



# CARACTERIZACIÓN DEL RAP E IDENTIFICACIÓN DE SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Ashley Nataly Paola González Méndez  
Juan Felipe Buitrago Zarabanda

## 1. Resumen

Esta investigación presenta los resultados de los comportamientos mecánicos obtenidos mediante el método Marshall de mezclas asfálticas en las que se adicione RAP en diferentes porcentajes de adición y contenido de asfalto. En primera instancia se realiza la caracterización del RAP encontrado en la ciudad de Bogotá mediante los ensayos de extracción y recuperación de asfalto, penetración, ductilidad, punto de llama e ignición, viscosidad y punto de ablandamiento.

Posteriormente y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización, se fabricó RAP con diferentes contenidos de asfalto por los métodos de envejecimiento a corto (STOA) y largo (LTOA) plazo, y se sometió a dos grados de oxidación, para después ser adicionado en diferentes porcentajes a mezclas asfálticas óptimas MDC-19 de control previamente diseñadas. Estas mezclas resultantes fueron sometidas al método Marshall y los resultados fueron objeto de análisis, identificando la influencia de las diferentes condiciones del RAP en mezclas asfálticas nuevas. Se determina un alto grado de heterogeneidad en el RAP, cuya influencia es significativa en el comportamiento de la mezcla asfáltica en que se adicione. En cuanto mayor es el grado de envejecimiento del RAP, mayor es el porcentaje de vacíos y la estabilidad, y menor el flujo de la mezcla.

Palabras clave: Reciclado de pavimentos, envejecimiento, extracción de asfalto, recuperación de asfalto, caracterización.

## 2. Introducción

El pavimento de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico y de la meteorología, factores que sumados a las propiedades intrínsecas del material generan un proceso de deterioro del mismo que conlleva a perder la vida útil, sin embargo este material no pierde por completo sus propiedades y puede ser reutilizado en una mezcla nueva, este método es conocido como Reciclado de Pavimentos Asfálticos (RAP). Actualmente se conocen los beneficios ambientales y económicos que conlleva la implementación de este método, sin embargo, no se conocen a ciencia cierta sus propiedades, ya que es un material muy variable y presenta diferentes composiciones que dependen de los componentes iniciales de la mezcla de la que provienen, del tiempo que lleva en servicio, la cantidad de tráfico que ha soportado, el estado de envejecimiento del mismo, el contenido de asfalto, la granulometría, entre otros factores, que influyen en su comportamiento y manejo



para la obtención de una determinada mezcla asfáltica nueva en la que se adicione. Las principales variables presentes en el RAP que influyen el comportamiento de la mezcla nueva podrían considerarse el porcentaje de asfalto y su grado de envejecimiento. El mayor problema radica en que los acopios de reciclado no siempre provienen de una misma obra, y se presentan variaciones significativas en cuanto a calidad y gradación de agregados, y contenido y tipo de ligante. A pesar de la cantidad de investigaciones que se han ocupado de este tema, la conducta del RAP todavía no se entiende completamente, especialmente en lo que respecta a la influencia que tiene la composición y condición en la que se encuentra el RAP, en el comportamiento de una mezcla nueva. Además, subsisten dudas sobre el manejo adecuado que debe darse a este material.

De esta forma se presenta un documento que servirá de guía para el manejo del RAP en mezclas densas en caliente, en él se identifica la variación en el comportamiento de las mezclas con adición de RAP para diferentes características en diferentes porcentajes de adición en la mezcla.

### 3. Justificación

El RAP en Colombia se ha usado principalmente como conformación de bases estabilizadas, y en menor medida se ha usado para la conformación de la carpeta asfáltica, siendo este último muy poco utilizado. Aunque se han realizado investigaciones basadas en la importancia y la viabilidad en el uso de esta técnica, todas tienden a realizar el diseño de mezclas asfálticas con RAP basados en ensayos mecánicos realizados empíricamente [Universidad Politécnica de Catalunya, reciclado mezclas bituminosas en caliente], en los que se eligen las cantidades de asfalto, agregados y aditivos por métodos de tanteo o por tablas que relacionan algunas propiedades, y se elige la proporción de materiales que genere el mejor comportamiento, pero no se evalúa a fondo las propiedades del reciclado, así pues, se desconoce los factores que influyen en el comportamiento del RAP dentro de la mezcla.

Así pues, se han realizado varios estudios acerca del manejo y comportamiento del reciclado en diferentes condiciones, que en su mayoría evalúa la cantidad de asfalto adecuada en la mezcla incluyendo el aportado por el RAP, se adicionan los agregados pétreos necesarios para obtener una granulometría adecuada y en algunos casos la cantidad de diferentes agentes rejuvenecedores. Sin embargo, estas condiciones no representan en su totalidad las condiciones reales en cuanto al manejo de RAP, puesto que generalmente se utilizan muestras cualesquiera de RAP y no se tiene en cuenta sus propiedades intrínsecas como el grado de envejecimiento, el contenido de asfalto y la granulometría. De lo anterior se infiere que se carece de estudios que profundicen en las propiedades y características de este material, razón por la cual no es posible unificar la forma de trabajo y manejo del mismo.

Este trabajo contribuye al manejo del RAP realizando una revisión de la literatura y presentando los resultados de una investigación de laboratorio sobre la



caracterización del RAP usado actualmente, en la que se identifican sus propiedades y se establecen las principales variaciones que se presentan entre las diferentes muestras, para evaluar posteriormente la influencia del contenido y el grado de envejecimiento del asfalto del RAP en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente con adición del mismo en diferentes porcentajes, en comparación con el comportamiento de la mezcla óptima MDC-19, mediante el ensayo MARSHALL.

#### 4. Metodología

La metodología aplicada en el desarrollo de la investigación se divide en tres etapas principales, en la primera etapa se realizó una recolección de la información y revisión bibliográfica que permitió la contextualización del tema y estableció el estado de arte correspondiente al tema de estudio.

En la segunda etapa se lleva a cabo la campaña experimental, en una primera parte se realiza la caracterización de RAP mediante el procedimiento mostrado en la figura No.1 y en una segunda parte se realiza la evaluación de la influencia de las propiedades del RAP en una mezcla nueva en caliente, mediante el proceso que se muestra en la Figura No.2.

Se evalúa la influencia del cloruro de metileno en el asfalto recuperado por medio del análisis del comportamiento mecánico del asfalto antes y después de ser diluido en el cloruro, para lo cual el asfalto se somete a los mismos ensayos realizados al asfalto recuperado de las muestras de RAP.

Se fabricó RAP en el laboratorio por medio de los procedimientos STOA y LTOA. Ello con el fin de controlar las variables de estudio (Contenido de asfalto y envejecimiento del RAP). El RAP se simula variando el porcentaje de asfalto, usando los resultados obtenidos en la primera etapa de caracterización del mismo, manteniendo la granulometría de la mezcla óptima. Con el fin de verificar el estado de envejecimiento del RAP simulado, se realizan los mismos ensayos de caracterización realizados para el RAP anteriormente.

Finalmente, en la tercera etapa se analizan los resultados obtenidos y se evalúa la influencia que tiene la variación del contenido de asfalto y su grado de envejecimiento, en el comportamiento mecánico de una mezcla densa en caliente. Se muestra el proceso de la campaña experimental aplicada en los siguientes diagramas.

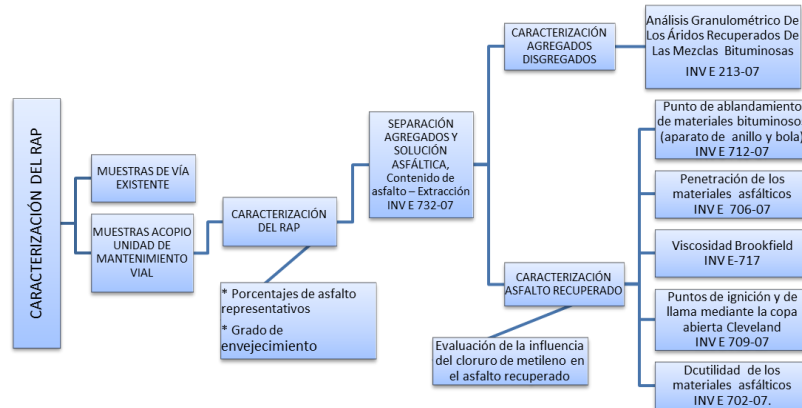


Figura 1. Diagrama de flujo caracterización muestras de reciclado de pavimento asfáltico (RAP)

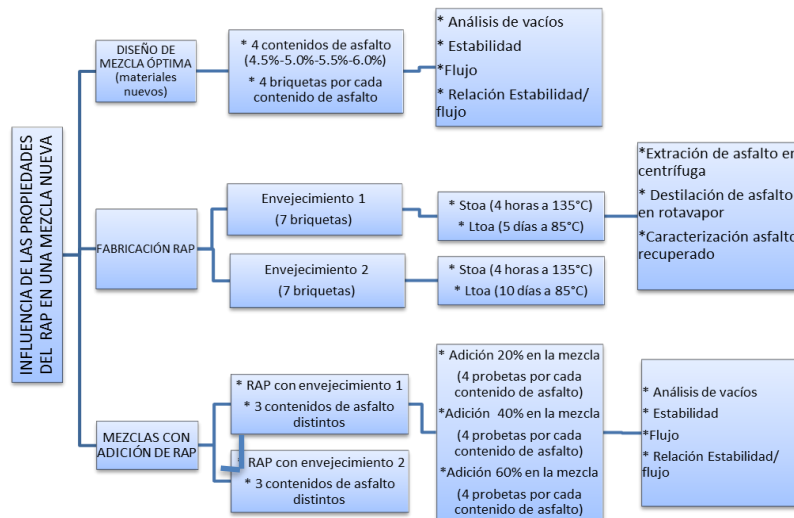


Figura 2. Diagrama de flujo influencia de las propiedades del RAP en una mezcla asfáltica en caliente nueva

#### 4.1 Agregados pétreos y asfalto

Los agregados pétreos y asfalto utilizados en este trabajo para llevar a cabo el estudio de las mezclas asfálticas, son obtenidos en la planta de producción de mezclas asfálticas de CONCRESCOL S.A., ubicada en la zona industrial minera del Tunjuelo de la ciudad de Bogotá. Las características de los agregados pétreos se observan en la tabla 1 y los del asfalto en la tabla 2.



Tabla 1. Caracterización agregados pétreos Concescol S.A. [Rondón; Fernández; Zafra, 2016]

CARACTERÍSTICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	VALOR
Desgaste en la máquina de los Ángeles (%)	24,6
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval (%)	22,3
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos. Relación húmedo/seco, mínima (%)	83
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso (%)	12,9
Equivalente de arena (%)	76
Caras fracturadas (%)	87

Tabla 2. Caracterización asfalto Concescol S.A. realizado en este trabajo

CARACTERÍSTICA DEL ASFALTO	VALOR
Penetración	66,7
Ductilidad (cm)	>150
Punto de ignición (°C)	260
Punto de llama (°C)	282
Punto de ablandamiento (°C)	47,8
Viscosidad 60°C (centiPoises)	175200
Viscosidad 110°C (centiPoises)	1588
Viscosidad 135°C (centiPoises)	262,5

## 5. Resultados

### 5.1 Caracterización del rap

Tabla 3. Resultados ensayos de punto de ablandamiento, ductilidad, penetración, y punto de llama e ignición.

MUESTRA	PORCENTAJE DE ASFALTO (%)	PUNTO DE ABLANDAMIENTO	DUCTILIDAD (cm)	PENETRACIÓN	PUNTO DE LLAMA	
					PUNTO IGNICIÓN	PUNTO DE INFLAMACIÓN
Muestra 1	0,07	58,00	33,67	26,70	293°C	310°C
Muestra 2	0,07	65,30	11,58	24,70	240°C	260°C
Muestra 3	0,08	65,70	17,92	17,00	178°C	190°C
Muestra 4	0,07	68,00	18,17	28,00	275°C	290°C
Muestra 5	0,06	66,90	18,50	25,00	269°C	290°C
Muestra 6	0,05	74,80	6,58	6,00	248°C	270°C



Tabla 4. Resultados ensayo de viscosidad.

MUESTRA	VISCOSIDAD 110°C-120°C		VISCOSIDAD 135°C		Grado de	
	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD PROMEDIO (centiPoises)	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD PROMEDIO (centiPoises)	%RETENIDO PENETRACIÓN	INDICE DE ENVEJECIMIENTO
Muestra 1	110	4813,00	135	925,00	41,08	2,64
Muestra 2	110	10390,00	135	1569,00	38,00	4,48
Muestra 3	120	4979,33	135	2056,00	26,15	5,87
Muestra 4	120	6543,33	135	2300,00	43,08	6,57
Muestra 5	120	3808,67	135	1838,00	38,46	5,25
Muestra 6	120	5288,00	135	1694,00	9,23	4,84

Los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de las muestras de RAP (reciclado de pavimento asfáltico) permiten establecer que este material es heterogéneo ya que las propiedades y características del asfalto y la granulometría varían de una muestra a otra.

### 5.2 Influencia de las propiedades del rap en una mezcla nueva

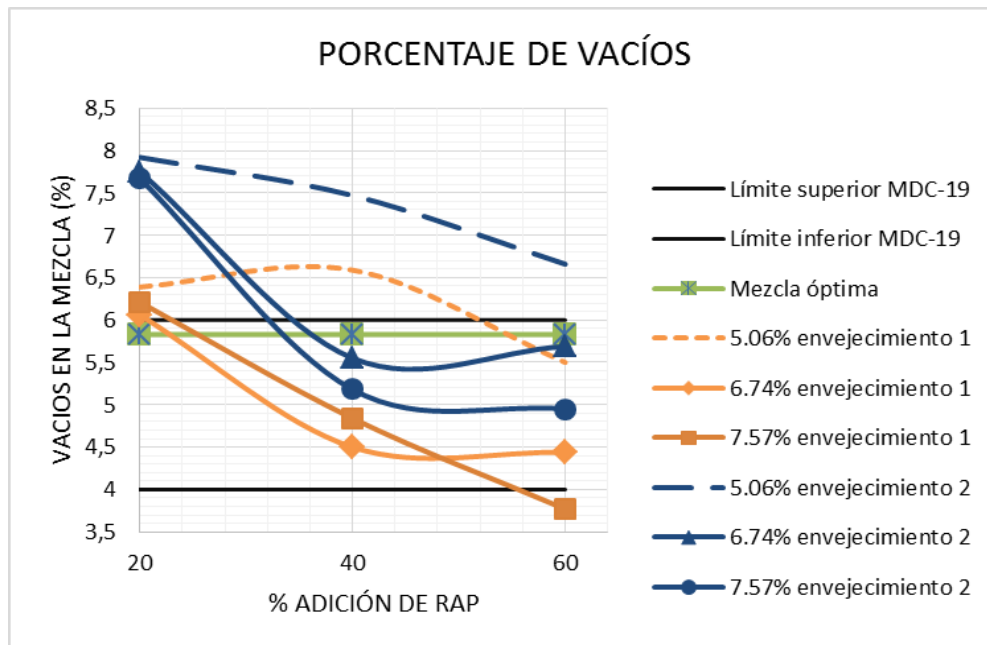


Figura 3. Porcentaje de vacíos resultante de mezclas asfálticas en caliente con adición de RAP.

De la figura 3 se deduce que en cuanto mayor es el grado de envejecimiento del RAP, mayor es el porcentaje de vacíos de la mezcla resultante. Por el contrario, el porcentaje de vacíos disminuye en cuanto mayor es el contenido de asfalto del RAP. Adiciones de RAP de 20% superan los límites de vacíos de la norma





colombiana INVIAS, lo que conlleva a problemas de envejecimiento acelerado, alta permeabilidad, fragilidad, fisuración prematura, desprendimiento de agregados y daños por humedad. Adiciones de RAP de 40% o 60% cumple con dichos límites cuando el contenido de asfalto del RAP es elevado. Con contenidos de asfalto muy elevados resultan porcentajes de vacíos inferiores a los límites de la norma, de lo que se derivan problemas de exudación, y posibles ahuellamientos y deformaciones.

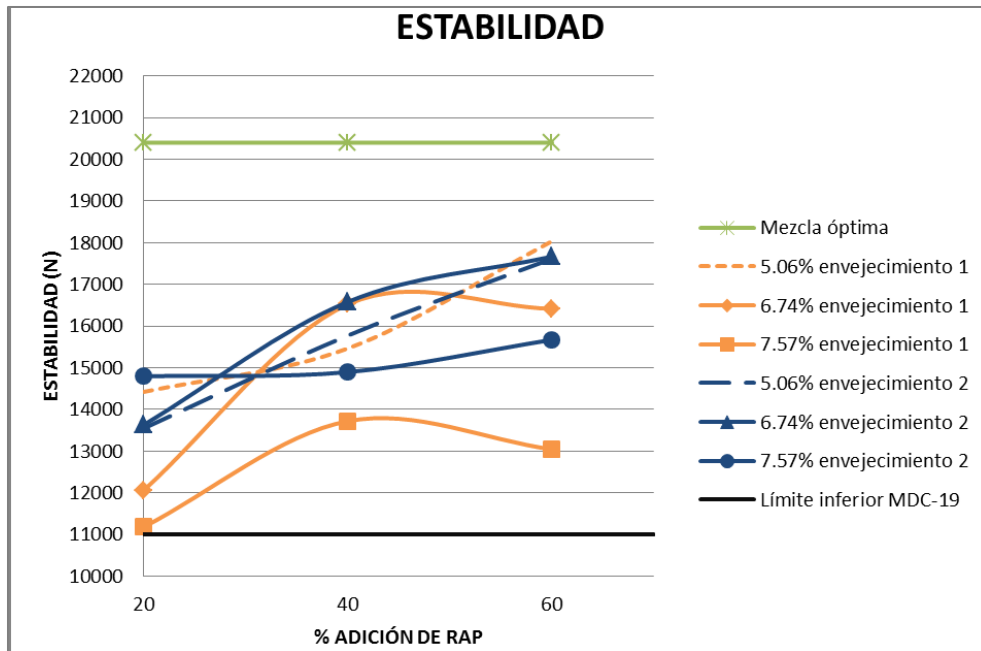


Figura 4. Estabilidad resultante de mezclas asfálticas en caliente con adición de RAP.

La figura 4 indica que en general la adición de RAP en la mezcla asfáltica disminuye la estabilidad en comparación con la mezcla asfáltica óptima, sin embargo las mezclas resultantes de este estudio cumplen con las especificaciones de estabilidad dadas por la norma INVIAS para una mezcla MDC-19. Además, se identifica que en cuanto mayor es el contenido de asfalto del RAP, menor es la estabilidad de la mezcla en que se adicione, mientras que a mayor estado de envejecimiento de dicho asfalto y mayor porcentaje de adición del RAP, mayor será la estabilidad.

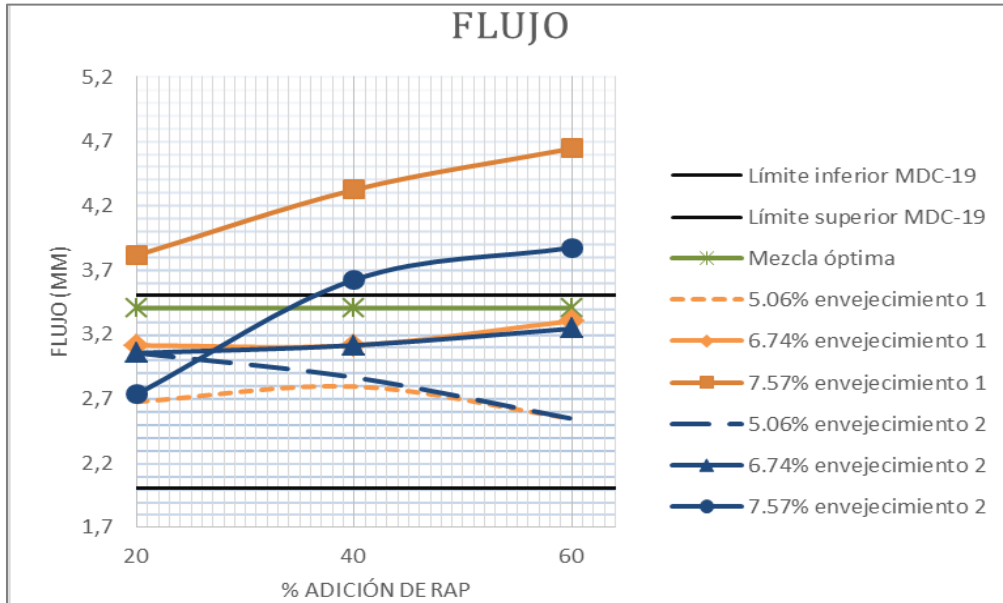


Figura 5. Flujo resultante de mezclas asfálticas en caliente con adición de RAP.

De la figura 5 se deduce que en cuanto mayor es el contenido de asfalto del RAP y su adición en la mezcla, mayor es el flujo de la mezcla resultante, traducido en una mayor capacidad de deformación plástica siendo sometida a cargas. Por el contrario a mayor grado de envejecimiento, menor es su flujo. Contenidos de asfalto del RAP muy elevados presentan condiciones de flujo muy elevadas, superiores a las permitidas por la norma colombiana INVIAS.

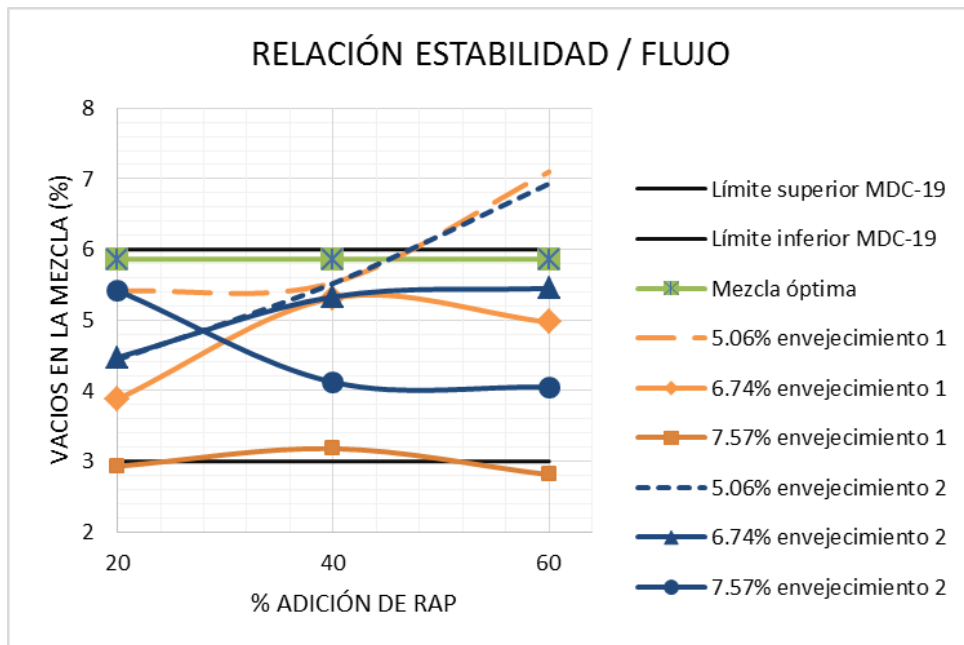


Figura 6. Relación estabilidad flujo resultante de mezclas asfálticas en caliente con adición de RAP.





De la figura 6 se observa que para mezclas asfálticas con adición de RAP con contenido de asfalto bajo y alto grado de envejecimiento, se obtienen resultados con alta estabilidad, por lo que la relación estabilidad/flujo será mayor. En condiciones contrarias los resultados de flujo se presentarán altos, por lo que dicha relación disminuye.

### 5.3 Evaluación de la influencia del cloruro de metileno en el asfalto

En relación a los resultados obtenidos de la caracterización del asfalto destilado después de su disolución en cloruro de metileno comparados con los del asfalto virgen, que se muestran en la tabla 5, se puede decir que el cloruro actúa sobre el asfalto afectando su comportamiento reológico aumentando su penetración y ductilidad, y disminuyendo su punto de ablandamiento y viscosidad, lo que lo hace más blando, menos rígido y con una mayor fluidez.

Tabla 5. Comparación características de asfalto virgen Vs asfalto disuelto en cloruro de metileno

<b>ASFALTO CON CLORURO DE METILENO Vs ASFALTO NUEVO</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>ASFALTO NUEVO</b>	<b>ASFALTO CLORURO</b>
Punto de ignición (°C)	260,0	280,0
Punto de llama (°C)	282,0	307,0
Ductilidad (cm)	>150	>150
Penetración	66,7	90,7
Punto ablandamiento (°C)	47,8	39,4
Viscosidad 110 °C (centiPoises)	1588,0	937,5
Viscosidad 135°C (centiPoises)	262,5	162,5

### 5.4 Recuperación asfalto de rap simulado

De acuerdo a los resultados obtenidos para la caracterización del asfalto extraído del RAP simulado en el laboratorio para el envejecimiento 1, se verifica que este presenta un aumento en el endurecimiento y disminución en la manejabilidad, susceptibilidad térmica y capacidad de fluir con respecto al asfalto nuevo inicial. Los resultados se observan en la tabla 6.



Tabla 6. Comparación característica de asfalto virgen Vs asfalto recuperado de RAP simulado

RESULTADOS ASFALTO RECUPERADO Vs ASFALTO NUEVO		
PARÁMETRO	AFALTO NUEVO	RAP SIMULADO
Punto de ignición (°C)	260,0	292,0
Punto de llama (°C)	282,0	306,0
Ductilidad (cm)	>150	57,6
Penetración	66,7	41,0
Punto ablandamiento (°C)	47,8	60,4
Viscosidad 110 °C (centiPoises)	1588,0	2096,3
Viscosidad 135°C (centiPoises)	262,5	337,5

## 6. Conclusiones

Con el desarrollo de esta investigación se identificó que el RAP es un material heterogéneo que posee propiedades y características que varían significativamente de una muestra a otra, por lo que no puede ser trabajado como un material uniforme. Las variaciones se presentan en cuanto a la granulometría de los agregados pétreos y el contenido y grado de envejecimiento del asfalto, este último representado en la variación que se evidencia en los resultados obtenidos de penetración, punto de llama y punto de ignición, ductilidad, viscosidad y punto de ablandamiento, que indican diferentes grados de oxidación del asfalto.

Los métodos de envejecimiento de mezclas asfálticas STOA y LTOA son herramientas que permiten obtener mezclas envejecidas simulando las condiciones reales de materiales reciclados, y posibilita el control de los materiales a usar, el contenido de asfalto de la mezcla y el grado de envejecimiento.

El cloruro de metileno es un disolvente que funciona efectivamente para separar los agregados pétreos y el asfalto presentes en una mezcla asfáltica, y además permite que el asfalto sea recuperado por medio de destilación de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma INVIAS, sin embargo, aunque esta norma permite su uso, no menciona contraindicación alguna sobre los efectos que causa en el asfalto. En este trabajo se demostró que el cloruro de metileno modifica las propiedades reológicas del asfalto, puesto que lo hace más blando, aumenta su ductilidad, disminuye su viscosidad y su punto de ablandamiento.

El contenido de asfalto presente en el RAP es un factor muy importante en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas en caliente con adición del mismo. Para contenidos de asfalto en el RAP cercanos al utilizado en una mezcla óptima, se obtiene un aumento de porcentajes de vacíos, menor estabilidad y menor flujo con respecto a dicha mezcla óptima. Para contenidos de asfalto en el RAP mayores al óptimo, se presenta un aumento de vacíos cuando la adición de reciclado es del 20% y disminuyen para adiciones de 40 y 60%, la estabilidad disminuye y el flujo se encuentra cerca con respecto a la mezcla óptima. Para



contenidos de asfalto en el RAP muy superiores al óptimo, se presenta un aumento de vacíos cuando la adición de reciclado es de 20% y disminuyen para adiciones de 40 y 60%, la estabilidad disminuye en mayor medida y el flujo aumenta con respecto a la mezcla óptima.

En las mezclas asfálticas en caliente con adición de 20% de RAP, el porcentaje de vacíos es mayor al de una mezcla óptima y no se cumplen los parámetros requeridos por la norma INVIAS. Si en el material reciclado se tienen contenidos de asfalto muy elevados, no es recomendable utilizar adiciones de 20% de RAP, ya que si este material no se encuentra en un estado de envejecimiento alto, se presenta un comportamiento con baja estabilidad y alto flujo. Por otra parte, para contenidos no muy altos de asfalto en el material reciclado, se obtienen convenientes resultados de estabilidad y flujo sin importar el grado de envejecimiento en el que se encuentre.

Para mezclas asfálticas en caliente con adición de 40% de RAP con bajos contenidos de asfalto, el porcentaje de vacíos no cumple puesto que es superior al de la mezcla óptima y supera los límites establecidos por la norma INVIAS, mientras que para contenidos de asfalto mayores en el reciclado, el porcentaje de vacíos disminuye y cumple dicha norma. La estabilidad de mezclas con este porcentaje de adición cumple para cualquier contenido de asfalto sin importar el estado de envejecimiento, aunque disminuye para contenidos de asfalto elevados. El flujo es elevado con altos contenidos de asfalto en el RAP, y supera el de la mezcla óptima y los límites del INVIAS, entretanto que para contenidos de asfalto no muy altos si se cumplen dichos requerimientos.

Para adiciones de 60% de RAP en la mezcla los vacíos disminuyen en función del aumento del contenido de asfalto del material reciclado, para contenidos bajos los vacíos son mayores a los de la mezcla óptima y para altos contenidos son mucho menores que los mismos. La estabilidad se ve afectada para altos contenidos de asfalto en el reciclado puesto que aunque cumplen con la normatividad disminuyen en comparación a los obtenidos con contenidos menores de asfalto. Por último, el flujo aumenta a medida que aumenta el contenido de asfalto presente en el material reciclado, siendo representativo para altos contenidos de asfalto.

Se tiene que mezclas asfálticas en caliente con adición de RAP con contenidos de asfalto elevados o cercanos al usado en la mezcla óptima, no cumplen con los parámetros de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos de aire y relación de estabilidad/flujo para ningún porcentaje de adición y envejecimiento de material reciclado, sin embargo para los contenidos bajos se presenta un buen comportamiento mecánico y no se encuentran alejados de cumplir con la norma. Mientras que con contenidos de asfalto en el RAP cercanos al promedio obtenido en la caracterización realizada al RAP (6.74%) se cumplen todos los requisitos y se presentan las mejores condiciones mecánicas, no obstante es recomendable que si se tiene un alto grado de oxidación para estos asfaltos su adición en la mezcla asfáltica sea mayor al 20%.



A mayor grado de envejecimiento del RAP adicionado en una mezcla asfáltica en caliente, mayor es el porcentaje de vacíos y la estabilidad, y menor el flujo de la mezcla resultante.

En este trabajo se identificó que en cuanto mayor es el contenido de asfalto en el RAP mayor es el flujo y menor es la estabilidad resultante de la mezcla en la que se adiciona. Además entre mayor es la adición de RAP con altos contenidos de asfalto, en la mezcla asfáltica en caliente, mayor será el asfalto total en la misma y a su vez mayor la proporción de asfalto envejecido, por lo que si se aumenta la adición de RAP se genera un aumento paralelo del grado de envejecimiento de la mezcla asfáltica resultante. Para adiciones mayores al 40% de reciclado con altos contenidos de asfalto el grado de envejecimiento influye en gran medida, puesto que si se tiene un asfalto muy rígido, contrario al comportamiento esperado por su alto contenido de asfalto, la estabilidad aumenta debido a que aunque la cantidad de asfalto total en la mezcla es elevada, la mayor parte de su proporción se encuentra endurecida y se comporta como un cuerpo rígido con bajas capacidades de fluir.

Como conclusión, si se conoce el contenido de asfalto y un aproximado del grado de envejecimiento presentes en el RAP a utilizar, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación sirven como guía para que basados en dichas propiedades del RAP se puedan elegir las proporciones adecuadas de materiales nuevos y de reciclado, para obtener mezclas resultantes con buenos comportamientos mecánicos y que cumplan con los requisitos de la norma INVIAS.

## 7. Bibliografía

- ALARCON IBARRA. JORGE. RECICLADO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS EN CALIENTE EN PLANTA. Capítulo 3. {En línea}. Visitado 13 de octubre de 2015. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5906/10CAPITULO3.pdf?sequence=10>
- MÉNDEZ REVOLLO. ANGÉLICA ANDREA. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL USO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP) EN VÍAS COLOMBIANAS. Bogotá. 2015. Trabajo de grado. (Ingeniero Civil). UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA. Facultad de Ingeniería. Disponible en: [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13208/1/EVALUACI%C3%93N%20T%C3%89CNICA%20Y%20ECON%C3%93MICA%20DEL%20USO%20DE%20PAVIMENTO%20ASF%C3%81LTICO%20RECICLADO%20\(RAP\)%20EN%20V%C3%8DAS%20COLOMBIANAS.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13208/1/EVALUACI%C3%93N%20T%C3%89CNICA%20Y%20ECON%C3%93MICA%20DEL%20USO%20DE%20PAVIMENTO%20ASF%C3%81LTICO%20RECICLADO%20(RAP)%20EN%20V%C3%8DAS%20COLOMBIANAS.pdf)
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Reciclado del pavimento, una técnica viable y económica para las vías. {En línea}. Publicado 06 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.invias.gov.co/index.php/sala/noticias/831-reciclado-del-pavimento-una-tecnica-viable-y-economica-para-las-vias>
- HERRERA GUERRA, CARMEN. Seguimiento al diagnóstico, diseño y construcción de la rehabilitación de las rutas sitp-suba-bogota con estabilización de base granular estabilizada asfalto caliente y reciclado de carpeta asfáltica. Bogotá. 2014. Tesis de maestría. (Ingeniero civil). Universidad militar Nueva Granada. Facultad de ingeniería civil. Disponible en:



[http://repository.unimilitar.edu.co:8080/bitstream/10654/12078/1/MONOGRAFIA%20\(100%25\)con%20caratula%20\(10-7-14\)%20ok.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co:8080/bitstream/10654/12078/1/MONOGRAFIA%20(100%25)con%20caratula%20(10-7-14)%20ok.pdf)

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carretera. Disponible en:

- <http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de Tracción Indirecta. INVIAS 725. 2007. Disponible en : <ftp://ftp.ani.gov.co/Segunda%20Ola/Villavicencio%20Yopal/4.-%20Est%20Hidra%C3%BAlica/Auxiliar/ANX12%20Especificaciones%20Tecnicas%20Invias/normas%20Invias/Normas/Invias/Ensayos/Norma%20INV%20E-725-07.pdf>

- HERNANDEZ HERNANDES, PABLO JOSÉ. Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, ligantes hidráulicos y emulsiones asfálticas. Bogotá, Colombia. 2014. Tesis especialización. (Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Civil.

- ARIAS. GEORGE. MEZCLAS ASFALTICAS. {En línea}. Publicado 10 de abril de 2013. Visitado 15 de octubre de 2015. Disponible en: <http://es.slideshare.net/leonel321/mezclas-asfalticas-2>

- PADILLA RODRIGUEZ. ALEJANDRO. Mezclas Asfálticas: Capítulo 3. {En línea}. Visto 31 de octubre de 2015. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14>

- ESPARZA VILLALBA, CARMEN. Mezclas Asfálticas En Caliente. Universidad Técnica Particular de Loja. {En línea}. Publicado 15 de junio de 2009. Visitado 03 de Noviembre de 2015. Disponible en: [http://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/mezclas-asfticas-en-calientesemana-16-1588747?next\\_slideshow=1](http://es.slideshare.net/UCGcertificacionvial/mezclas-asfticas-en-calientesemana-16-1588747?next_slideshow=1).

- PROYECTO DIRECT-MAT. "Reporto n practical application case studies regarding dismantling and recycling of asphalt". Marzo 2011. Disponible en: <http://bddoc.csic.es:8080/detalles.html?id=206747&bd=ICYT&tabla=docu>