

ASFALTO NATURAL MODIFICADO

JHON MARIO BEDOYA LÓPEZ



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA
2012**

ASFALTO NATURAL MODIFICADO

JHON MARIO BEDOYA LÓPEZ

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Civil**

**Director
LUIS ANGEL MORENO ANSELMINI
Ingeniero Civil, Especialista en Pavimentos**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA
2012**

Nota de Aceptación

IC LUIS ANGEL MORENO ANSELMINI
Director de la Investigación

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., 16 de Noviembre de 2012

“A todas y cada una de las personas que han pasado por mi vida y han aportado a mi crecer, a mi familia y amigos que siempre han estado a mi lado dándome apoyo y fortaleza; quiero agradecerles y dedicarles este nuevo logro en mi vida, el cual, he estado esperando desde hace mucho y hoy empieza a convertirse en una realidad gracias a la constancia y sacrificio que he aprendido de todos”.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

Ingeniero Luis Ángel Moreno Anselmi, Director de la presente investigación, quien con su orientación y seguimiento aportó a la realización de la presente investigación.

Ingeniero Hugo Alfonso Rondón Soto, Laboratorista, el cual realizó con responsabilidad y compromiso los ensayos requeridos para la presente investigación.

Jhon Jairo Parra Manios, aporte indispensable, ya que fue la persona encargada de extraer el material investigado.

A mis compañeros de estudio.

A todos los tutores que han contribuido a mi formación profesional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVO	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. ANTECEDENTES	16
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1 ASFALTO NATURAL	18
4.1.1 Aplicación actual del Asfalto Natural	19
4.1.2 Ubicación de la extracción de la muestra de material	19
4.1.3 Propiedades del Asfalto Natural Analizado	19
4.2 HIDRÓXIDO DE CALCIO	20
4.2.1 Propiedades del Hidróxido de calcio Ca(OH)_2	20
5. METODOLOGÍA APLICADA	22
6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	25
6.1 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 1 (MDC-1)	25
6.1.1 Peso Unitario	25
6.1.2 Estabilidad	26
6.1.3 Flujo	26
6.1.4 Porcentaje Vacíos con Aire	27
6.1.5 Rigidez	28
6.2 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 2 (MDC-2)	28
6.2.1 Peso Unitario	29
6.2.2 Estabilidad	29
6.2.3 Flujo	30
6.2.4 Porcentaje Vacíos con Aire	31
6.2.5 Rigidez	31
6.3 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 3 (MDC-3)	32
6.3.1 Peso Unitario	32
6.3.2 Estabilidad	33
6.3.3 Flujo	34
6.3.4 Porcentaje Vacíos Con Aire	34
6.3.5 Rigidez	35
7. CONCLUSIONES	36

8. RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFIA	38
ANEXOS	40

LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Grafica 1. Peso Unitario vs Temperatura MDC-1	25
Grafico 2. Estabilidad vs Temperatura MDC-1	26
Grafico 3. Flujo (mm) vs Temperatura MDC-1	27
Grafico 4. % Vacios con Aire vs Temperatura MDC-1	27
Grafico 5. Rigidez vs Temperatura MDC-1	28
Grafico 6. Peso Unitario vs Temperatura MDC-2	29
Grafico 7. Estabilidad vs Temperatura MDC-2	30
Grafico 8. Flujo (mm) vs Temperatura MDC-2	30
Grafico 9. % Vacios con Aire vs Temperatura MDC-2	31
Grafico 10. Rigidez vs Temperatura MDC-2	32
Grafico 11. Peso Unitario vs Temperatura MDC-3	33
Grafico 12. Estabilidad vs Temperatura MDC-3	33
Grafico 13. Flujo (mm) vs Temperatura MDC-3	34
Grafico 14. %Vacios con Aire vs Temperatura MDC-3	35
Grafico 16. Rigidez vs Temperatura MDC-3	35

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Granulometría Mezclas Densas en Caliente	20
Tabla 2. Criterios de Diseño por el Método Marshall	23
Tabla 3. Criterios de Comprobación Rigidez	24
Tabla 4. Resumen Ensayo Marshall MDC-1	25
Tabla 5. Resumen Ensayo Marshall MDC-2	28
Tabla 6. Resumen Ensayo Marshall MDC-3	32

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Cuadro De Resultados MDC-1 Modificado	41
Anexo B. Cuadro de resultados MDC-1 Estándar	42
Anexo C. Cuadro de resultados MDC-2 Modificado	43
Anexo D. Cuadro de resultados MDC-2 Estándar	44
Anexo E. Cuadro de resultados MDC-3 Modificado	45
Anexo F. Cuadro de resultados MDC-3 Estándar	46
Anexo G. Resumen gráficos MDC-1	47
Anexo H. Resumen gráficos MDC-2	48
Anexo I. Resumen gráficos MDC-3	49

RESUMEN

El Asfalto Natural es una mezcla de sustancias bituminosas y agregados que de manera natural y a través de procesos geológicos se han formado, esta mezcla es apta para la construcción de vías y de cualquier área que requiera de pavimentación flexible, el presente estudio propone e investiga una modificación practica y económica que mejore y de cumplimiento a las especificaciones requeridas por el Instituto Nacional de Vías.

Teniendo en cuenta las cualidades antidisgregantes que poseen los carbonatos de calcio, se propuso para esta investigación adicionar un 5% de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , mineral común en nuestro territorio conocido como Cal o Cal Hidratada.

Se realizan 45 ensayos con Asfalto Natural Modificado al 5% con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 a temperaturas de compactación 35°C , 70°C y 100°C para Mezclas Densas en Caliente MDC-1, MDC-2 y MDC-3 aplicado del Método Marshall norma INV-E-748-07; de esta misma manera se realizan 45 para Asfalto Natural sin Modificar o Asfalto Natural Estándar.

Al comparar los resultados obtenidos se evidencia claramente que la adición del 5% de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 mejora considerablemente las características, pero que aún así, no se cumple por exceso con todos los criterios de diseño requeridos.

Dados los resultados obtenidos se recomienda disminuir el porcentaje de adición de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 .

Palabras Clave: ASFALTO NATURAL MODIFICADO

ABSTRACT

Natural Asphalt is a mixture of aggregate and bituminous substances naturally and through geological processes have formed, these mixtures is suitable for the construction of roads and any area requiring paving flexible, this study proposes and investigates an economic change and improve practice and compliance with the specifications required by the national highway.

Given that possess the qualities anti disintegrating calcium carbonates, are proposed for this research add 5% calcium hydroxide Ca(OH)_2 , common mineral in our territory known as lime or quicklime.

45 trials were performed Modified Natural Asphalt with 5% calcium hydroxide Ca(OH)_2 at compaction temperatures of 35°C, 70°C and 100°C for dense mixtures Hot-1 MDC, MDC-2, MDC-3 applied Marshall Method standard INV-E-748-07; in this same way are made 45 for Natural Asphalt Natural unmodified or Natural Asphalt Natural Standard.

By comparing the results obtained clearly evidenced that the addition of 5% calcium hydroxide Ca(OH)_2 considerably improves the characteristics, but still not satisfied with all excess of the required design criteria.

Given the results obtained are recommended to decrease the rate of addition of calcium hydroxide Ca(OH)_2 .

Keywords: NATURAL ASPHALT MODIFIED

INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se realiza un comparativo entre un Asfalto Natural en su estado original y un Asfalto Natural con una adición de otro mineral, el cual altera su forma original y lo convierte en lo que se puede denominar un Asfalto Natural Modificado.

Todos los ensayos realizados y el análisis de resultados son estrictamente elaborados, siguiendo las normas y especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), con una metodología que permite obtener resultados confiables, además de una fácil interpretación por parte del lector.

La intención propia de este estudio es poder brindar una alternativa que permita mejorar los Asfaltos Naturales, los cuales constituirán una opción viable como material para la construcción de gran parte de la red vial de Colombia.

Es de recordar que, Colombia tiene grandes yacimientos de Asfaltita, así como también gran déficit vial, razón por la cual, se contempla que una vez terminado de adecuar y mejorar el Asfalto Natural se convertirá en la materia prima número uno en la construcción de vías, no solamente en nuestro país, sino también en aquellos que gozan de estos depósitos naturales.

1. OBJETIVO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las propiedades mecánicas del Asfalto Natural con la inclusión Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , para que garantice una calidad apropiada para su utilización en las diferentes vías del territorio nacional.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Con los resultados obtenidos de la investigación propuesta, se podrá inicialmente:

- Verificar si la adición de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 mejora las propiedades del Asfalto Natural en Mezclas Densas en Caliente (MDC-1, MDC-2, MDC-3).

Confirmado lo anterior, se podrá identificar:

- Si según las especificaciones del Artículo 450-07 Tablas 450.4 y 450.5 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), los resultados obtenidos de la investigación cumplen con los criterios para su utilización en vías con Categoría de Transito NT1, a temperaturas de compactación de 35°C, 70°C y 100°C.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la Ingeniería siempre busca obtener productos de alta calidad a los costos más bajos posibles, es por esto y dada la alta deficiencia vial de nuestro país, en su mayoría justificada por los altos costos, que se propone la presente investigación como método para una posible solución a los costos en pavimentación.

De esta manera, se pretende con solo la adición de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , que es un producto abundante y económico en nuestro territorio, entregar una alternativa viable en cuanto a calidad y costo, para que se le dé provecho a las fuentes de Asfalto Natural con las que se cuenta en nuestro país.

3. ANTECEDENTES

En busca de obtener mezclas asfálticas con mejores propiedades mecánicas se han realizado desde hace décadas trabajos investigativos que permitan modificar los asfaltos en función de su mejoramiento, en su mayoría con la inclusión de polímeros, como los siguientes:

Hule molido de neumáticos usados; las primeras investigaciones se empezaron en el año 1965 con la modificación de asfaltos para riegos de liga y en tratamientos superficiales (riego de sello, taponamiento y carpetas delgadas con material de tamaño de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{8}$ de pulgada). Esta se llevó a cabo en la costa oeste de los Estados Unidos, en Arizona y California, en tratamientos superficiales de una o varias capas y en carpetas delgadas de dos a cinco centímetros de espesor de tipo de graduación abierta o media. La duración de estos tratamientos fue, en algunos casos, de más de dos veces la de los sistemas tradicionales.¹

Látex sintéticos y naturales; se utilizaron primero en Europa (Francia y España) en 1970 incorporándolos al asfalto emulsificado para mejorar las características de las emulsiones utilizadas en riegos y en morteros asfálticos y posteriormente en la elaboración de mezclas asfálticas en frío y en caliente con asfaltos modificados.²

Polímeros de tipo SBR (Estireno Butadieno Hule) y SBS (Estireno Butadieno Estireno); la industria de los impermeabilizantes hace aproximadamente veinte años empleó los SBR y después los SBS para mejorar los asfaltos en proporciones del 6% al 12% con resultados excelentes, siendo mejores los de tipo SBS. Posteriormente se empezó a modificar con polímeros el asfalto para pavimentos, sobre los cuales se observaron algunas ventajas como el cambio de viscosidad y además el comportamiento a temperaturas muy bajas (hasta menos de 40° C).³

Fibras cortas y escoria de fundición; su uso es más antiguo, alrededor de cuarenta años, pero su desarrollo ha sido limitado en virtud de que aun cuando mejora en algunos casos la capacidad estructural de las mezclas, no lo hace sobre su comportamiento a largo plazo y puede tener reacciones perjudiciales con ciertos materiales.⁴

¹ PALIT, S. K., Sudhakar Reddy, T, K. y Pandey, B.B., Laboratory Evaluation of Crumb Rubber Modified Asphalt Mixes., Journal of Material in Civil Engineering, January/February, 2004.

² GALLEGO MEDINA, D. J., Mezclas bituminosas con betunes de alto contenido en caucho de neumáticos: una elección por las altas prestaciones., Universidad Politécnica De Madrid, Madrid, 2003.

³ ODA, S. y FERNANDEZ J. J. L., Viabilidad Técnica de Usar Caucho de Neumático como Material de Pavimentación Asfáltica., Universidad Estadual de Maringá, Brasil, 2002.

⁴ FIGUEROA INFANTE Ana Sofia, REYES LIZCANO Fredy Alberto, y OTROS. Análisis de un Asfalto Modificado con Icopor y su Incidencia en una Mezcla Asfáltica Densa en Caliente. [En línea]. Disponible desde internet en . http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092007000300001&script=sci_arttext (con acceso el 15 de Julio de 2012).

Lo anterior, constituye estudios que se han realizado en diferentes países, no siendo ajeno el nuestro, en especial por el interés propio de nuestro país tras el descubrimiento de yacimientos de asfaltos naturales.

En Colombia se ha denominado MAPIA (Material Pétreo Impregnado de Asfalto) al Asfalto Natural, desde hace aproximadamente dos décadas se han venido realizando una serie de investigaciones por parte de Universidades del país y entidades como CORASFALTO, entre otras, con el ánimo de difundir y mejorar el conocimiento sobre los Asfaltos y en especial el uso de los Asfaltos Naturales como una alternativa viable para la realización de pavimentos.⁵

Estas investigaciones se han realizado en gran parte del País, en especial en el Departamento de Caldas donde se ha encontrado reservas con una granulometría homogénea y un contenido de asfalto del 5% al 15%, que hacen de estas unas buenas fuentes de material.

Además, también se da a conocer que el Asfalto Natural que se encuentra en la Zona del Caguan Caquetá presenta un contenido mínimo del 6% de Asfaltita y una gradación homogénea, convirtiendo a esta fuente de material como una alternativa viable para la adecuación vial de esa zona del país.⁶

Actualmente y dado que todos los estudios previos arrojan como una alternativa viable y económica el uso de Asfaltos Naturales, diversas empresas privadas como COLASFALTOS S.A se están dedicando a la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, implementando el uso del Asfalto Natural o MAPIA (Material Pétreo Impregnado de Asfalto) como es conocido comercialmente.⁷

⁵ CORASFALTOS. Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial . [En línea]. Disponible Desde internet en : <http://www.corasfaltos.com> (Con acceso el 15 de Julio de 2012)

⁶ PARRA MANIOS, Nevar y RUBIO RENGIFO, Jesus Arnoldi. Estudio del Comportamiento Mecanico del Asfalto Natural para la Construcción y Mejoramiento de las Vías de San Vicente del Caguan - Caqueta. Bogota D.C. 2011.

⁷ COLASFALTOS S.A. Colombiana de Asfaltos. [En línea]. Disponible desde internet en <http://www.colasfaltos.com> (cn acceso el 12 de Agosto de 2012)

4. MARCO TEÓRICO

Teniendo en cuenta los antecedentes que se tienen y en aras de mejorar las capacidad mecánica de los Asfaltos Naturales, se considera viable aprovechar las características de antidisgregancia que poseen los carbonatos de calcio y de los cuales ya se tiene conocimiento, puesto que se aplican para mejorar la capacidad portante de suelos, así mismo en la mejora de concretos, con la utilización de Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, conocido en el mercado como Cal o Cal Hidratada.

De tal modo, se podría espera como primero, una mejora en la manejabilidad, seguida de una mejor cohesión, que facilitaría la compactación y el sellado de la carpeta y como último se controlaría el ph de la mezcla logrando bajar la acides que posiblemente es la responsable de la pronta aparición de corrosión.

4.1 ASFALTO NATURAL

Los asfaltos naturales o nativos constituyen una amplia gama de productos con base asfáltica que se encuentran en la naturaleza, de estos productos se obtienen los aglomerantes para pavimentaciones sin necesidad de destilación.

Los asfaltos naturales se han formado por un fenómeno de migración de determinados petróleos naturales hacia la superficie terrestre, apareciendo a través de fisuras y rocas porosas, seguido o combinado con una volatilización de sus componentes más ligeros y la consiguiente concentración de los compuestos asfálticos ya existentes en el mismo.⁸

Los asfaltos naturales se presentan en muchas formas alrededor del mundo, algunos se encuentran en estado casi puro, formados mayormente por sustancias hidrocarbonadas con poca materia mineral, aunque lo más usual es que estén mezclados con otros minerales como es el caso de Colombia donde existen yacimientos de asfalto natural de este segundo tipo.

Algunos asfaltos son blandos y adhesivos y otros son duros y frágiles; otros se encuentran sobre la superficie de la tierra, en lagos o piscinas, mientras otros más se encuentran en lo profundo y toca explotarlos usando técnicas de minería.

Independientemente como se encuentren los asfaltos naturales, se considera que todos proceden del petróleo por procesos metamórficos, incluyendo evaporación, condensación y polimerización, ocurridos tal vez en condiciones extremas de calor y presión. La naturaleza del petróleo original y el factor tiempo también determinan la naturaleza del asfalto resultante.

⁸ E-ASFALTO. Origen del Asfalto. [En línea]. Disponible desde internet en . http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm (Con acceso el 16 de Agosto de 2012)

Son bastante frecuentes los yacimientos en que el asfalto se encuentra llenando parcialmente o totalmente los poros en yacimientos rocosos, pero sin llegar a exudar. Los contenidos de asfalto en estas rocas pueden variar dentro de límites amplios, siendo los de mayor utilidad aquellos superiores al 7%.

“En Colombia, los asfaltos naturales se encuentran principalmente en las minas de San Pedro (Tolima), Pesca (Boyacá) y varias regiones del Caquetá”.⁹

4.1.1 Aplicación actual del Asfalto Natural. En la actualidad se aplica de forma directa como sale de la mina sin ningún tipo de tratamiento o adición de algún producto químico.

El Asfalto natural tiene un proceso o tratamiento básico para optimizar su calidad, como lo es, el de simplificar un método de explotación y trituración para obtener una mezcla favorable para su colocación y su homogeneidad para lograr un terminado o superficie con la menor cantidad de vacíos posibles y garantizar su vida útil.

Empresas privadas se dedican actualmente a la construcción, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, implementando el uso del Asfalto Natural o MAPIA (Material Pétreo Impregnado de Asfalto) como es conocido comercialmente.

4.1.2 Ubicación de la extracción de la muestra de material. El material estudiado proviene de la mina de Asfalto Natural que se encuentra ubicada a 30km iniciando en el PR 54 del municipio de San Vicente del Caguan Caquetá saliendo hacia Neiva por la vía Minas Blancas –Santo Domingo - Balsillas Neiva en el PR 78 con desvío en el costado derecho en la vía en afirmado que conduce hacia la vereda la Reforma a unos 6 kilómetros aproximadamente de la vía nacional, llegando a la finca de propiedad del señor Luis Trujillo.

4.1.3 Propiedades del Asfalto Natural Analizado. Conforme a la norma INV E-213-07 se realizó análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, con la finalidad de determinar y clasificar cuantitativamente los diferentes tamaños de partículas del material.

Con el material clasificado, se procede a realizar mezclas con las gradaciones y porcentajes acordes a cada una de las mezclas densas en caliente, como se muestra en la Tabla 1, correspondiente al artículo 450-07 Tabla 450.02 de las especificaciones INVIAS.

⁹MORALES CAMACHO Pablo Manuel. Construcción y Conservación de Vías. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

Tabla 1. Granulometría Mezclas Densas en Caliente

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No.80	No.200
		% PASA									
Densa	MDC-1		100	80 - 95	67 - 85	60 - 77	43 - 59	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-2			100	80 - 95	70 - 88	49 - 65	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-3					100	65 - 87	43 - 61	16 - 29	9 - 19	5 - 10

Fuente: Artículo 450-07. Tabla 450.2

Para cada una de las mezclas se realizó una extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos, según lo establece la Norma INV E-732-07, la cual arrojó para la MDC-1 un contenido de asfalto del 9,8%, para la MDC-2 un contenido de asfalto del 7,1% y para la MDC-3 un contenido de asfalto del 8,6%.

4.2 HIDRÓXIDO DE CALCIO

El Hidróxido de calcio, cal o cal hidratada, es un compuesto químico de fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Este material es anti disgregante, utilizado para hacer mortero de cal, se obtiene de las rocas calizas calcinadas a una temperatura entre 900 y 1200 °C, durante días, en un horno rotatorio o en un horno tradicional, romano o árabe. En estas condiciones el carbonato es inestable y pierde una molécula de óxido de carbono.

El óxido de calcio reacciona violentamente con el agua, haciendo que ésta alcance los 90°C. Se forma entonces Hidróxido de Calcio, también llamado cal apagada, o $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El Hidróxido de Calcio reacciona otra vez con el óxido de carbono del aire para formar de nuevo carbonato de calcio (cal). En esta reacción la masa se endurece.

Es por lo anterior que el Hidróxido de Calcio forma parte de formulaciones de morteros y conglomerante en la construcción, además que en el sector agrícola se utiliza como neutralizador de acides de suelos.¹⁰

4.2.1 Propiedades del Hidróxido de Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$

- Estado de agregación Sólido
- Apariencia Polvo Blanco
- Estructura Cristalina Hexagonal
- Peso Especifico 2240 kg/m³; 2,24g/cm³

¹⁰ QUIMICA.ES. Oxido de Calcio (CaO). [En línea]. Disponible desde internet en : http://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%B3xido_de_calcio.html (con acceso el 25 de Agosto de 2012)

- Masa molar 74,093 g/mol
- Punto de Inflamación No Aplica
- Punto de ebullición No Aplica
- Temperatura de Fusión 580°C
- Solubilidad en Agua 0,185g/100 cm³

5. METODOLOGÍA APLICADA

Se analizan dos tipos de asfalto natural, el primero corresponde al Asfalto Natural Modificado con la adición de un 5% de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 y el segundo corresponde al Asfalto Natural Estándar, el cual sirve de referencia para la comprobación de la mejoría que aporta la modificación, ya que éste no ha sido modificado ni alterado.

Se realizan con el Asfalto Natural Modificado y el Estándar, mezclas densas en caliente tipo 1 (MDC-1), tipo 2 (MDC-2) y tipo 3 (MDC-3) según el artículo 450-07 de las especificaciones INVIAS, con la aplicación del Método Marshall norma INV-E-748-07, a temperaturas de 35°C, 70°C y 100°C.

Basado en los antecedentes, se inician los ensayos a la mayor temperatura de compactación propuesta para la presente investigación, o sea, 100°C de temperatura, de la siguiente manera:

5 Ensayos MDC -1 a 100°C (Modificado)
5 Ensayos MDC -2 a 100°C (Modificado)
5 Ensayos MDC -3 a 100°C (Modificado)

5 Ensayos MDC -1 a 100°C (Estándar)
5 Ensayos MDC -2 a 100°C (Estándar)
5 Ensayos MDC -3 a 100°C (Estándar)

Realizados estos primeros ensayos a 100°C se verificó que efectivamente la adición de un 5% de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , mejoró notablemente las propiedades del Asfalto Natural Modificado, frente al Asfalto Natural Estándar.

De esta manera, se continúa con a una temperatura de compactación más baja, de la siguiente forma:

5 Ensayos MDC -1 a 70°C (Modificado)
5 Ensayos MDC -2 a 70°C (Modificado)
5 Ensayos MDC -3 a 70°C (Modificado)

5 Ensayos MDC -1 a 70°C (Estándar)
5 Ensayos MDC -2 a 70°C (Estándar)
5 Ensayos MDC -3 a 70°C (Estándar)

A esta temperatura, disminuye la mejoría en las propiedades tanto del Asfalto Natural Modificado como del Estándar, comparándolas con la temperatura anterior de 100°C, pero continua las mejorías del Asfalto Natural Modificado frente al Estándar a la misma temperatura de compactación de 70°C.

Como el comportamiento a 70°C de Compactación del Asfalto Natural Modificado es favorable, se realiza un último ensayo a 35°C de compactación, de la siguiente manera:

5 Ensayos MDC- 1 a 35°C (Modificado)
 5 Ensayos MDC -2 a 35°C (Modificado)
 5 Ensayos MDC -3 a 35°C (Modificado)

5 Ensayos MDC- 1 a 35°C (Estándar)
 5 Ensayos MDC -2 a 35°C (Estándar)
 5 Ensayos MDC -3 a 35°C (Estándar)

Para cada ensayo con Asfalto Natural Estándar se requiere de 1200 gramos de mezcla de Asfalto Natural y para los ensayos con Asfalto Natural Modificado se requiere 1140 gramos de mezcla de Asfalto Natural y 60 gramos de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , en total se realizaron 45 ensayos para cada uno de los dos tipos de mezcla, para un total aproximado de 105,3 kilos de Asfalto Natural y 2,7 kilos de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 utilizados para la realización de la investigación.

Los resultados obtenidos del Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, se analizan, se grafican y se comparan entre sí, para evidenciar los cambios entre uno y otro, y luego se verifica que el Asfalto Natural Modificado cumpla con los criterios establecidos para Categoría de Tránsito NT1, como se muestra en la Tabla 2, correspondiente al artículo 450-07 Tabla 450.04 de las especificaciones INVIAS y en la Tabla 3 correspondiente al artículo 450-07 Tabla 450.05 de las especificaciones INVIAS.

Tabla 2. Criterios de Diseño por el Método Marshall

CARACTERÍSTICA		NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS		
			CATEGORÍA DE TRÁNSITO		
			NT1	NT2	NT3
Compactación (golpes/cara)		E-748	50	75	75
Estabilidad mínima (kg)		E-748	500	750	900
Flujo (mm)		E-748	2 – 4	2 – 4	2 – 3.5
Vacíos con aire (V_a)*, %	Rodadura	E-736	3 – 5	3 – 5	4 – 6
	Intermedia	o	4 – 8	4 – 8	4 – 7
	Base	E-799	–	5 – 9	5 – 8

Fuente: Artículo 450-07. Tabla 450.4

Tabla 3. Criterios de Comprobación Rigidez

CARACTERÍSTICA	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO
	CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
	NT1	NT2	NT3	
Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)	200 a 400	300 a 500	300 a 600	-

Fuente: Artículo 450-07. Tabla 450.5

6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 1 (MDC-1)

En la Tabla 4, correspondiente al Resumen Ensayo Marshall MDC-1, se aprecia de manera numérica la notable mejoría de cada una de las características del Asfalto Natural Modificado con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 al 5%, frente a los resultados obtenidos de esas mismas características con el Asfalto Natural Estándar.

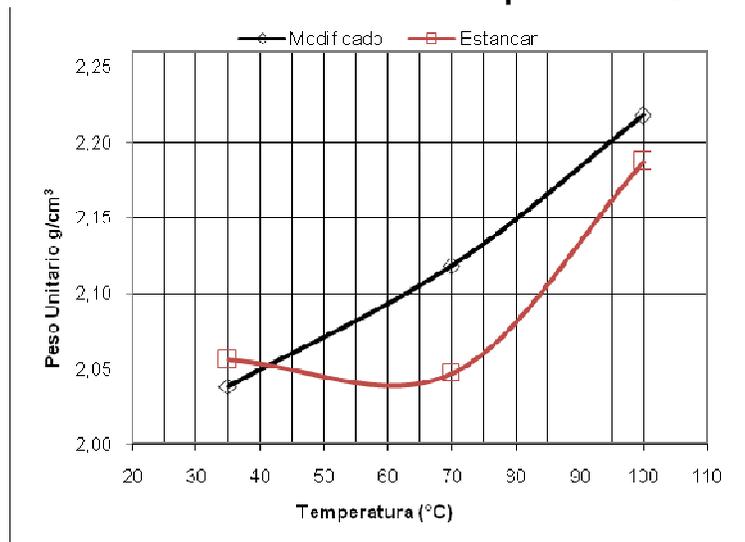
Tabla 4. Resumen Ensayo Marshall MDC-1

RESUMEN DATOS ASFALTO NATURAL MODIFICADO CON HIDRÓXIDO DE CALCIO Ca(OH)_2 AL 5%							
% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacíos con Aire.	% Vacíos agregados	Rigidez
9,8%	35	2,04	270	2,57	11,5	29,6	105,2
9,8%	70	2,12	582	3,51	8,0	26,8	166,0
9,8%	100	2,22	981	4,38	3,7	23,4	224,2
RESUMEN DE DATOS ASFALTO NATURAL ESTANDAR							
% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacíos con Aire.	% Vacíos agregados	Rigidez
9,8%	35	2,06	212	2,78	8,0	28,9	76,3
9,8%	70	2,05	372	3,10	8,4	29,3	120,1
9,8%	100	2,19	574	3,68	2,1	24,4	156,3

Fuente. Autor

6.1.1 Peso Unitario. En la Grafica 1, correspondiente al Peso Unitario vs Temperatura MDC-1, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que el Asfalto Natural Modificado a 35°C de temperatura inicia con un peso unitario inferior al del Asfalto Natural Estándar, pero que con la siguiente temperatura de compactación aumenta notablemente su peso unitario, manteniéndose con una tendencia de aumento casi lineal hasta llegar a los 100°C de temperatura.

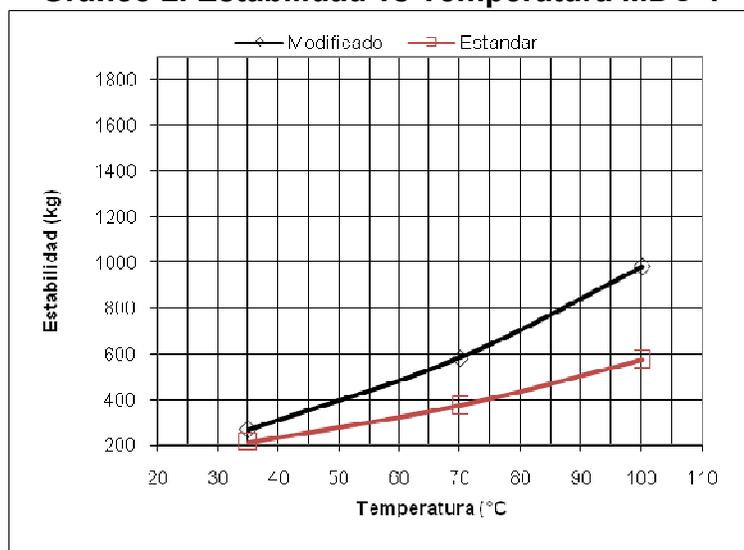
Grafica 1. Peso Unitario vs Temperatura MDC-1



Fuente. Autor

6.1.2 Estabilidad. En la Grafica 2, correspondiente a la Estabilidad vs Temperatura MDC-1, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación ambos Asfaltos mejoran su Estabilidad, pero siendo la Estabilidad del Asfalto Natural Modificado superior y que al aumentar la temperatura tiende a aumentar su Estabilidad frente a los cambios del Asfalto Natural Estándar, de esta manera se tiene que a 70°C la Estabilidad del Asfalto Natural Modificado cumple para una Categoría de Transito NT1 y que a una temperatura de 100°C cumple para una Categoría de Transito NT2 y NT3, según especificación INVIAS.

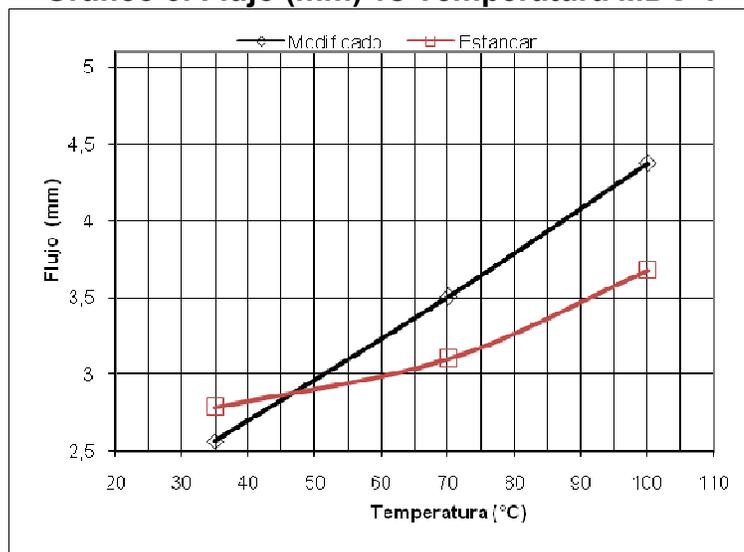
Grafico 2. Estabilidad vs Temperatura MDC-1



Fuente. Autor

6.1.3 Flujo. En la Grafica 3, correspondiente al Flujo vs Temperatura MDC-1, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación ambos Asfaltos aumentan su flujo, pero que el Flujo del Asfalto Natural Modificado a temperatura de compactación de 35°C y 70°C cumple para una Categoría de Transito NT1 y NT2, según especificación INVIAS.

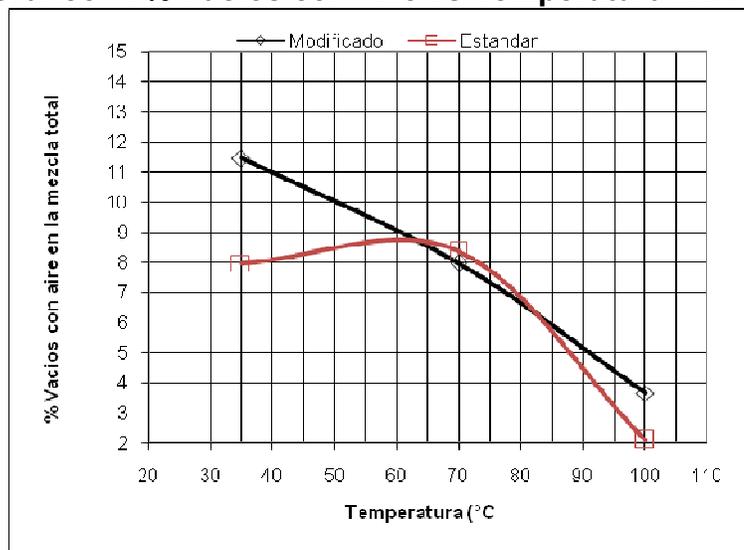
Grafico 3. Flujo (mm) vs Temperatura MDC-1



Fuente. Autor

6.1.4 Porcentaje Vacios con Aire. En la Grafica 4, correspondiente al Porcentaje Vacios con Aire vs Temperatura MDC-1, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación el Asfalto Natural Modificado disminuye su porcentaje de vacios con aire, a los 70°C de temperatura cumple con los criterios para capa intermedia y a los 100°C de temperatura cumple los criterios para capa de rodadura, según especificación INVIAS.

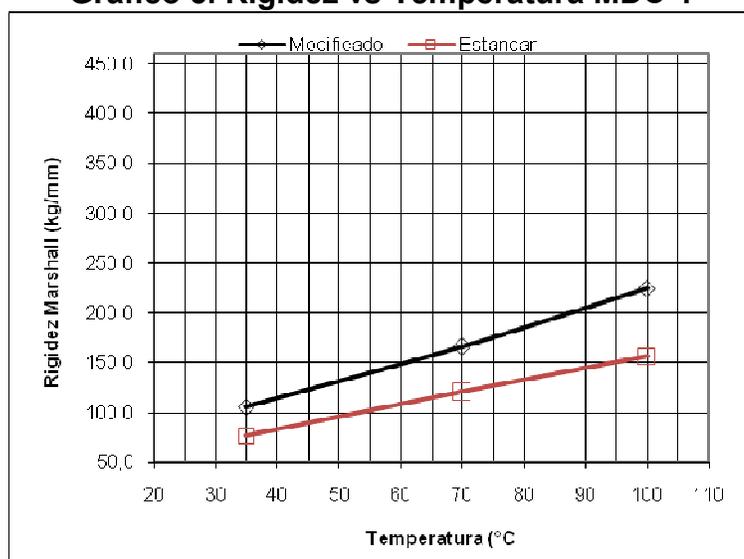
Grafico 4. % Vacios con Aire vs Temperatura MDC-1



Fuente. Autor

6.1.5 Rigidez. En la Grafica 5, correspondiente a la Rigidez vs Temperatura MDC-1, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que la rigidez es mayor en el Asfalto Natural Modificado a cualquier temperatura, pero que solo a los 100°C cumple para una Categoría de Transito NT1, según especificación INVIAS.

Grafico 5. Rigidez vs Temperatura MDC-1



Fuente. Autor

6.2 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 2 (MDC-2)

En la Tabla 5, correspondiente al Resumen Ensayo Marshall MDC-2, se aprecia de manera numérica la notable mejoría de cada una de las características del Asfalto Natural Modificado con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 al 5%, frente a los resultados obtenidos de esas mismas características con el Asfalto Natural Estándar.

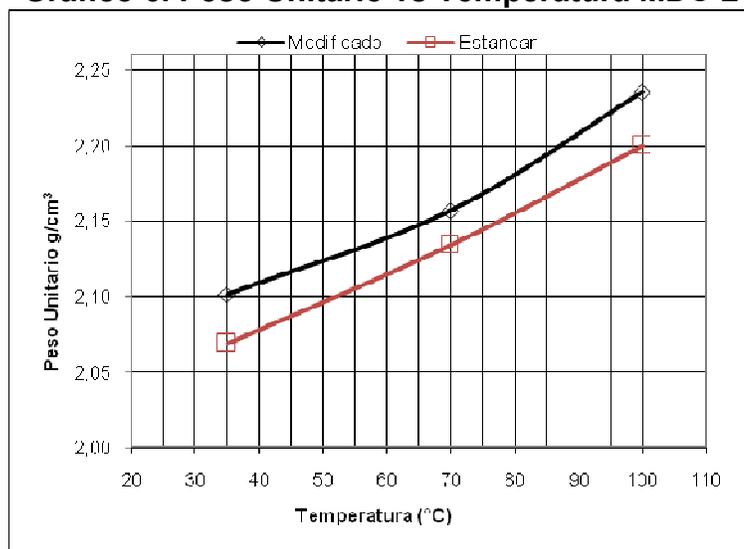
Tabla 5. Resumen Ensayo Marshall MDC-2

RESUMEN DATOS ASFALTO NATURAL MODIFICADO CON HIDRÓXIDO DE CALCIO Ca(OH)_2 AL 5%							
% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacios con Aire.	% Vacios agregados	Rigidez
7,1%	35	2,10	415	3,81	12,4	25,2	108,8
7,1%	70	2,16	1185	4,70	10,1	23,2	252,3
7,1%	100	2,24	1885	4,25	6,9	20,4	443,5
RESUMEN DE DATOS ASFALTO NATURAL ESTANDAR							
% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacios con Aire.	% Vacios agregados	Rigidez
7,1%	35	2,07	319	3,63	11,0	26,3	87,9
7,1%	70	2,13	826	4,19	8,2	24,0	197,0
7,1%	100	2,20	1302	3,48	5,4	21,7	374,7

Fuente. Autor

6.2.1 Peso Unitario. En la Grafica 6, correspondiente al Peso Unitario vs Temperatura MDC-2, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que el peso unitario es mayor para todas las temperaturas en el Asfalto Natural Modificado y tiende a aumentar conforme aumenta la temperatura.

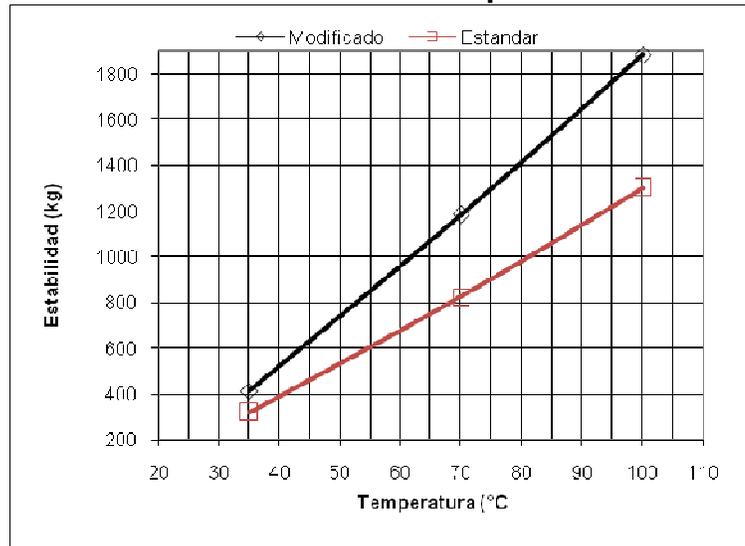
Grafico 6. Peso Unitario vs Temperatura MDC-2



Fuente. Autor

6.2.2 Estabilidad. En la Grafica 7, correspondiente a la Estabilidad vs Temperatura MDC-2, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación ambos Asfaltos mejoran su Estabilidad, pero que la Estabilidad del Asfalto Natural Modificado es superior y que al aumentar la temperatura tiende a aumentar su Estabilidad frente a los cambios del Asfalto Natural Estándar, de esta manera se tiene que a partir de 70°C la Estabilidad del Asfalto Natural Modificado cumple holgadamente para una Categoría de Transito NT1, NT2 y NT3, según especificación INVIAS.

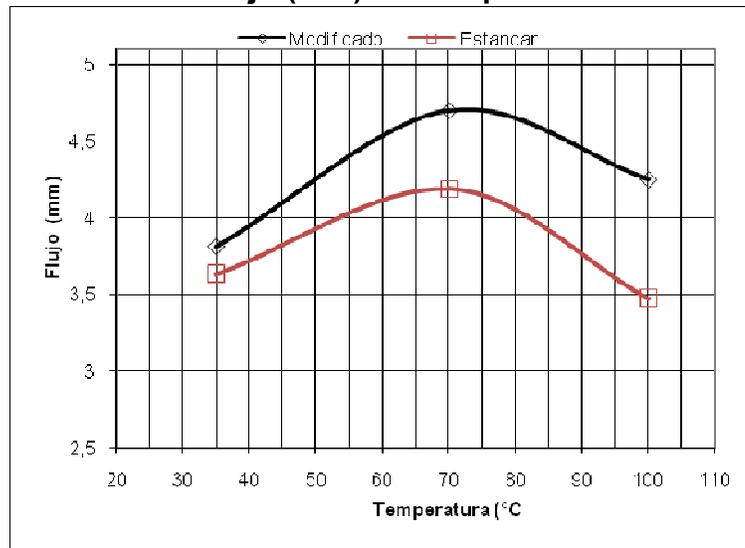
Grafico 7. Estabilidad vs Temperatura MDC-2



Fuente. Autor

6.2.3 Flujo. En la Grafica 8, correspondiente al Flujo vs Temperatura MDC-2, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que tienen un comportamiento similar, presentando un descenso considerable después de los 70°C, siendo más fluido el Asfalto Natural Modificado en todas las temperaturas de compactación, de esta manera, solo a 35°C el Asfalto Natural Modificado cumple para una Categoría de Transito NT1, según especificación INVIAS.

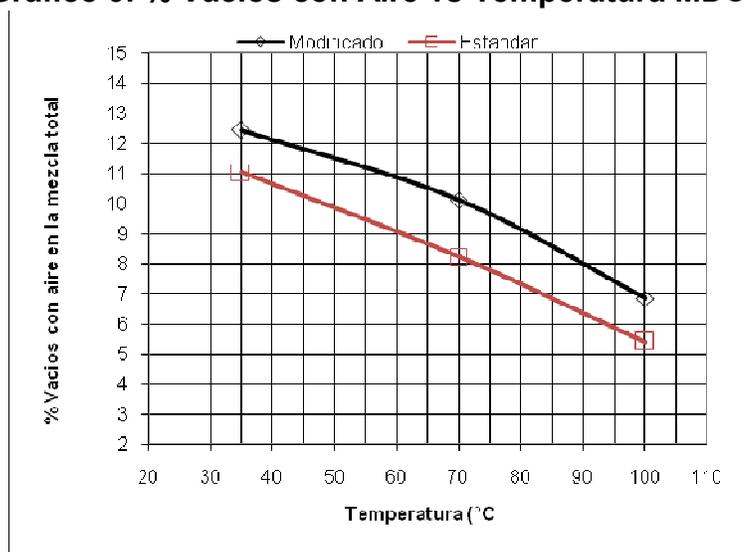
Grafico 8. Flujo (mm) vs Temperatura MDC-2



Fuente. Autor

6.2.4 Porcentaje Vacios con Aire. En la Grafica 9, correspondiente al Porcentaje Vacios con Aire vs Temperatura MDC-2, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación ambos Asfaltos disminuyen su porcentaje de vacios con aire, siendo superior el porcentaje de vacios con aire del Asfalto Natural Modificado, mas sin embargo, solo a los 100°C de temperatura no cumple los criterios para capa intermedia, según especificación INVIAS.

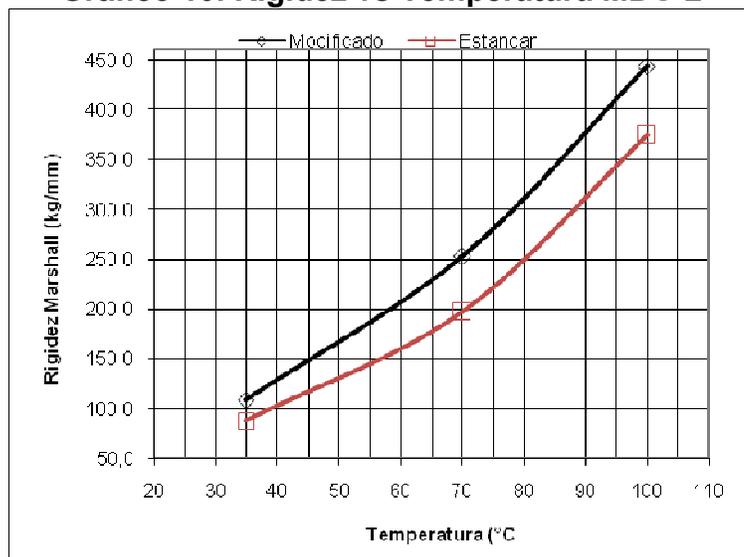
Grafico 9. % Vacios con Aire vs Temperatura MDC-2



Fuente. Autor

6.2.5 Rigidez. En la Grafica 10, correspondiente a la Rigidez vs Temperatura MDC-2, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que la rigidez es mayor en el Asfalto Natural Modificado a cualquier temperatura y que esta aumenta junto con la temperatura de compactación, pero que solo a los 70°C cumple para una Categoría de Transito NT1, y que a los 100°C cumple para una Categoría de Transito NT1 y NT2 según especificación INVIAS.

Grafico 10. Rigidez vs Temperatura MDC-2



Fuente. Autor

6.3 MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO 3 (MDC-3)

En la Tabla 6, correspondiente al Resumen Ensayo Marshall MDC-3, se aprecia de manera numérica la notable mejoría de cada una de las características del Asfalto Natural Modificado con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 al 5%, frente a los resultados obtenidos de esas mismas características con el Asfalto Natural Estándar.

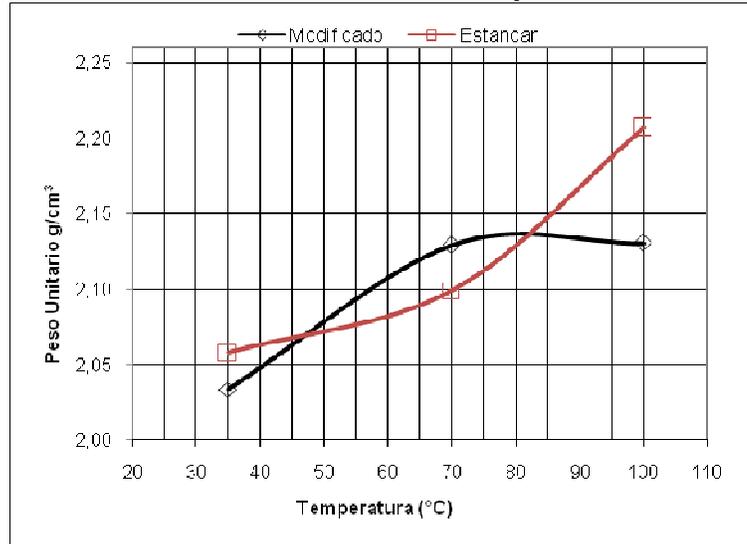
Tabla 6. Resumen Ensayo Marshall MDC-3

RESUMEN DATOS ASFALTO NATURAL MODIFICADO CON HIDRÓXIDO DE CALCIO Ca(OH)_2 AL 5%							
% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacios con Aire.	% Vacios agregados	Rigidez
8,6%	35	2,03	329	3,45	13,3	28,8	95,4
8,6%	70	2,13	933	4,60	9,2	25,4	202,8
8,6%	100	2,13	1452	5,03	9,1	25,4	289,0
RESUMEN DE DATOS ASFALTO NATURAL ESTANDAR							
% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacios con Aire.	% Vacios agregados	Rigidez
8,6%	35	2,06	258	3,25	9,5	27,9	79,4
8,6%	70	2,10	752	3,76	7,7	26,5	200,2
8,6%	100	2,21	1085	3,75	3,0	22,7	289,3

Fuente. Autor

6.3.1 Peso Unitario. En la Grafica 11, correspondiente al Peso Unitario vs Temperatura MDC-3, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que el peso unitario es menor a 35°C y 100°C de compactación para el Asfalto Natural Modificado y que entre los 70°C y 100°C conserva su peso unitario.

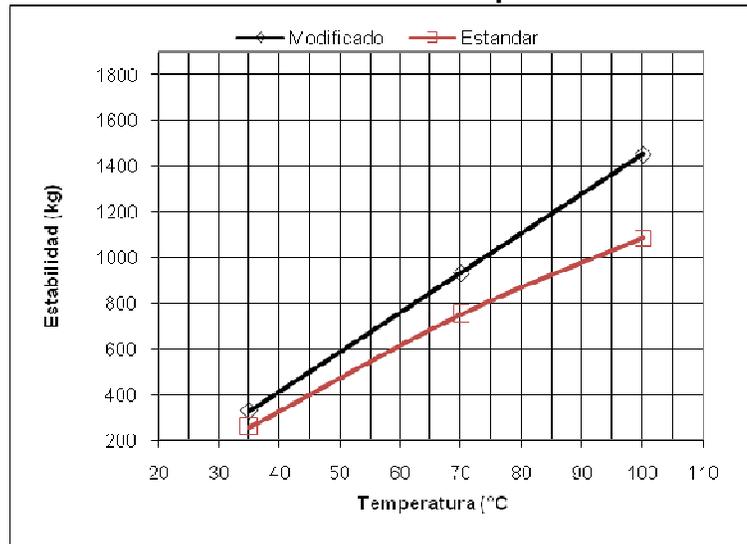
Grafico 11. Peso Unitario vs Temperatura MDC-3



Fuente. Autor

6.3.2 Estabilidad. En la Grafica 12, correspondiente a la Estabilidad vs Temperatura MDC-3, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación ambos Asfaltos mejoran su Estabilidad, pero que la Estabilidad del Asfalto Natural Modificado es superior y que al aumentar la temperatura tiende a aumentar su Estabilidad frente a los cambios del Asfalto Natural Estándar, de esta manera se tiene que a partir de 70°C la Estabilidad del Asfalto Natural Modificado cumple holgadamente para una Categoría de Transito NT1, NT2 y para una Categoría de Transito NT3, según especificación INVIAS.

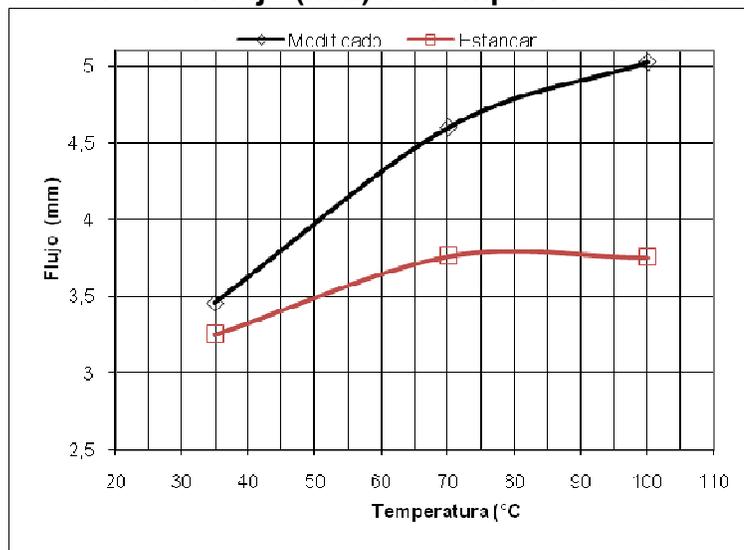
Grafico 12. Estabilidad vs Temperatura MDC-3



Fuente. Autor

6.3.3 Flujo. En la Grafica 13, correspondiente al Flujo vs Temperatura MDC-3, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que tienen un comportamiento similar, presentando un descenso considerable después de los 70°C, siendo más fluido el Asfalto Natural Modificado en todas las temperaturas de compactación, de esta manera, solo a 35°C el Asfalto Natural Modificado cumple para una Categoría de Transito NT1, según especificación INVIAS.

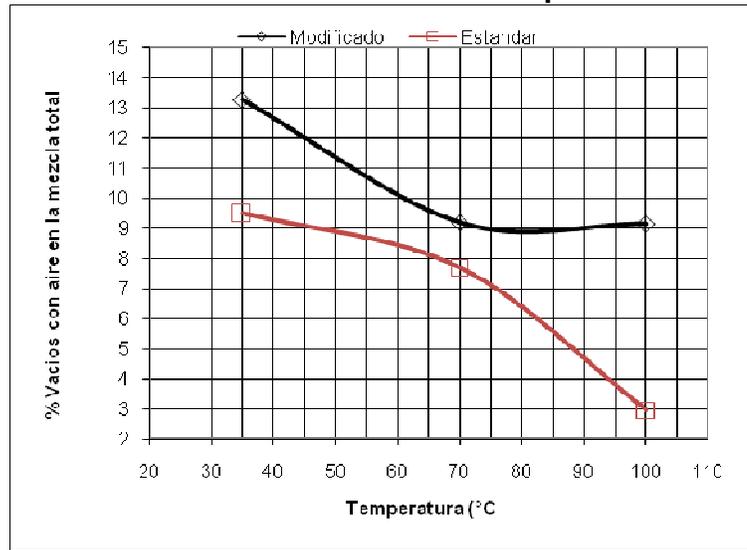
Grafico 13. Flujo (mm) vs Temperatura MDC-3



Fuente. Autor

6.3.4 Porcentaje Vacios Con Aire. En la Grafica 14, correspondiente al Porcentaje Vacios con Aire vs Temperatura MDC-3, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que a medida que aumenta la temperatura de compactación ambos Asfaltos disminuyen su porcentaje de vacios con aire, mas sin embargo, el Asfalto Natural Modificado casi conserva el porcentaje de vacios con aire entre los 70°C y los 100°C de temperatura de compactación, sin embargo los 100°C de temperatura no son suficientes para disminuir el porcentaje de vacios con aire, de esta manera no cumple los criterios, según especificación INVIAS.

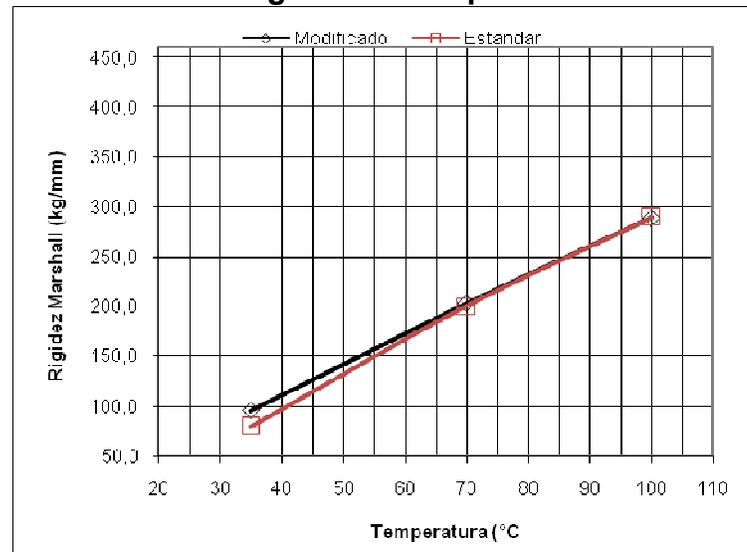
Gráfico 14. %Vacios con Aire vs Temperatura MDC-3



Fuente. Autor

6.3.5 Rigidez. En la Grafica 15, correspondiente a la Rigidez vs Temperatura MDC-3, se puede apreciar el comparativo grafico entre el Asfalto Natural Modificado y el Asfalto Natural Estándar, donde se evidencia que la rigidez es mayor en el Asfalto Natural Modificado a 35°C de temperatura de compactación, pero prácticamente se iguala la rigidez a 70°C y 100°C de temperatura de compactación, de esta manera se tiene que a los 70° y 100°C cumple para una Categoría de Transito NT1, según especificación INVIAS.

Gráfico 16. Rigidez vs Temperatura MDC-3



Fuente. Autor

7. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con la presente investigación demuestran claramente que la inclusión de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 al 5% es una alternativa viable para mejorar significativamente las propiedades del Asfalto Natural.
- Que al igual que el Asfalto Natural Estándar, el Asfalto Natural Modificado con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 mejoró notablemente con el aumento de temperatura de compactación.
- Que en un 86.7% de los ensayos realizados con el Asfalto Natural Modificado, éste presentó valores superiores a los arrojados por los mismos ensayos realizados al Asfalto Natural Estándar.
- Los resultados de Peso Unitario, Estabilidad y Rigidez son muy positivos, dado que los criterios de diseño tienen un límite mínimo, el cual, gracias a la modificación con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 al 5% fue superado enormemente en la mayoría de ensayos realizados, pero de igual forma se comportó para el Flujo y el Porcentaje de Vacíos con Aire, no siendo esto favorable, puesto que estas dos características de diseño manejan un margen mínimo y máximo, y que de igual forma que con los anteriores también fue superior.
- Por lo anterior, se puede interpretar a través de los resultados obtenidos que para que el Flujo y el Porcentaje de Vacíos con Aire lleguen a estar dentro del rango especificado, se debe reducir el porcentaje de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , lo cual, no genera cambios significativos en las demás características, dado que tienen un valor muy superior después del límite mínimo especificado.
- Básicamente se puede concluir que la Modificación del Asfalto Natural con Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 es muy positiva, pero que con la adición del 5% no se cumple con todos los criterios de diseño para ninguna de las categorías de tránsito con ninguna de los tipos de mezclas densas en caliente.

8. RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar con la misma metodología de investigación, conservando el mismo porcentaje de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 , a temperaturas de compactación superiores a 100°C , hasta obtener resultados diferentes al presente, ya sean positivos o negativos, lo anterior para verificar los comportamientos encontrados en el Asfalto Natural Modificado de la presente investigación.

Como los resultados obtenidos demostraron que es real que la inclusión de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 es una alternativa viable y económica para mejorar los Asfaltos Naturales, se recomienda que con la misma metodología aplicada en esta investigación, se realicen ensayos posteriores con una adición de Hidróxido de Calcio Ca(OH)_2 menor del 5%, hasta encontrar el porcentaje adecuado que garantice el cumplimiento de todos los criterios de diseño, según las especificaciones INVIAS.

BIBLIOGRAFIA

CORASFALTOS. Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial . [En línea]. Disponible Desde internet en : <http://www.corasfaltos.com> (con acceso el 15 de Julio de 2012)

COLASFALTOS S.A. Colombiana de Asfaltos. [En línea]. Disponible desde internet en <http://www.colasfaltos.com> (con acceso el 12 de Agosto de 2012)

E-ASFALTO. Origen del Asfalto. [En línea]. Disponible desde internet en . http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm (con acceso el 16 de Agosto de 2012)

FIGUEROA INFANTE Ana Sofia, REYES LIZCANO Fredy Alberto, y OTROS. Análisis de un Asfalto Modificado con Icopor y su Incidencia en una Mezcla Asfáltica Densa en Caliente. [En línea]. Disponible desde internet en . http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092007000300001&script=sci_arttext (con acceso el 11 de Noviembre de 2012)

GALLEGO MEDINA, D. J., Mezclas bituminosas con betunes de alto contenido en caucho de neumáticos: una elección por las altas prestaciones., Universidad Politécnica De Madrid, Madrid, 2003.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – INVIAS. Especificaciones técnicas de construcción de vías. Bogotá: INVIAS. 2007.

MEJIA SALAZAR, CARLOS AUGUSTO y LEON SABOGAL, Edison Giovanny. Estudio del Comportamiento de las Asfaltitas en Norcasia (Caldas). Bogota D.C 2004.

MERRITT, Frederick S. Manual del Ingeniero Civil. Mexico : McGraw-Hill, 2001.

MONTEJO FONSECA, A., Ingeniería de pavimentos para carreteras., Bogotá : Impreandes, 1998.

MORALES CAMACHO Pablo Manuel. Construcción y Conservación de Vías. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

ODA., S. y FERNANDEZ J. J. L., Viabilidad Técnica de Usar Caucho de Neumático como Material de Pavimentación Asfáltica., Universidad Estadual de Maringá, Brasil, 2002.

PALIT, S. K., Sudhakar Reddy, T. K. y Pandey, B.B., Laboratory Evaluation of Crumb Rubber Modified Asphalt Mixes., Journal of Material in Civil Engineering, January/February, 2004.

PARRA MANIOS, Nevar y RUBIO RENGIFO, Jesus Arnoldi. Estudio del Comportamiento Mecanico del Asfalto Natural para la Construcción y Mejoramiento de las Vias de San Vicente del Caguan - Caqueta. Bogota D.C. 2011.

QUIMICA.ES. Oxido de Calcio (CaO). [En línea]. Disponible desde internet en : < http://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%93xido_de_calcio.html> (con acceso el 25 de Agosto de 2012)

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Estudio de las Mejoras Mecanicas de Mezclas Asfalticas con Desechos de Llantas. Alcaldia Mayor de Bogota D.C Contrato IDU - 366-01. Bogota D.C 2002.

ANEXOS

ANEXO A

CUADRO DE RESULTADOS MDC-1 MODIFICADO

Mezcla No.		Asfalto %	Espesor Probeta cm	Factor de Correccion	Peso en gramos			Peso Especifico			Asfalto Absorbido %	VOLUMEN - % TOTAL			Vacios - %		Peso Unitario Lb/pe ³	% vacios llenos	Estabilidad kg		Flujo mm						
					Seca En Aire	S.S.S. En Aire	S.S.S. En Agua	Bulk	Máximo Teórico	Maximo Medido		Agregados	Vacios con Aire	Asfalto Efectivo	Agregados	Asfalto Efectivo			P	Q		Medida	Corregida				
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T						
								D(E-F)			(H-G)/(H-I-B)	(I-B)/(G-Cagr)	I-(G)	I-K-L	I-K	A-(P)/(I-A)	P*2.4	M/(M+L)*100									
MEZCLA 1 (Temperatura de Compresión 100°C)		9,8%	7,00	0,858	1214	1215	613	2,017													306	262	2,5				
			7,00	0,858	1203	1203	612	2,036														357	306	2,4			
			7,00	0,858	1198	1199	614	2,048															306	262	2,7		
			7,10	0,839	1192	1193	612	2,052															331	278	2,8		
			7,00	0,858	1203	1205	615	2,039																280	241	2,4	
								2,038	2,302	2,139	6,23%	70,4%	11,5%	18,1%	29,6%	4,18%	127,2	61,3			270	2,6					
MEZCLA 1 (Temperatura de Compresión 70°C)		9,8%	7,00	0,858	1191	1191	630	2,123														637	547	3,3			
			7,00	0,858	1197	1197	632	2,119															688	591	3,6		
			7,00	0,858	1200	1201	631	2,105																663	569	3,4	
			7,00	0,858	1189	1190	630	2,123																688	591	3,7	
			7,00	0,858	1194	1194	631	2,121																714	612	3,6	
								2,118	2,302	2,114	4,18%	73,2%	8,0%	18,8%	26,8%	6,03%	132,2	70,2			582	3,5					
MEZCLA 1 (Temperatura de Compresión 100°C)		9,8%	6,70	0,923	1185	1187	650	2,207															1147	1059	4,3		
			6,60	0,943	1200	1203	668	2,243																1147	1082	4,5	
			6,60	0,943	1191	1193	656	2,218																	969	913	4,4
			6,60	0,943	1184	1187	650	2,205																	943	889	4,3
			6,60	0,943	1188	1191	655	2,216																	1020	962	4,5
								2,216	2,302	2,243	1,83%	76,6%	3,7%	19,7%	23,4%	8,15%	138,4	84,3			981	4,4					

ANEXO B

CUADRO DE RESULTADOS MDC-1 ESTÁNDAR

Mezcla No.		Asfalto %	Espesor Probeta cm	Factor de Correccion	Peso en gramos			Peso Especifico			Asfalto Absorbido %	VOLUMEN - % TOTAL			Vacios - % Agregados	Asfalto Efectivo	Peso Unitario Lb/ft ³	% vacios llenos %	Estabilidad kg		Flujo mm	
					Seca En Aire	S.S.S. En Aire	S.S.S. En Agua	Bulk G	Maximo Teórico H	Maximo Medido I		Agregados K	Vacios con Aire L	Asfalto Efectivo M					Agregados N	O		P
SIN MODIFICACION																			Peso Especifico del Agregado Gagr= 2.61 Peso Especifico del Asfalto Gas = 0.96 Peso Especifico del Hidróxido de Calcio G =		FECHA AGOSTO DE 2012	
PROYECTO :		DISEÑO MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO MARSHALL ESPECIFICACIÓN INVIAS MDC-1																				
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 45°C)	9.8%	7.00	0.858	1182	1182	610	2.066												255	219	2.8	
		7.00	0.858	1190	1191	612	2.055												229	197	2.9	
		7.10	0.839	1196	1197	615	2.055												280	235	3.0	
		7.10	0.839	1200	1200	613	2.044												255	214	2.7	
		7.00	0.858	1183	1183	609	2.061												229	197	2.5	
							2,056	2,234	2,097	4,29%	71,1%	8,0%	21,0%	28,9%	5,93%	128,3	72,5		212	2,8		
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 70°C)	9.8%	7.10	0.839	1202	1202	613	2.041											433	364	3.0		
		7.10	0.839	1199	1200	614	2.046											484	406	3.2		
		7.10	0.839	1189	1190	612	2.057											408	342	3.0		
		7.10	0.839	1201	1202	614	2.043											459	385	3.2		
		7.10	0.839	1194	1195	612	2.048											433	364	3.0		
							2,047	2,234	2,088	4,53%	70,7%	8,4%	20,9%	29,3%	5,71%	127,7	71,4		372	3,1		
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 100°C)	9.8%	6.70	0.923	1172	1173	639	2.195											510	471	3.9		
		6.50	0.963	1157	1158	632	2.200											561	540	3.5		
		6.60	0.943	1180	1181	640	2.181											637	601	3.8		
		6.60	0.943	1187	1188	645	2.186											688	649	3.5		
		6.70	0.923	1182	1183	639	2.173											663	612	3.8		
							2,187	2,234	2,218	1,07%	75,6%	2,1%	22,3%	24,4%	8,84%	136,5	91,4		574	3,7		

ANEXO C

CUADRO DE RESULTADOS MDC-2 MODIFICADO

Mezcla No.		Asfalto %	Espesor Probeta cm	Factor de Corrección	Peso en gramos			Peso Especifico			Asfalto Absorbido %	VOLUMEN - % TOTAL				Vacios - % Agregados Efectivo	Peso Unitario Lb/pie ³	% vacios llenos %	Estabilidad kg		Flujo mm	
					Seca En Aire	S.S.S. En Aire	S.S.S. En Agua	Bulk	Máximo Teórico	Maximo Medido		Agregados	Vacios con Aire	Asfalto Efectivo	Agregados				Medida	Corregida		
					D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
					D(E-F)			D(E-F)	H	I	(H-G)/(H-I-B)	K	L-G	I-K-L	I-K	A-(P(I-A))	M ² .4	M(M-L)/100	R	S	T	
MODIFICADO CON HIDROXIDO DE CALCIO Ca(OH) ₂ AL 5%																FECHA AGOSTO DE 2012						
ENSAYO: DISEÑO MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO MARSHALL ESPECIFICACIÓN INVIAS MDC-2																						
											Peso Especifico del Agregado G _{ag} = 2.61											
											Peso Especifico del Asfalto Gas = 0.96											
											Peso Especifico del Hidróxido de Calcio G = 2.24											
MEZCLA 1 (Temperatura de Compacción 43°C)	7,1%	7,20	0,824	1205	1211	632	2,081												535	441	3,8	
		7,20	0,824	1185	1186	628	2,124												510	420	3,9	
		7,10	0,839	1203	1204	630	2,096													484	406	3,8
		7,20	0,824	1198	1199	630	2,105													459	378	3,7
		7,10	0,839	1200	1200	629	2,102														510	428
							2,102	2,400	2,090	6,37%	74,8%	12,4%	12,8%	25,2%	1,18%	131,1	50,7		415	3,8		
MEZCLA 1 (Temperatura de Compacción 70°C)	7,1%	7,00	0,858	1188	1189	642	2,172												1351	1159	4,6	
		7,00	0,858	1207	1208	645	2,144												1402	1203	4,7	
		7,00	0,858	1196	1198	644	2,159												1377	1181	4,6	
		7,00	0,858	1192	1194	642	2,159												1351	1159	4,8	
		7,00	0,858	1203	1204	645	2,152													1428	1225	4,8
							2,157	2,400	2,127	5,05%	76,8%	10,1%	13,1%	23,2%	2,41%	134,6	56,4		1185	4,7		
MEZCLA 1 (Temperatura de Compacción 100°C)	7,1%	6,60	0,943	1190	1192	662	2,245												2039	1923	4,0	
		6,60	0,943	1188	1189	660	2,246												2090	1971	4,3	
		6,60	0,943	1197	1199	661	2,225												1988	1875	4,4	
		6,60	0,943	1180	1182	657	2,248												1912	1803	4,4	
		6,60	0,943	1200	1202	660	2,214												1963	1851	4,3	
							2,236	2,400	2,243	3,30%	79,6%	6,9%	13,6%	20,4%	4,04%	139,5	66,5		1885	4,3		

ANEXO D

CUADRO DE RESULTADOS MDC-2 ESTÁNDAR

 UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL PROYECTO DE GRADO JHON MARIO BEDOYA LÓPEZ																					
ASFALTO NATURAL MODIFICADO																					
SIN MODIFICACION										Peso Especifico del Agregado Gagr= 2.61 Peso Especifico del Asfalto Gas = 0.96 Peso Especifico del Hidróxido de Calcio G =					FECHA AGOSTO DE 2012						
PROYECTO:		DISEÑO MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO MARSHALL ESPECIFICACIÓN INVIAS MDC-2																			
Mezcla No.	Asfalto %	Espesor Probeta cm	Factor de Correccion	Peso en gramos			Peso Especifico			Asfalto Absorbido %	VOLUMEN - % TOTAL				Vacios - %		Peso Unitario Lb/pie ³	% vacios llenos %	Estabilidad kg		Flujo mm
				Seca En Aire	S.S.S. En Aire	S.S.S. En Agua	Bulk	Máximo Teórico	Maximo Medido		Agregados	Vacios con Aire	Asfalto Efectivo	Agregados	Asfalto Efectivo	Medida			Corregida		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		
						D(E-F)			(H-G)/(H-I-B)	(I-B)/(G+Gagr)	1-(G)	1-K-L	1-K	A/(P(1-A))	142.4	M/(M-L)*100					
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 35°C)	7,1%	7,00	0,858	1198	1199	619	2,066										382	328	3,6		
		7,00	0,858	1203	1204	621	2,063										357	306	3,7		
		7,00	0,858	1187	1188	618	2,082										331	284	3,4		
		7,00	0,858	1201	1202	620	2,064										408	350	3,8		
		7,00	0,858	1193	1194	618	2,071										382	328	3,7		
						2,069	2,326	2,120	5,74%	73,7%	11,0%	15,3%	26,3%	1,76%	129,1	58,1			319	3,6	
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 70°C)	7,1%	7,10	0,839	1191	1193	634	2,131										994	834	4,3		
		7,10	0,839	1199	1201	636	2,122										943	791	4,2		
		7,10	0,839	1185	1186	632	2,139										969	813	4,1		
		7,10	0,839	1192	1193	635	2,136										994	834	4,3		
		7,10	0,839	1190	1190	635	2,144										1020	856	4,1		
						2,134	2,326	2,083	4,15%	76,0%	8,2%	15,8%	24,0%	3,24%	133,2	65,7			826	4,2	
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 100°C)	7,1%	6,70	0,923	1197	1198	655	2,204										1402	1294	3,4		
		6,60	0,943	1188	1189	648	2,196										1428	1346	3,5		
		6,60	0,943	1192	1193	654	2,212										1377	1298	3,4		
		6,60	0,943	1198	1199	655	2,202										1402	1322	3,6		
		6,60	0,943	1179	1180	641	2,187										1326	1250	3,5		
						2,200	2,326	2,239	2,65%	78,3%	5,4%	16,3%	21,7%	4,64%	137,3	75,1			1302	3,5	

ANEXO E

CUADRO DE RESULTADOS MDC-3 MODIFICADO

Mezcla No.		Asfalto %	Espesor Probeta cm	Factor de Correccion	Peso en gramos			Peso Especifico			Asfalto Absorbido %	VOLUMEN - % TOTAL				Vacios - %		Peso Unitario Lb/pie ³	% vacios llenos %	Estabilidad kg		Flujo mm
					Seca En Aire	S.S.S. En Aire	S.S.S. En Agua	Bulk	Máximo Teórico	Maximo Medido		Agregados	Vacios con Aire	Asfalto Efectivo	Agregados	Asfalto Efectivo	Unitario			%	Medida	
					D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
					D(E-F)			(H-G)*/H(I-B)			(I-B)*/G	I-G(I)	I-K-L	I-K	A-(P*(I-A))	I*G.4	M/(M-L)*100					
MODIFICADO CON HIDROXIDO DE CALCIO Ca(OH) ₂ AL 5%																FECHA AGOSTO DE 2012						
ENSAYO: DISEÑO MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO MARSHALL ESPECIFICACIÓN INVIAS MDC-3																Peso Especifico del Agregado G _{agg} = 2.61 Peso Especifico del Asfalto Gas = 0.96 Peso Especifico del Hidróxido de Calcio G = 2.24						
MEZCLA 1 (Temperatura de Compacción 35°C)	8.6%	7,10	0,839	1167	1169	575	1,965												408	342	3,6	
		7,10	0,839	1177	1179	603	2,043												357	299	3,0	
		7,10	0,839	1186	1188	610	2,052												408	342	3,4	
		7,10	0,839	1190	1192	612	2,052												362	321	3,6	
		7,10	0,839	1193	1195	615	2,057												408	342	3,7	
							2,034	2,345	2,073	7,14%	71,2%	13,3%	15,5%	28,8%	2,07%	126,9	53,9		329	3,5		
MEZCLA 1 (Temperatura de Compacción 70°C)	8.6%	7,10	0,839	1204	1205	637	2,120												1071	896	4,6	
		7,10	0,839	1179	1180	630	2,144												1045	877	4,4	
		7,10	0,839	1196	1197	635	2,128												1173	984	4,4	
		7,10	0,839	1185	1190	634	2,131												1147	962	4,7	
		7,10	0,839	1200	1201	636	2,124												1122	941	4,8	
							2,129	2,345	2,092	4,72%	74,6%	9,2%	16,2%	25,4%	4,28%	132,9	63,8		933	4,6		
MEZCLA 1 (Temperatura de Compacción 100°C)	8.6%	6,60	0,943	1172	1173	634	2,174												1402	1322	5,3	
		6,60	0,943	1190	1194	638	2,140												1657	1563	4,6	
		6,60	0,943	1195	1197	637	2,134												1530	1442	4,8	
		6,60	0,943	1186	1189	635	2,141												1504	1418	5,1	
		6,60	0,943	1158	1201	640	2,064												1606	1514	5,4	
							2,131	2,345	2,233	4,69%	74,6%	9,1%	16,2%	25,4%	4,31%	132,9	64,0		1452	5,0		

ANEXO F

CUADRO DE RESULTADOS MDC-3 ESTÁNDAR

Mezcla No.		Asfalto %	Espesor Probeta cm	Factor de Corrección	Peso en gramos			Peso Especifico			Asfalto Absorbido %	VOLUMEN - % TOTAL			Vacios - %		Peso Unitario Lb/ft ³	% vacios llenos %	Estabilidad kg		Flujo mm	
					Seca En Aire	S.S.S. En Aire	S.S.S. En Agua	Bulk	Máximo Teórico	Maximo Medido		Agregados	Vacios con Aire	Asfalto Efectivo	Agregados	Asfalto Efectivo			Medida	Corregida		
PROYECTO :					DISEÑO MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO MARSHALL ESPECIFICACIÓN INVIAS MDC-3					Peso Especifico del Agregado G _{ag} = 2.61 Peso Especifico del Asfalto Gas = 0.96 Peso Especifico del Hidróxido de Calcio Gas =				FECHA AGOSTO DE 2012								
ASFALTO NATURAL MODIFICADO																						
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 33-C)	8.6%	7.00	0.858	1168	1170	603	2.060												280	241	3.6	
		7.00	0.858	1194	1196	615	2.055												306	262	3.3	
		7.00	0.858	1198	1200	618	2.058													331	284	3.0
		7.00	0.858	1201	1203	619	2.057													280	241	2.9
		7.00	0.858	1189	1190	613	2.061													306	262	3.4
							2.058	2.274	2.116	5.04%	72.1%	9.5%	18.4%	27.9%	3.99%	128.4	66.0		258		3.3	
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 70-C)	8.6%	7.00	0.858	1197	1198	623	2.082												892	766	3.8	
		7.00	0.858	1206	1207	632	2.097												918	787	3.7	
		7.00	0.858	1189	1190	623	2.097												867	744	3.9	
		7.00	0.858	1195	1196	630	2.111												841	722	3.8	
		7.00	0.858	1198	1200	632	2.109													867	744	3.6
							2.099	2.274	2.125	4.01%	73.5%	7.7%	18.8%	26.5%	4.94%	131.0	71.0		752		3.8	
MEZCLA 1 (Temperatura de Compactación 100-C)	8.6%	6.80	0.943	1205	1208	670	2.240												1020	962	3.8	
		6.80	0.898	1199	1209	655	2.164												1275	1145	3.8	
		6.70	0.923	1194	1197	660	2.223												1249	1153	3.9	
		6.70	0.923	1201	1204	658	2.200													1147	1059	3.8
		6.70	0.923	1183	1186	650	2.207													1198	1106	3.6
							2.207	2.274	2.252	1.47%	77.3%	3.0%	19.8%	22.7%	7.26%	137.7	87.0		1085		3.8	

ANEXO G

RESUMEN GRÁFICOS MDC-1



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
PROYECTO DE GRADO
JHON MARIO BEDOYA LÓPEZ

ASFALTO NATURAL MODIFICADO

ENSAYO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - MÉTODO MARSHALL
 ESPECIFICACIÓN INVIAS MDC-1

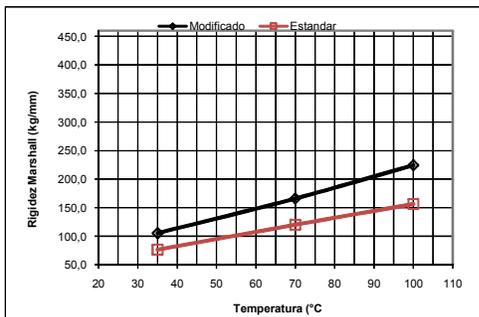
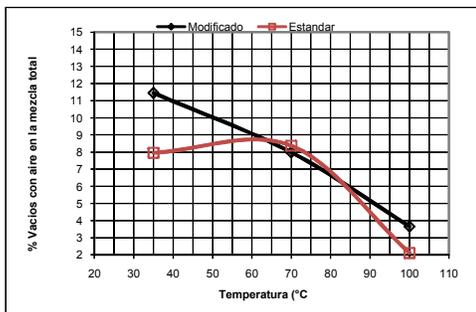
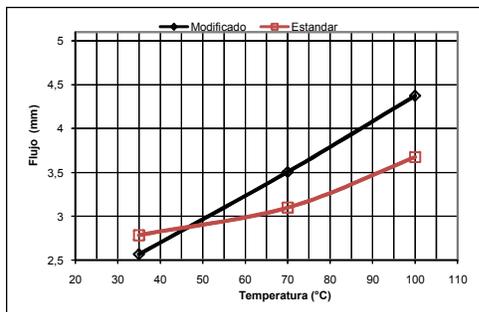
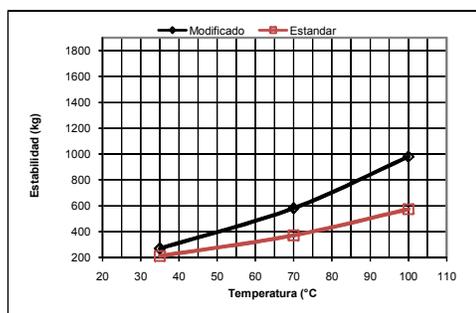
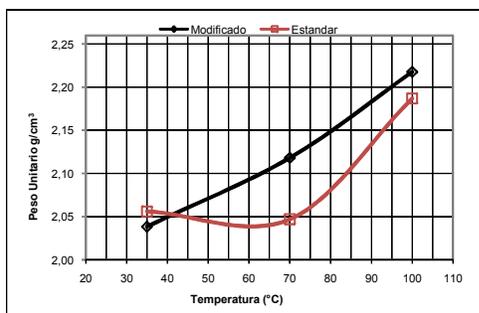
FECHA
 AGOSTO DE 2012

RESUMEN DATOS ASFALTO NATURAL MODIFICADO CON HIDRÓXIDO DE CALCIO Ca(OH)₂ AL 5%

% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacíos con Aire.	% Vacíos agregados	Rigidez
9,8%	35	2,04	270	2,57	11,5	29,6	105,2
9,8%	70	2,12	582	3,51	8,0	26,8	166,0
9,8%	100	2,22	981	4,38	3,7	23,4	224,2

RESUMEN DE DATOS ASFALTO NATURAL ESTANDAR

% Asfalto	T (°C) Compactación	Peso Unitario	Estabilidad (Lbs)	Flujo (mm)	% Vacíos con Aire.	% Vacíos agregados	Rigidez
9,8%	35	2,06	212	2,78	8,0	28,9	76,3
9,8%	70	2,05	372	3,10	8,4	29,3	120,1
9,8%	100	2,19	574	3,68	2,1	24,4	156,3



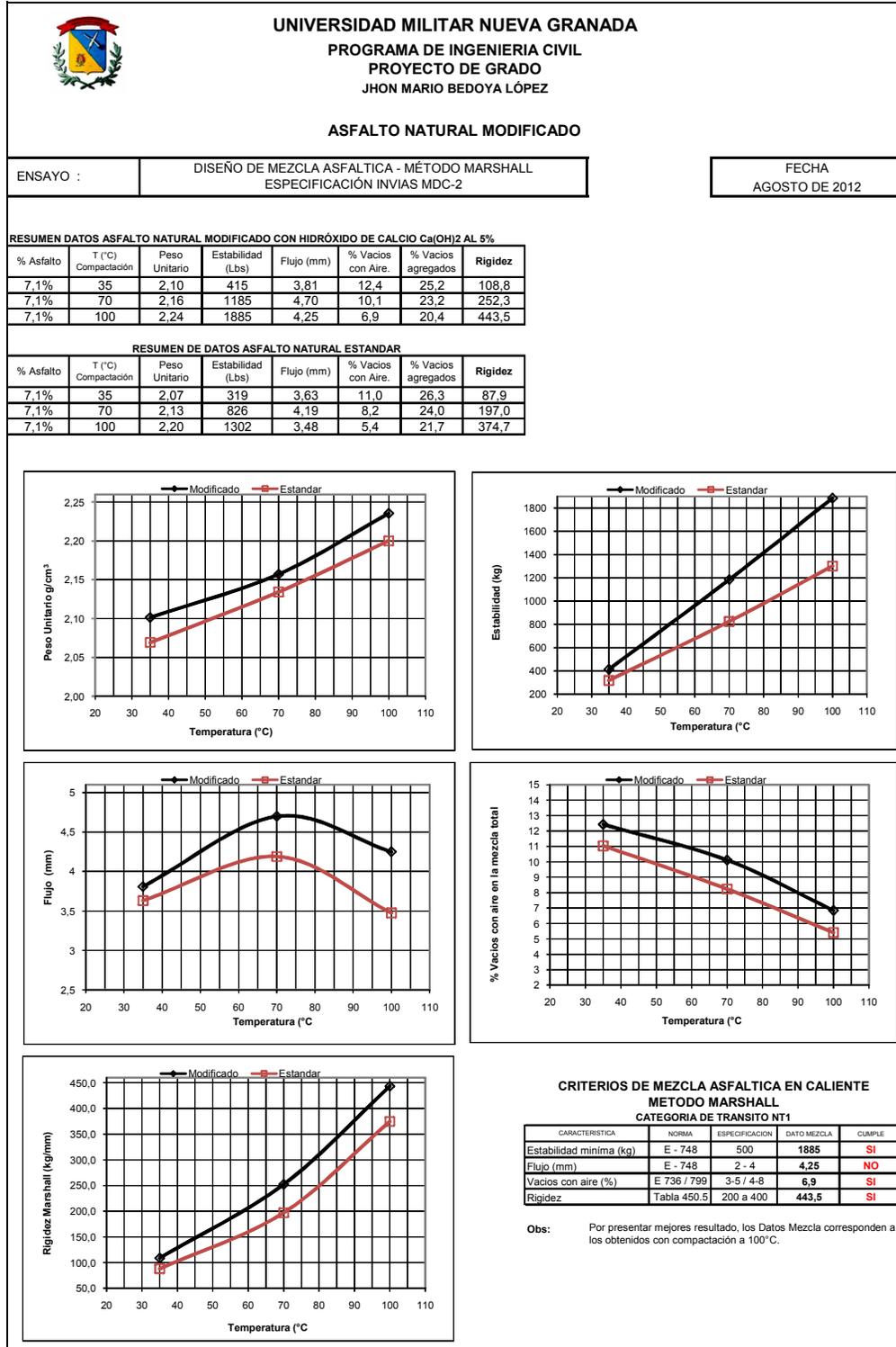
**CRITERIOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
 METODO MARSHALL
 CATEGORIA DE TRANSITO NT1**

CARACTERISTICA	NORMA	ESPECIFICACION	DATO MEZCLA	CUMPLE
Estabilidad minima (kg)	E - 748	500	981	SI
Flujo (mm)	E - 748	2 - 4	4,38	NO
Vacios con aire (%)	E 736 / 799	3-5 / 4-8	3,7	SI
Rigidez	Tabla 450.5	200 a 400	224,2	SI

Obs: Por presentar mejores resultado, los Datos Mezcla corresponden a los obtenidos con compactación a 100°C.

ANEXO H

Resumen Gráficos MDC-2



ANEXO I

RESUMEN GRÁFICOS MDC-3

