

IAG352-06-2013
**EXPERIENCIA DE RECICLADO EN MÉXICO: EVALUACIÓN DEL
CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL O MODIFICADO
RECUPERADO DEL RAP PARA SU CARACTERIZACIÓN**
**EXPERIÊNCIA RECICLAGEM NO MÉXICO: AVALIAÇÃO DE CIMENTO
ASFÁLTICO CONVENCIONAL E MODIFICADO RECUPERADO DE RAP
PARA A CARACTERIZAÇÃO.**

Dr. Carlos Humberto Fonseca Rodríguez
Director del Centro de Diseño y Construcción
Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey
Monterrey, México
carlos.fonseca@itesm.mx

Ing. Rodolfo Villalobos Dávila
Director General
PETROTEKNO, S.A. DE C.V.
Monterrey, México
rvillalobosdavila@yahoo.com.mx

Ing. Fernando Tapia Sevilla
Profesionista Independiente
Managua, Nicaragua
ftapiasevilla@gmail.com

Resumen

Las propiedades mecánicas reológicas de una mezcla asfáltica en caliente dependen de las propiedades de los componentes que la integran. Al ser el cemento asfáltico uno de estos componentes, el nivel de envejecimiento que presenta a través de los años de servicio, tanto a corto como a largo plazo, hace que el comportamiento de la mezcla asfáltica evoluciones en ese tiempo. Conocer las propiedades del cemento asfáltico a largo plazo, al término de su vida útil, permite determinar que tratamiento es posible aplicar para devolver sus características originales. Para estudiar el cemento asfáltico existente en la Mezcla Asfáltica Reciclada (RAP por sus siglas en inglés, Reclaimed Asphalt Pavement), se empleó un sistema de separación del cemento asfáltico de la solución cemento asfáltico-solvente, que consiste en una versión modificada al descrito en la norma ASTM D1856-95 (Standard Test Method for Recovery of Asphalt from Solution by Abson Method).

Empleando cementos asfálticos originales tipo AC-20, PG82-22, PG76-22, MOD-1, MOD-2, y AC-20 envejecidos durante 8 y 24 horas en un horno a 165°C con circulación de aire, con valores conocidos de Penetración, Reblandecimiento Anillo y Bola, Viscosidad Rotacional Brookfield a 135°C y 165°C y Recuperación Elástica por Torsión, se elaboraron mezclas asfálticas. De estas mezclas asfálticas se extrajo el cemento asfáltico empleando xileno como solvente, y de la solución cemento asfáltico-solvente se separó el cemento asfáltico para su caracterización.

Comparando las propiedades del cemento asfáltico inicial y del cemento asfáltico producto del sistema de separación, se comprueba estadísticamente que las propiedades son similares, y como consecuencia el sistema de separación, Método Modificado Abson, MMA, es confiable para conocer el cemento asfáltico existente en una mezcla asfáltica.

Resumo

Propriedades mecânicas reológicas da mistura de asfalto quente depende das propriedades dos componentes que o constituem. Cimento de asfalto para ser um destes componentes, o nível de envelhecimento que tem ao longo dos anos de serviço, tanto a curto como a longo prazo, faz com que o comportamento de asfalto nas evoluções temporais. Conhecendo as propriedades do cimento de asfalto a longo prazo, no final da sua vida útil para determinar que o tratamento pode ser aplicado para restaurar as suas características originais. Para estudar o asfalto cimento Mix Asphalt reciclado existente (RAP por sua sigla em Inglês, regenerada, pavimentação asfáltica), foi utilizado um sistema de separação de asfalto cimento asfáltico solvente solução de cimento, que é uma versão modificada descrito no ASTM D1856-95 (Método de Teste Padrão para recuperação de asfalto a partir de solução pelo Método Abson).

Cimentos asfálticos original usando tipo AC-20, PG82-22, PG76-22, MOD-1 MOD-2, CA-20 e envelhecido durante 8 horas e 24 horas em um forno a 165 ° C com circulação de ar, com valores conhecidos Penetração de amolecimento Anel e Bola, viscosidade rotacional Brookfield a 135 ° C e 165 ° C e um binário de recuperação elástica, misturas de asfalto foram preparadas. Destas misturas de cimento de asfalto asfalto foi removido utilizando o xileno como solvente, e a solução solvente do cimento de asfalto asfalto de cimento foi removido para caracterização.

Comparando as propriedades do cimento de asfalto e sistema de separação inicial do produto de cimento de asfalto, estatisticamente verificado que as propriedades são semelhantes e, conseqüentemente, o sistema de separação de modificação Método Abson, MMA, é de confiança para o cimento de asfalto existente asfalto.

INTRODUCCIÓN

Para conocer las propiedades del RAP es necesario conocer las propiedades de las partes que componen al material, las cuales son la granulometría del material pétreo y la cantidad y tipo de cemento asfáltico envejecido.

Extraer el cemento asfáltico del RAP es posible realizarlo por diferentes métodos muy conocidos, y la mayoría o casi todos emplean solventes para limpiar la mezcla asfáltica envejecida quedando la solución de solvente más cemento asfáltico.

Los solventes que comúnmente se emplean para separar el cemento asfáltico del la mezcla RAP son varios, sin embargo hay que tener cuidados con el tema de contaminación ambiental ya que el uso de ellos puede perjudicar al ser humano. Se han usado solventes tipo xileno, tricloroetileno, n-Propyl Bromide (nPB), etc, (Tia, 2000), este último designado para ser usado en los métodos de ensayos que permiten extraer el cemento asfáltico de una mezcla asfáltica envejecida, como son:

- AASHTO TP2-94 Standard Test Method for the Quantitative Extraction and Recovery of Asphalt Binder from Hot Mix Asphalt (HMA)
- ASTM D2172-05 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures

En el método de ensayo ASTM D2172-05 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures, se tienen dos métodos de extracción muy conocidos

en el ámbito mexicano como son el extractor centrífugo (Test Method A), y el reflux (Test Method B). Sin embargo esta misma norma ASTM considera tres métodos adicionales denominado C, D y E. (ASTM, 2000).

En este trabajo de investigación se empleó el método de Reflux (Test Method B) de la norma citada en el inciso anterior, obteniéndose resultados muy satisfactorios. De este proceso se obtuvo la mezcla solvente más cemento asfáltico, de la cual se recuperó el cemento asfáltico envejecido por el método de separación ASTM D1856-95a(2003) Standard Test Method for Recovery of Asphalt From Solution by Abson Method, (ASTM, 2000), modificado.

Adicional a este método existe un método muy empleado en los laboratorios de Estados Unidos y Europa, normalizado por ASTM D5404-03 y nombrado como Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using the Rotary Evaporator. (ASTM, 2000).

OBJETIVO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El objetivo de trabajo de investigación consiste es determinar el nivel de envejecimiento que un cemento asfáltico tiene en una mezcla asfáltica, después de varios años de servicio y con ello poder determinar el procedimiento necesario para devolver sus características originales. Para esto, se armó un sistema de separación del cemento asfáltico de la solución cemento asfáltico-solvente, que es una versión modificada al descrito en la norma ASTM D1856-95 (Standard Test Method for Recovery of Asphalt from Solution by Abson Method).

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los cementos asfálticos empleados en la fabricación de las mezclas asfálticas para determinar la confiabilidad del Método Modificado Abson, MMA, (Figura 1), fueron siete. Se trabajó con un cemento asfáltico convencional tipo AC-20 y de él se obtuvieron dos muestras sometidas a un proceso de envejecimiento de 8 y 24 horas y se denominaron como AC-20(8) y AC-20(24), respectivamente. Los cementos asfálticos restantes fueron modificados desde su origen con diferentes polímeros y con diferentes tecnologías. Estos cementos asfálticos fueron: PG82-22, PG76-22, MOD-1 y MOD-2, procedente de diferentes proveedores en México.

Para cada uno de los siete cementos asfálticos originales se les determinó los valores por duplicado de ciertas propiedades mecánicas, cuyos valores son mostrados en la Tabla 1 y son valores promedios de dos valores obtenidos de cada cemento asfáltico. Estos valores se tienen en el estudio como valores de referencia de la caracterización del cemento asfáltico.

Cada tipo de cemento asfáltico fue empleado en la elaboración de mezclas asfálticas de las cuales posteriormente se extrajo el cemento asfáltico y se obtuvo la solución solvente más cemento asfáltico. Los ensayos listados en la Tabla 1 se aplicaron en seis ocasiones a cada uno de los cementos asfáltico residuos de la solución extraída.

De los seis valores obtenidos se calculó su valor medio, su desviación estándar y el coeficiente de variación, el cual nos indica el porcentaje que están los valores medidos alejados de la media. Los resultados obtenidos se muestran en los incisos siguientes y después de realizar un análisis de los mismos, se llega a la conclusión de cual de las pruebas se obtuvo mayor confiabilidad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de propiedades mecánicas-reológicas obtenidos de los siete diferentes cementos asfálticos se presentan a continuación. Como ya se describió y se puede observar en la Tabla 1, se evaluaron cinco propiedades de cada uno de ellos y los resultados de valor medio, desviación estándar y coeficiente de variación se obtuvieron de una población de seis muestras del mismo cemento asfáltico. El valor medio de cada propiedad de cada cemento asfáltico obtenido del RAP,

se comparó con el valor medio de las mismas propiedades del cemento asfáltico antes de emplearse en la fabricación de la mezcla asfáltica.

Tabla 1: Características de los cementos asfálticos originales

Designación	Características del cemento asfáltico	AC-20	PG 82-22	PG 76-22	MOD-1	MOD-2	AC-20 8h	AC-20 24h
M-MMP-4-05-006	Penetración a 25°C, 100g, 5s. (10^{-1} mm)	76.0	57.0	57.0	51.0	57.0	58.0	52.0
M-MMP-4-05-009	Punto de Reblandecimiento Anillo %& Bola (°C)	46.0	61.0	54.0	65.5	63.5	52.0	54.0
M-MMP-4-05-010	Viscosidad rotacional Brookfield, 135°C, (Poises)	512.5	1138.0	1398.0	1437.0	2562.0	625.0	737.5
M-MMP-4-05-010	Viscosidad rotacional Brookfield, 165°C, (Poises)	120.8	278.0	370.0	375.0	500.0	143.8	162.5
M-MMP-4-05-024	Recuperación elástica por torsión, (%)	7.0	58.0	57.0	46.0	39.0	7.0	9.0

Figura 1: Equipo método de ensayo Abson modificado



Penetración a 25°C, 100 gramos y 5 segundos

En la Tabla 2 y en la Figura 1, se muestra los valores de la penetración a 25°C de los cementos asfálticos estudiados. El valor del testigo y promedio de las seis muestras, en todos los casos, dentro del rango de valores de penetración para caracterizar un asfalto asfáltico de acuerdo a las especificaciones establecidas por Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT, en México. La penetración del cemento asfáltico AC-20, testigo, es de 76 décimas de milímetros, dmm, y el promedio de los resultados obtenidos de las seis muestras da una penetraciones es de 70 dmm y una coeficiente de variabilidad de 14.8%, los cuales son muy similares.

Con el cemento asfáltico PG82-22, los resultados no varían mucho, se tiene de las seis muestras un coeficiente de variación del 5%. Lo mismo ocurre con el PG76-22, el cual presenta una penetración cercana a la esperada y siempre dentro del rango de valores de penetración para este

tipo de cemento asfáltico. Para el cemento asfáltico MOD-1 y MOD-2 se tienen una variación un poco mayor con un coeficiente de variación del 15.2 y 16.8%, respectivamente, esta diferencia se puede observar claramente en la Figura 1. Para el cemento asfáltico envejecido AC-20 a 8 y 24 horas la variación fue mínima entre los valores de penetración y todos se acercan al valor esperado.

En términos generales, el valor promedio de las penetraciones se acerca mucho a la penetración esperada. Se obtuvieron valores del coeficiente de variación entre el 4.9 y 16.9% para los siete cementos asfálticos, sin embargo, con estos valores es posible caracterizar en términos de penetración la dureza que un cemento asfáltico tiene después de ser extraído mediante este procedimiento de una mezcla asfáltica elaborada.

Tabla 2: Resultados de penetración, en dmm, a 25°C, 100 g y 5 segundos

<i>PENETRACIÓN, 25°C, 100 g, 5 seg (dmm)</i>				
Cemento Asfáltico	Muestra Testigo	\bar{x}	σ	Cv (%)
AC-20	76.0	69.8	10.3	14.8
PG82-22	53.0	60.8	2.9	4.9
PG76-22	57.0	48.4	6.5	13.5
MOD-1	51.0	70.6	10.7	15.2
MOD-2	57.0	68.2	11.5	16.8
AC-20(8)	58.0	54.5	3.8	7.1
AC-20(24)	52.0	58.2	9.8	16.9

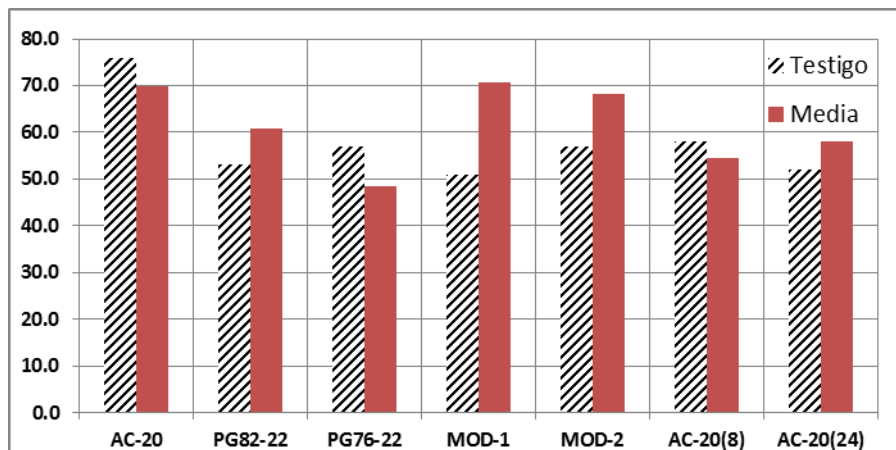


Figura 1: Resultados de penetración, en dmm, a 25°C, 100 g y 5 segundos

Reblandecimiento Anillo y Bola

La prueba del punto de reblandecimiento, anillo y bola, proporcionó resultados con mayor repetibilidad, en los siete cementos asfálticos estudiados. Los valores de los cementos asfálticos testigos son muy cercanos a los valores de la media de las seis muestras obtenidas de cada uno de ellos.

Para los cementos asfálticos MOD-1 y MOD-2 se puede observar la mayor variación en los valores de la temperatura de reblandecimiento, ya que la temperatura promedio fue un poco más baja que la esperada. Sin embargo, de forma general se aprecia que los valores de los coeficientes

de variación están entre un 1.9 y 4.8%, los cuales son valores muy bueno. Dichos valores se pueden apreciar en la Tabla 3 y Figura 2 a continuación.

La prueba de Reblandecimiento Anillo y Bola presenta una repetitividad de los resultados muy buena, lo que la hace más confiable para caracterizar cualquier tipo de cemento asfáltico.

Tabla 3: Resultados de temperaturas de reblandecimiento A&B, en °C

TEMPERATURA REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA (°C)				
Cemento Asfáltico	Muestra Testigo	\bar{x}	σ	Cv (%)
AC-20	46.0	46.3	1.5	3.3
PG82-22	51.0	49.8	1.8	3.7
PG76-22	54.0	59.8	2.9	4.8
MOD-1	65.5	56.6	1.5	2.7
MOD-2	63.5	58.6	1.9	3.2
AC-20(8)	52.0	52.7	0.9	1.9
AC-20(24)	54.0	51.9	2.3	4.4

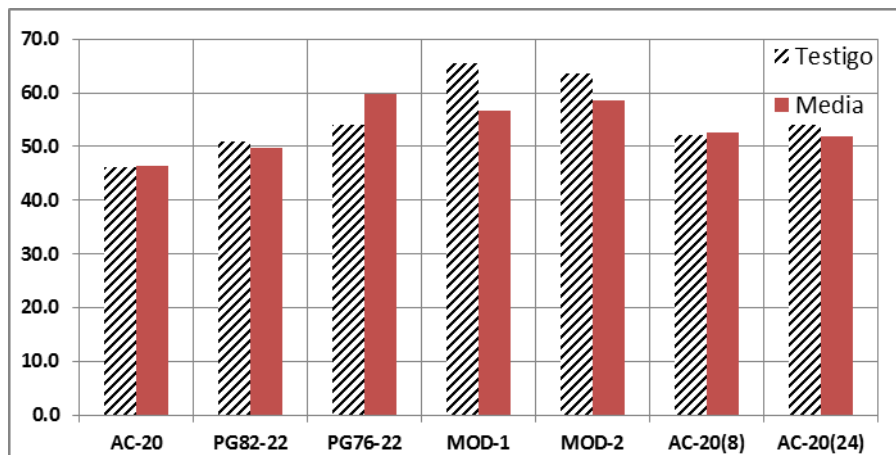


Figura 2: Resultados de temperaturas de reblandecimiento Anillo y Bola, en °C

Viscosidad rotacional a 135°C

La prueba de Viscosidad Brookfield a 135°C proporcionó resultados de valores altos pero dentro de los rangos comunes. Para los asfaltos AC-20, PG82-22 y AC-20 (8h), se obtuvieron resultados de la muestra testigo y del promedio de la seis muestras muy cercanos entre sí.

El valor promedio y la desviación estándar son valores aceptables ya que con ellos se puede caracterizar al cemento asfáltico entre los tipos a los que pertenece. En el caso del cemento asfáltico de MOD-2, el promedio de las seis muestras resultó ser considerablemente más bajo que el de la muestra testigo, tal y como se aprecia en la Tabla 4.

Como se muestra en la Figura 3, la diferencia en el cemento asfáltico puede deberse a una posible degradación del modificador y su estructura molecular en el cemento asfáltico.

Tabla 4: Resultados de viscosidad rotacional Brookfield a 135°C, en poises

VICOSIDAD BROOKFIELD A 135°C (poises)				
Cemento Asfáltico	Muestra Testigo	\bar{x}	σ	Cv (%)
AC-20	512.5	534.7	50.7	9.5
PG82-22	738.0	747.6	44.9	6.0
PG76-22	1398.0	1494.3	241.8	16.2
MOD-1	1437.0	1352.5	143.9	10.6
MOD-2	2462.0	1340.8	169.5	12.6
AC-20(8)	625.0	667.7	22.9	3.4
AC-20(24)	737.5	686.5	100.9	14.7

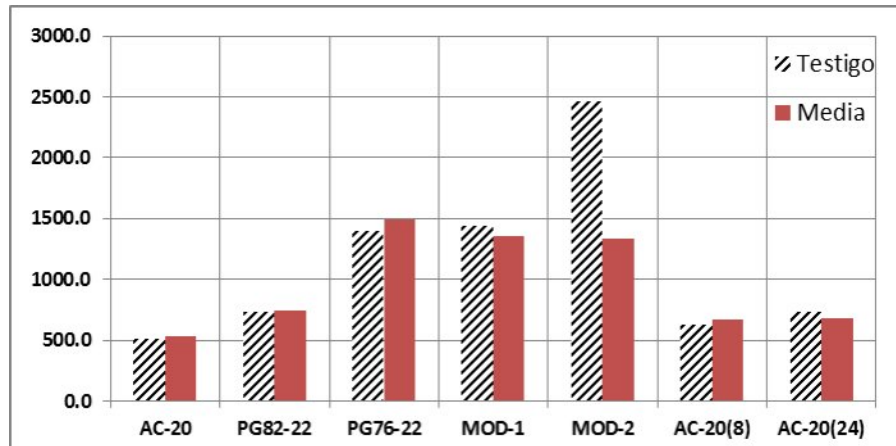


Figura 3: Resultados de viscosidad rotacional Brookfield a 135°C, en poises

Viscosidad rotacional 165°C.

Con la misma prueba de Viscosidad Brookfield a 165°C se obtuvieron resultados que presentan mucha repetibilidad en los valores de las seis muestras ensayadas, y los promedios de las mismas difieren muy poco de los valores de la muestra testigo.

Para todos los cementos asfálticos estudiados excepto el de MOD-2, los valores de las viscosidades de la muestra testigo y el promedio de las seis muestras son muy cercanos. En los coeficientes de variación de la Tabla 5 y Figura 4, se aprecian tres niveles entre 3.3 y 4.3%, entre 8.4 y 8.6% y del 11.7%. Son valores que repiten que confirman el uso de este ensayo para caracterizar los cementos asfálticos.

Al igual que con la prueba de Viscosidad a 135°C, el cemento asfáltico MOD-2 presentó un comportamiento completamente distinto al resto de asfaltos, obteniéndose valores considerablemente menores al esperado.

Tabla 5: Resultados de viscosidad rotacional Brookfield a 165°C, en poises

VISCOSIDAD BROOKFIELD A 165°C (poises)				
Cemento Asfáltico	Muestra Testigo	\bar{x}	σ	Cv (%)
AC-20	120.8	132.6	5.6	4.2
PG82-22	188.0	192.7	7.9	4.1
PG76-22	370.0	379.0	31.9	8.4
MOD-1	375.0	357.0	30.6	8.6
MOD-2	500.0	340.4	28.8	8.5
AC-20(8)	143.8	159.4	5.2	3.3
AC-20(24)	162.5	162.5	18.9	11.7

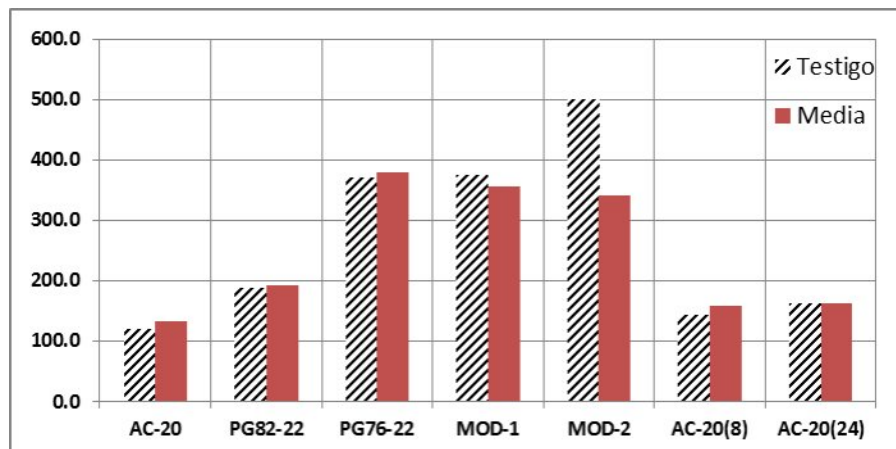


Figura 4: Resultados de viscosidad rotacional Brookfield a 165°C, en poises.

Recuperación elástica por torsión.

Los resultados obtenidos de la recuperación elástica por torsión muestran una alta repetitividad con la cual se puede caracterizar los cementos asfálticos y definir una diferencia cuando son o no modificados.

Como se aprecia en la Tabla 6, las diferencias entre los resultados de la muestra testigo y del promedio de la seis muestra de un mismo asfalto son mínimas. Sin embargo, también se aprecia que los coeficientes de variación son altos, resultados que no afecta a la identificación cuando un cemento asfáltico es o no modificado con polímero.

De acuerdo a la experiencia que se tiene con este ensayo y como se observa en la Figura 5, un cemento asfáltico convencional, no modificado, tiene un valor de recuperación elástica por torsión menor a un 8%. Por otro lado, un cemento asfáltico modificado con un polímero tiene valores superiores al 25 % de recuperación elástica por torsión.

Tabla 6: Resultados de recuperación elástica por torsión a 25°C, en %

<i>RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN, R.E.T. (%)</i>				
Cemento Asfáltico	Muestra Testigo	\bar{x}	σ	Cv (%)
AC-20	7.0	6.8	0.9	14.4
PG82-22	22.0	25.2	2.5	9.9
PG76-22	57.0	47.7	5.6	11.7
MOD-1	46.0	43.3	5.9	13.5
MOD-2	39.0	47.2	6.2	13.1
AC-20(8)	7.0	7.8	0.9	12.6
AC-20(24)	9.0	7.5	1.1	13.9

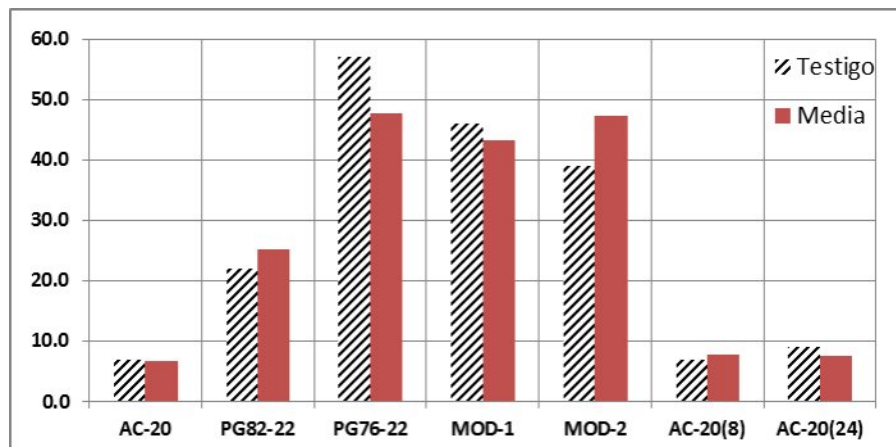


Figura 5. Resultados de recuperación elástica por torsión a 25°C, en %.

CONCLUSIONES

Como conclusiones del presente proyecto de investigación en relación a la evaluación del cemento asfáltico presente en un RAP y recuperado, de cara a su caracterización se puede decir que:

- La metodología empleada para recuperar el cemento asfáltico de una mezcla asfáltica y posteriormente proceder a su caracterización mediante los ensayos de penetración, reblandecimiento anillo y bola, viscosidad a 135 y 165°C y recuperación elástica por torsión, es muy confiable. Proporciona información clara del nivel de envejecimiento del cemento asfáltico.
- Esta metodología no altera significativamente las propiedades mecánicas-reológicas del

cemento asfáltico existente en la mezcla asfáltica.

- Las discrepancias obtenidas en los valores de las propiedades de ciertas muestras para un mismo asfalto, puede darse por la incompleta extracción del solvente del asfalto. Al no realizarse el aislamiento completo del cemento asfáltico y el solvente, las propiedades del cemento asfáltico pueden variar de las originales por la presencia del solvente.
- Se concluye a partir de estos resultados que los tres ensayos de laboratorio con los que puede trabajar de manera confiables son: Reblandecimiento Anillo y Bola, Viscosidad Brookfield a 165°C y Recuperación Elástica por Torsión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este informe técnico agradecen al pasante en ingeniería Fernando Tapia Sevilla, estudiante nicaragüense de intercambio en el ITESM, Campus Monterrey, por su excelente participación y apoyo en los ensayos realizados. Asimismo se agradece a las instituciones colaboradoras, ITESM, Campus Monterrey y PETROTEKNO, S.A. de C.V.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tia, Mang, (2000), "Evaluation of an Alternative Solvent for extraction of Asphalt to Reduce Health Hazards", Final Report, BB-881, Florida Department of Transportation, Florida, United States.
- ASTM D2172-05 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures. PA 19428-2959, United States. ASTM website (www.astm.org).
- ASTM D1856-95a(2003) Standard Test Method for Recovery of Asphalt From Solution by Abson Method. PA 19428-2959, United States. ASTM website (www.astm.org).
- ASTM D5404-03 Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using the Rotary Evaporator. PA 19428-2959, United States. ASTM website (www.astm.org).
- Schimmoller, V.E., et al, (2000), "Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies, and Policies" FHWA-PL-00-025, Office of International Programs, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA.
- McDaniel, R., and Anderson R.M., "Transportation Research Board, (2001), Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method: Technician's Manual", NCHRP Report 452, Washington, D.C.
- The European Asphalt Pavement Association (EAPA), (2005), "Industry Statement on the Recycling of Asphalt Mixes and Use of Waste of Asphalt Pavements", Committee on Health, Safety and Environment, Bruselas, Bélgica.
- Pavement Recycling Executive Summary and Report, (1995), Federal Highway Administration, Report No. FHWA-SA-95-060, Washington, DC.
- Strategic Highway Research Program, SHRP, (1994), National Research Council. "Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregate Mixes". SHRP-A-415. Washington, DC.
- Asphalt Institute, "Métodos de Ligantes Asfálticos" Publicación No. FHWA-SA-94-068, (1995), Versión en Español traducida en Agosto de 1996, Washington, D.C. February.
- Strategic Highway Research Program, "The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices", (1994), SHRP-A-379, Washington, D.C.
- Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., (1999), "Estudio Experimental en Laboratorio Aplicando el Método UCL en la Caracterización de Cementos Asfálticos en México". Aceptado para ser publicado y presentado en el 10 Congreso Iberoamericano del Asfalto. Asociación Española de Carreteras. Sevilla, España.
- Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., (1999), "Dosificación de

Mezclas Asfálticas Abiertas y Drenantes Empleando el Método de Ensayo Cántabro de Pérdidas por Desgaste”. Memorias del Primer Congreso Nacional del Asfalto. México. pp. 145-154.

Fonseca Rodríguez, C., Serment Guerrero, V. y Villalobos Dávila, R., (1999), “Empleo del Método UCL en la Caracterización de Cementos Asfálticos en México”. Memorias del Primer Congreso Nacional del Asfalto. México. pp. 221-233.