d); (b) Densidad Máxima Teórica (DMT); (c) Volumen de vacíos (Vv); (d) Volumen de Agregado Mineral (VAM); (e) Relación Bitumen Vacíos (RBV) y (f) Estabilidad Marshall versus contenido de asfalto.

Para determinación del contenido óptimo de asfalto fueron utilizados tres métodos: Criterio 1: considera el contenido óptimo de asfalto correspondiente al valor medio de la máxima estabilidad, máxima masa específica y un determinado volumen de vacíos. El criterio 2: considera los parámetros de la norma Brasileña (DNIT 043), teniendo en cuenta un determinado intervalo de la relación bitumen vacíos y volumen de vacíos, así como también un valor de estabilidad mínimo de 500 kgf. El criterio 3: corresponde a un método grafico que evalúa los intervalos máximos y mínimos del volumen de vacíos y de la relación bitumen vacíos.

La Tabla 7 indica el resultado de los contenidos óptimos de asfalto obtenidos a partir de los tres métodos seleccionados para los dos tipos de concretos asfálticos.

Tabla 7.

Contenido de asfalto optimo con los tres métodos adoptados

Criterio	CA	CA-CH
Criterio 1	5,2	5,2
Criterio 2	5	4,7
Criterio 3	5,1	4,8
Media	5,1	4,92

Para este estudio se optó por considerar el método grafico como método de determinación del contenido óptimo de asfalto, resaltando que además de relacionar los parámetros de volumen de Vacíos y Relación de Bitumen Vacíos, el método presento un valor intermedio al encontrado en los otros métodos. La mezcla realizada con asfalto modificado con cal hidratada CA CH20 presenta menor contenido de asfalto con respecto a la muestra de referencia con asfalto puro CA, resaltando que el contenido efectivo de Cemento Asfáltico usado es reducido 20% con la adición de la cal hidratada. Por tanto, puede se concluye que la adición de la cal hidrata na proporción del 20% del peso del asfalto, contribuye para la reducción del 0,3% del contenido óptimo de asfalto en un concreto denso, siendo que el contenido optimo es compuesto por 0,96% cal hidratada e 3,84% Asfalto puro.

Características mecánicas

La Figura 4 indica los resultados obtenidos para la determinación de las características mecánicas, tales como resistencia a la tracción por compresión diametral y el módulo de resiliencia, para las dos mezclas de estudio.

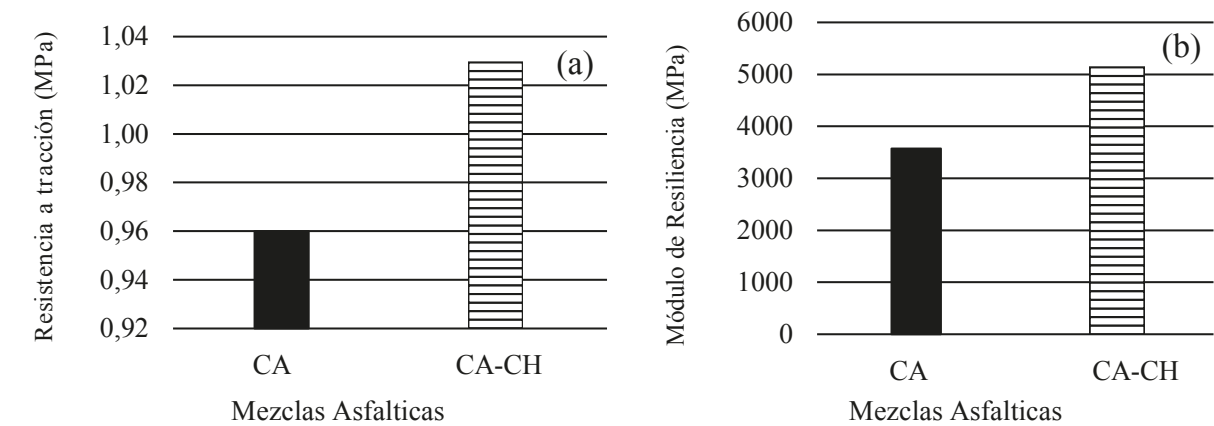


Figura 4.

Características mecánicas: (a) resistencia a la tracción y (b) módulo de resiliencia.

En el ensayo de resistencia a la tracción, las dos mezclas analizadas atendieron el valor mínimos de 0,65 MPa propuesto por la norma del (DNIT, 2006). El aumento de resistencia a la tracción indica mayor capacidad estructural de la mezcla, el aumento de está con la presencia de la cal hidrata puede estar relacionada a la disminución del volumen de vacíos conforme presentado en la Figura 4.

Los resultados del módulo de resiliencia permiten determinar la rigidez de la mezcla, según la relación entre la repetición de la tensión de desvío y las deformaciones recuperables. De modo general, se verifica el aumento del valor del módulo de resiliencia de la mezcla con la incorporación de la cal hidratada (CA CH20) en relación a la mezcla de referencia – Asfalto puro (CA).

La aceptación de los incrementos del módulo de resiliencia de las misturas estudiadas con la adición de cal hidratada dependerá de las características de los materiales y los espesores de las otras capas de la estructura del pavimento dentro de un análisis conjunto. La compatibilidad de las deformaciones define la vida útil del pavimento (Silva, 2008). Cuando el valor del módulo de resiliencia aumenta considerablemente, se presenta una reducción de la flexibilidad, pudiendo acontecer deformaciones permanentes. Por esta razón, el criterio para definir valores del módulo de resiliencia

adecuados, es el espesor de la carpeta de rodadura (Junior, 2008) y la compatibilidad de deformación entre las capas que constituyen el pavimento.

Características de adhesividad

La Figura 5 indica los resultados de las características de adhesividad considerando el desempeño mecánico.

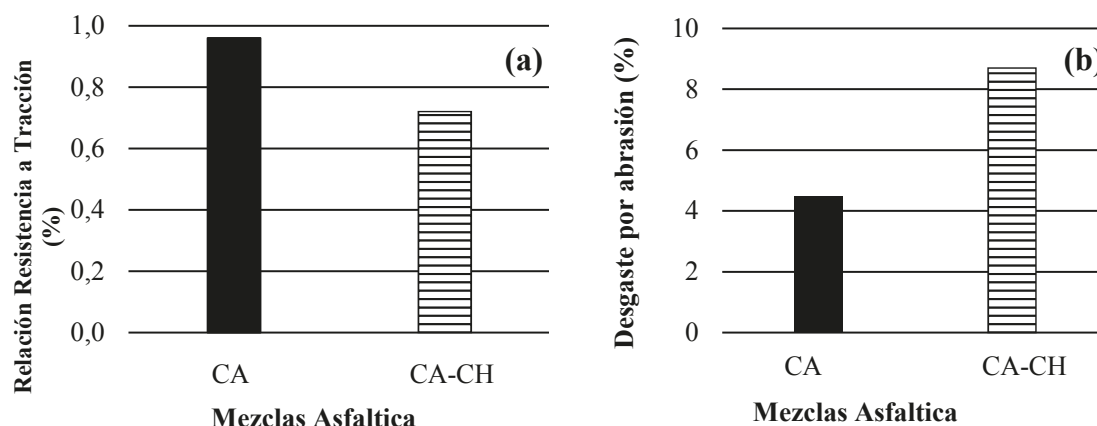


Figura 5.

Características de adhesividad: (a) relación de las resistencias a la tracción de muestras condicionadas y no condicionadas y (b) desgaste a la abrasión en la máquina los Ángeles.

En el ensayo de resistencia al daño por humedad inducida (ensayo Lotman modificado) para conseguir un volumen de vacíos en el intervalo de 6% a 8% los cuerpos de prueba fueron compactados en el intervalo del 18 a 28 golpes, razón por la cual se adoptó compactar con 25 golpes.

La mistura con adición de cal hidratada consiguió el valor mínimo de la relación de resistencias a la tracción RRT con y sin acondicionamiento que propone la norma AASHTO 2007 y la norma Brasileira ABNT 15617 (2011). En la versión de la norma (AASHTO 1999) que se compatibiliza con el método de la Superpave, el valor mínimo de aceptación es de 80%. En este escenario, la mistura realizada con asfalto modificado con cal hidratada no consigue atender el valor del criterio de la norma. El hecho de presentar menores relaciones de las resistencias a la tracción de las muestras condicionadas y no condicionadas, puede estar asociado al aumento de la rigidez del asfalto modificado, cuando es sometido a temperaturas bajas.

En los resultado del ensayo de evaluación al desgaste en la máquina de los Ángeles, se observó que

la mezcla con cal hidratada (CA CH20) presenta mayor desgaste a la abrasión de que la muestra de referencia (CA), hecho que puede ser atribuido a la reducción de la cantidad de Asfalto puro. Las dos mezclas estudiadas presentan valores menores que el 25%, considerando, por tanto, dentro del límite permitido para asfaltos modificados con polímeros, teniendo en consideración que el objetivo de la mistura es la evaluación del asfalto modificado por la cal hidratada.

Conclusiones y recomendaciones

- Con respecto a la consistencia del asfalto modificado con la presencia de la cal hidratada (LA-CH) se observa el aumento de la viscosidad, punto de ablandamiento y reducción de la penetración en relación al porcentaje de cal hidratada incorporada. La influencia más representativa fue con 20% de cal hidratada, indicando mayor aumento de la consistencia.

- El contenido de asfalto determinado en el ensayo Marshall redujo en 0,3% cuando se utilizó la cal hidratada como material modificador del asfalto (CA-CH) en relación a la muestra de asfalto puro (CA). Se observa que la mezcla con cal hidratada (CA-CH) presenta mayores valores de resistencia a la tracción por compresión diametral y módulo de resiliencia que la mezcla de referencia (CA).
- Los ensayos realizados para determinar la adhesividad a partir de ensayos mecánicos, son considerados satisfactorios para la mezcla de estudio, En el ensayo Lottaman modificado se observa que la relación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de la mezcla con presencia de la cal hidratada (CA CH) sometida a la condición de daño por humedad inducida consigue los requerimientos de la norma (ABNT, 2011). El ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles, presentan desgaste inferiores al estipulado por la norma (DNIT, 1999).
- Se puede concluir que técnicamente la utilización de la cal hidrata en el concreto denso, de la forma propuesta, es viable, entre tanto, investigaciones adicionales son importantes.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CNPq – organización Brasileña por el apoyo al proyecto de pesquisa y al laboratorio Infralab, perteneciente a la facultad de tecnología de la Universidad de Brasilia, por la realización de los ensayos.

Referencias bibliográficas

- [1]. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- [2]. NBR 15617: Misturas asfálticas – determinação do dano por umidade induzida (2011). 9p.
- [3]. AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials. Society for Testing Materials. AASHTO T 283: Resistance of compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage.
- [4]. ASTM American Society for Testing and Materials SPEC D 2872 (1997). Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt, Rolling Thin-Film Oven Test, 15p.
- [5]. BARDINI, V.S., KLINSKY, L.M. & FERNANDES, J.L. (2010). A importância do filler para o bom desempenho de misturas asfálticas. Minerva, 7(1): 71-78.
- [6]. BARDINI, V.S. (2013). Influência do filler mineral em propriedades de misturas asfálticas densas. Tese de Doutorado, USP, São Carlos, SP, 344 p. DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem:
- [7]. DNER – ME 133/94: Misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência– Método de ensaio, 8p.
- [8]. DNER – ME 138/94: Misturas betuminosas – determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio, 6p.
- [9]. DNER – ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall – Método de ensaio, 11p.
- [10]. DNER – EM 367/97: Material de enchimento para misturas betuminosas – Especificação de material, 3p.
- [11]. DNER – EM 383/99: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio cântabro. Método de ensaio, 2p. DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes.
- [12]. DNIT 031/2006 - ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico – Especificação de Serviço, 14p.
- [13]. JUNIOR, T.D.C. (2008). Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas convencionais e modificadas. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre, RS, 130 p.
- [14]. MARTINEZ, J.G. (2014). Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE. Dissertação de mestrado. UnB, Brasília, DF, 104 p.
- [15]. SILVA, J. F. (2008). Comportamento de concreto asfáltico tendo lodo da ETA da cidade de Manaus como filler. Dissertação de Mestrado, UFAM, Manaus, AM, 180 p.