

262-01-2013
**EL DESARROLLO DE UN ESTÁNDAR PARA LA RECUPERACIÓN
DE RESIDUOS DE LIGANTES ASFALTICOS POR MEDIO DE UN
ANALIZADOR DE BALANCE DE HUMEDAD
A ELABORAÇÃO DE UMA NORMA PARA A RECUPERAÇÃO DE
RESÍDUOS LIGANTES ASFALTO ATRAVÉS DE UM EQUILÍBRIO
DO ANALISADOR DE UMIDADE**

Delmar Salomón, Ph.D.
Pavement Preservation Systems, LLC
Boise, Idaho, EUA
E-mail: dsalomon@mindspring.com

Arash Motamed, Ph.D.
Universidad de Texas en Austin
Austin, Texas, EUA
E-mail: aramtm@gmail.com

Amit Bhasin, Ph.D.
Universidad de Texas en Austin
Austin, Texas, EUA
E-mail: a-bhasin@mail.utexas.edu

Resumen

Se ha desarrollado un nuevo procedimiento para la recuperación de asfalto emulsionado usando un analizador de balance de humedad, *Moisture Analyzer Balance (MAB, por sus siglas en inglés)*. La recuperación es rápida y sencilla en comparación con los procedimientos de recuperación tradicionales tales como, la destilación (ASTM D6997) o evaporación en el horno (ASTM D6934). El procedimiento *MAB*, ya es el procedimiento de ASTM D7404-12. Esta investigación sobre este procedimiento es amplia, mediante la inclusión de la mediciones de propiedades reológicas de la muestra *MAB*, utilizando un reómetro de corte dinámico (*Dynamic Shear Rheometer, DSR, por sus siglas en inglés*). El método es aplicable a todos tipos de emulsiones. El procedimiento combinado *MAB-DSR* se propone como un método alternativo rentable para la obtención del grado de desempeño de los asfaltos emulsionados.

Resumo

Desenvolveu um novo procedimento para a recuperação de asfalto emulsionado, usando um analisador de equilíbrio de umidade, analisador de umidade equilíbrio (MAB, por sua sigla em inglês). A recuperação é rápida e simples, quando comparado com os procedimentos de recuperação tradicionais tais como a destilação (ASTM D6997) ou evaporação no forno (ASTM D6934). O procedimento do MAB, já é o procedimento da ASTM D7404-12. Esta pesquisa sobre este procedimento é expandida, pela medição das propriedades reológicas da amostra incluindo MAB, usando um rheometer Court dynamic (dinâmico Rheometer Shear, DSR, por sua sigla em inglês). O método é aplicável a todos os tipos de emulsões. O procedimento combinado MAB-DSR é proposto como um método alternativo de baixo custo para a obtenção do grau de desempenho de asfalto emulsionado.

Palabras claves: Asfalto emulsionado, recuperación de residuos, analizador de humedad de balanza, reómetro de corte dinámico (*DSR*), propiedades mecánicas, reología, envejecimiento.

Introducción

Se han desarrollado más de diez diferentes procedimientos de recuperación. Algunos procedimientos son normas en ASTM y AASHTO. El método *MAB* hace recuperación del residuo a diferentes temperaturas y en corto tiempo. La recuperación *MAB* es rápida, rentable y sencilla en comparación con procedimientos de recuperación tradicionales tales como, la destilación (ASTM D6997) o evaporación en horno (ASTM D6934). El procedimiento *MAB*, es un procedimiento ASTM (D 7404-12). Esta investigación amplía el procedimiento *MAB*: (i) investiga primeramente el efecto de la temperatura sobre la velocidad de recuperación y las propiedades mecánicas de los asfaltos emulsionados recuperados (ii) incluye las mediciones de las propiedades reológicas de la muestra *MAB*, utilizando un reómetro de corte dinámico (*DSR*). Las propiedades reológicas de los ligantes de asfalto recuperados de los diferentes tipos de emulsiones se compararon con las propiedades del ligante utilizado para producir estas emulsiones. Por otra parte, este estudio discute un procedimiento para la recuperación utilizando *MAB* y un método para medir las propiedades reológicas de los ligantes recuperados.

2. Materiales

Este estudio incluyó a 10 diferentes asfaltos emulsionados con una amplia gama de aplicaciones. Tabla 1 resume los materiales se han utilizado en este estudio. Con el fin de investigar el efecto de los emulsificadores en la recuperación y las propiedades mecánicas de los residuos, algunos de los asfaltos emulsionados se elaboraron a partir de la mismo ligante base. La tabla 1 divide a los asfaltos emulsionados de estos ensayos en cinco agrupaciones en base a su ligante base.

Tabla 1 Asfaltos emulsionados utilizados en este estudio

Grupo	Número de Ligante	Nombre del ligante
1	B1	CSS-1H
	B2	CMS-2 6
	B3	SS-1H 7
2	B4	SS-1 2
	B5	RS-2 3
	B6	CRS-2 4
	B7	AE-90 5
3	B8	CRS-2L
4	B9	HFE 100P
5	B10	CRS-2P

3. Métodos De Ensayo, Resultados Y Recuperación De Residuos

En este estudio, se utilizó un analizador de balance de humedad (MAB) para obtener el residuo de los asfaltos. En este método, una pequeña cantidad de asfalto emulsionado se debe verter en una bandeja desechable y se coloca en la balanza. Las muestras se prepararon de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM D 7404. La única diferencia fue que, en este estudio se colocaron 4 gramos de cada emulsión en el analizador de humedad, para asegurar que podrían ser recuperados suficientes residuos para el ensayo en el reómetro de corte dinámico. El criterio de terminación utilizado para cada muestra era una pérdida de peso de menos de 1 mg en 140 segundos. Inmediatamente después de que el analizador de humedad terminó las pruebas, se transfirió el residuo a los moldes para su análisis en el *DSR*. Cabe señalar que este modelo de *MAB* tenía la característica de gradiente de temperatura, con la capacidad de llevar a cabo las pruebas a diferentes temperaturas. Usando esta característica, llevaron a cabo un estudio preliminar para investigar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de recuperación y las propiedades mecánicas del residuo recuperado. La investigación preliminar mostró que la disminución de la temperatura desde 163 ° C a 100 ° C incrementará el tiempo de recuperación de un promedio de 20 minutos a uno de 90 minutos. A pesar de que esta disminución de la temperatura incrementó de manera significativa el tiempo de recuperación, aun así el aumento del tiempo de recuperación está dentro de un rango aceptable en comparación con otros métodos de recuperación. Se usó una temperatura de recuperación de 100 ° C para las emulsiones modificadas. La Figura 1 resume los resultados de los análisis de humedad de los asfaltos emulsionados en este estudio. Como se puede observar, el contenido de agua en todas estas emulsiones oscila desde 32 hasta 40 por ciento. El tiempo de recuperación de residuos de las emulsiones no modificados (B1-B7) fue entre 10 y 26 minutos, con un promedio de 18 minutos. El tiempo de recuperación para las emulsiones modificadas fue entre 57 y 123 minutos, con un promedio de 88 minutos. Las pruebas de recuperación para las emulsiones no modificadas se realizaron a 163 ° C y para las emulsiones modificadas (B8-B10) se llevaron a cabo a 100 ° C. Las pequeñas barras de error indican la repetitividad

de los resultados de la prueba del MAB.

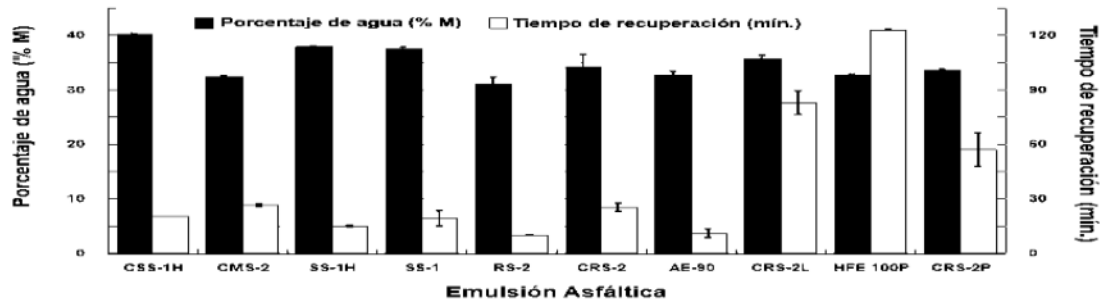


Figura 1. Análisis de balance de humedad (MAB), resultados de las pruebas de los asfaltos emulsionados de este estudio.

Los resultados de la prueba indican que el método del MAB tiene varias ventajas en comparación con los otros dos métodos (evaporación y destilación): a) MAB es más rápido debido a una mayor área de superficie de la muestra y el tipo de calefacción; b) el equipo MAB es automatizado y de mejor precisión; c) los resultados son más consistentes debido al ambiente controlado y calefacción isotérmica.

La siguiente sección se presenta el método de ensayo utilizado para medir las propiedades mecánicas del residuo de asfalto.

3.1 Propiedades reológicas

Varios estudios de investigación han demostrado que el desempeño del asfalto se ven principalmente afectados por las propiedades mecánicas del ligante. Por lo tanto, es necesario medir las propiedades mecánicas del asfalto, con el propósito de un control de calidad.

Se utilizó un reómetro dinámico *DSR* (Modelo TA AR2000Ex) para medir las propiedades mecánicas de los ligantes cuando se someten a diferentes condiciones de carga. Los ensayos oscilatorios se realizaron en cinco diferentes temperaturas donde la frecuencia estaba cambiando lineal desde 25 Hz a 1 Hz. Las temperaturas de ensayo fueron de 30 ° C, 45 ° C, 58 ° C, 64 ° C, y 70 ° C. Todos estos ensayos se realizaron a nivel de estrés bajo para evitar cualquier comportamiento no lineal o inestabilidad de flujo. La Figura 4 demuestra la medición de módulo dinámico del ligante de asfalto B3 (SS-1H) como una función de frecuencia y de temperatura. Como se puede observar, los resultados de dos repeticiones son muy consistentes. Se observó una tendencia similar en este estudio para otras emulsiones ensayadas. Las figuras 3-6 resumen los resultados de las pruebas para cuatro condiciones de carga diferentes: frecuencias de carga de 5 Hz y 15 Hz a temperaturas de ensayo de 30 ° C y 58 ° C. Las pequeñas barras de error corroboran aún más la consistencia del MAB en la recuperación de emulsiones de ligantes asfálticos. Para examinar el efecto de emulsificación y de envejecimiento en las propiedades mecánicas del residuo del ligante también se midieron las propiedades mecánicas de los ligantes de la base. Para poder analizar el efecto de envejecimiento y la emulsificación, se midieron las propiedades mecánicas del ligante base en la condición similar usando *MAB*. Las figuras 3-6 también incluyen estos datos para la comparación.

Como puede verse, en la mayoría de los casos, los residuos tienen un módulo similar o superior en comparación con el ligante base envejecido. Usando estos datos, se puede cuantificar fácilmente el efecto de la emulsificación sobre las propiedades mecánicas del residuo del ligante.

Propiedades mecánicas de los residuos del ligante de asfalto SS-1H (B3)

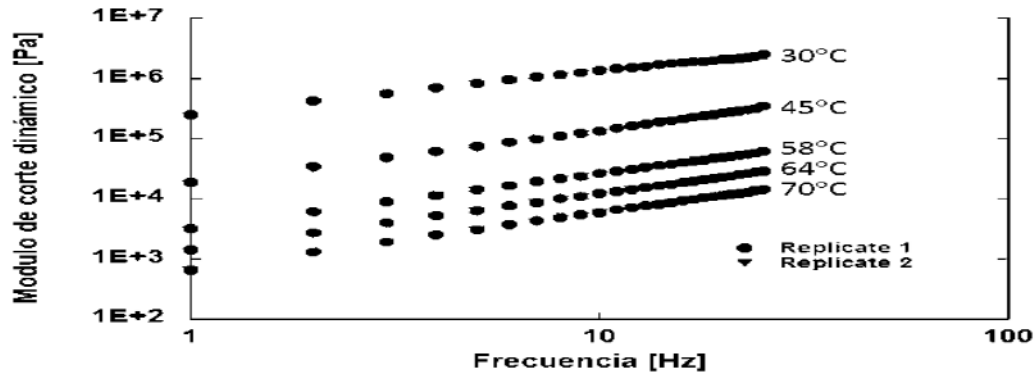


Figura 2. Módulo dinámico del ligante de asfalto B3 (SS-1H) a diferentes frecuencias y temperaturas

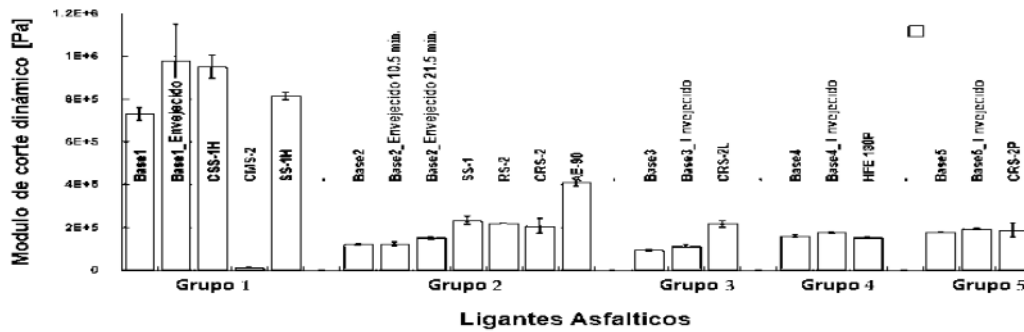


Figura 3. Módulo dinámico a una frecuencia de 5 Hz y a una temperatura de 30 ° C

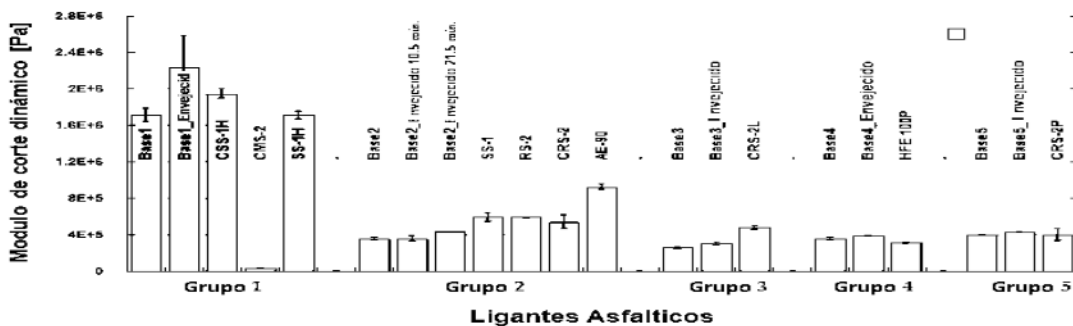


Figura 4. Módulo dinámico a una frecuencia de 15 Hz y a una temperatura de 30 °C

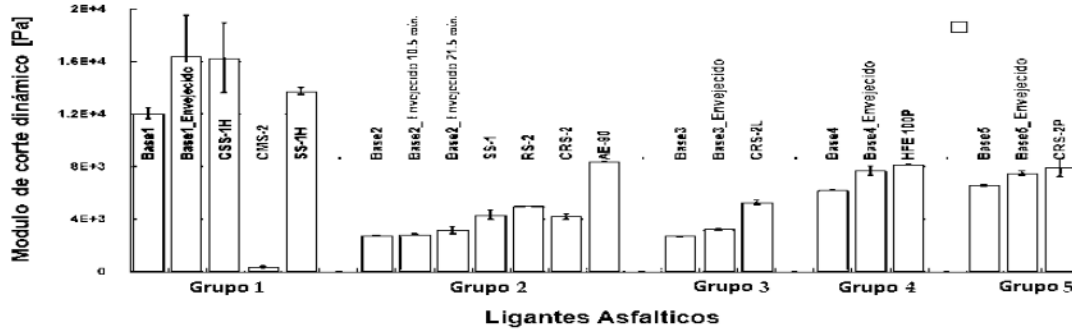


Figura 5. Módulo dinámico a una frecuencia de 5 Hz y a una temperatura de 58 ° C

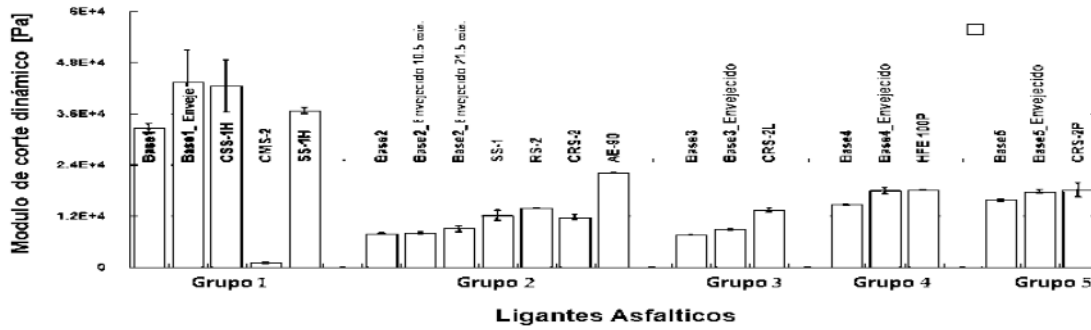


Figura 6. Módulo dinámico a una frecuencia de 15 Hz y a una temperatura de 58 ° C.

Por último, para demostrar el efecto del envejecimiento y la emulsificación sobre las propiedades mecánicas de los residuos, se utilizó el modelo Christensen-Anderson-Marasteanu (CAM) (Marasteanu y Anderson, 1999) para obtener las curvas maestras para los ligantes ensayados:

$$G^* = \frac{G_g^*}{\left[1 + \left(\frac{f_c}{f} \right)^k \right]^{\frac{m_e}{k}}}. \quad (1)$$

Donde G^* es el módulo complejo; G_g^* es el módulo complejo vítreo, f_c , k , y m_e son los parámetros del modelo. Las figuras 7-11 muestran las curvas maestras para cada ligante base y sus emulsiones correspondientes.

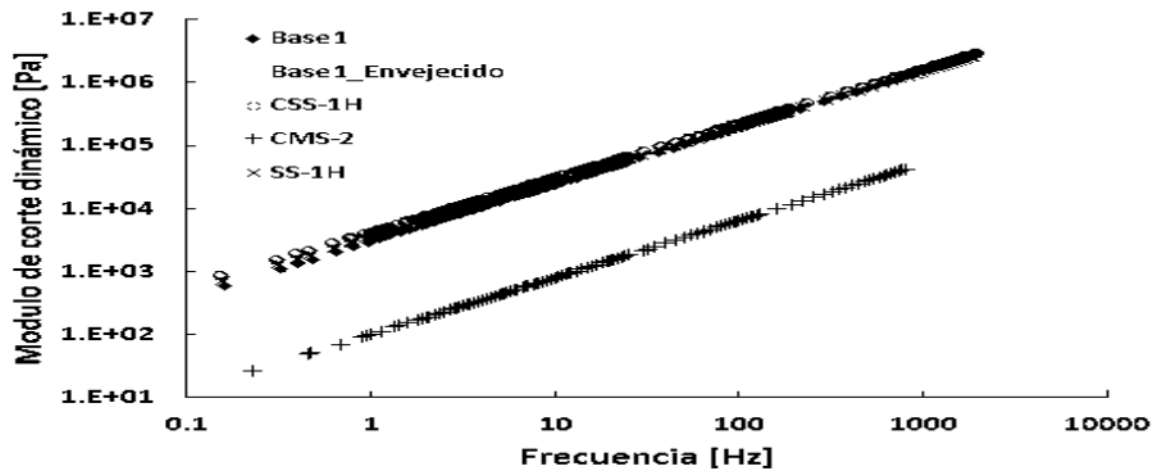


Figura 7. Curva maestra para los asfaltos emulsionados del grupo 1 a 58 ° C

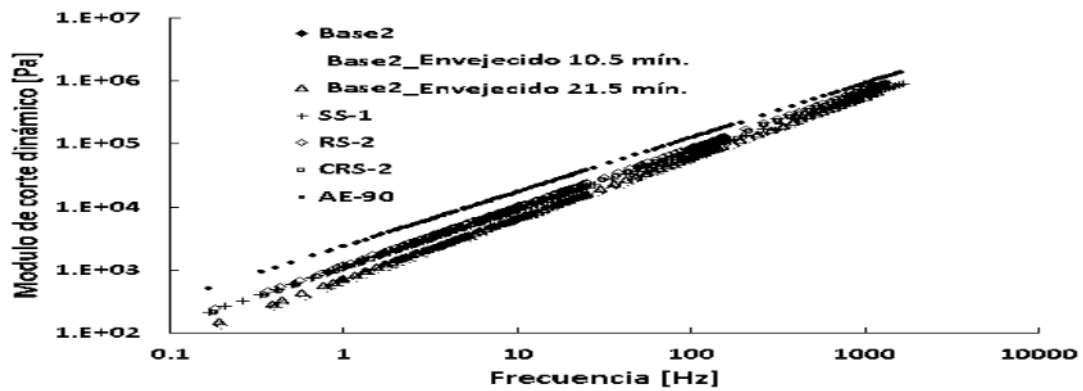


Figura 8. Curva maestra para asfaltos emulsionados del grupo 2 a 58 ° C.

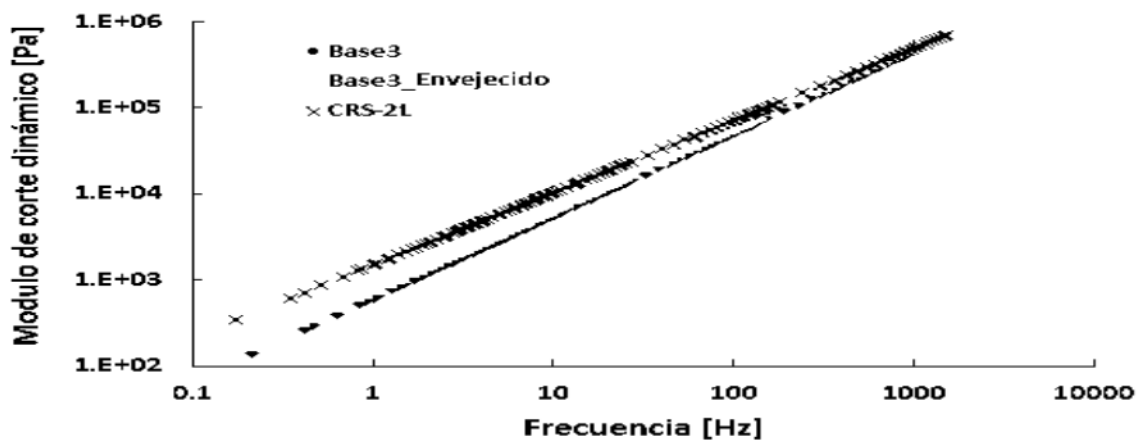


Figura 9. Curva maestra para asfaltos emulsionados del grupo 3 a 58 ° C.

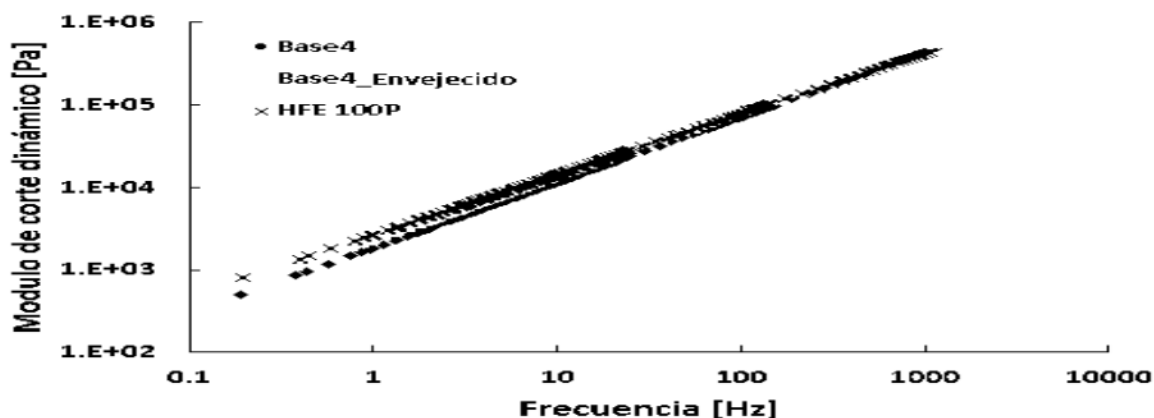


Figura 10. Curva maestra para asfaltos emulsionados del grupo 4 a 58 ° C

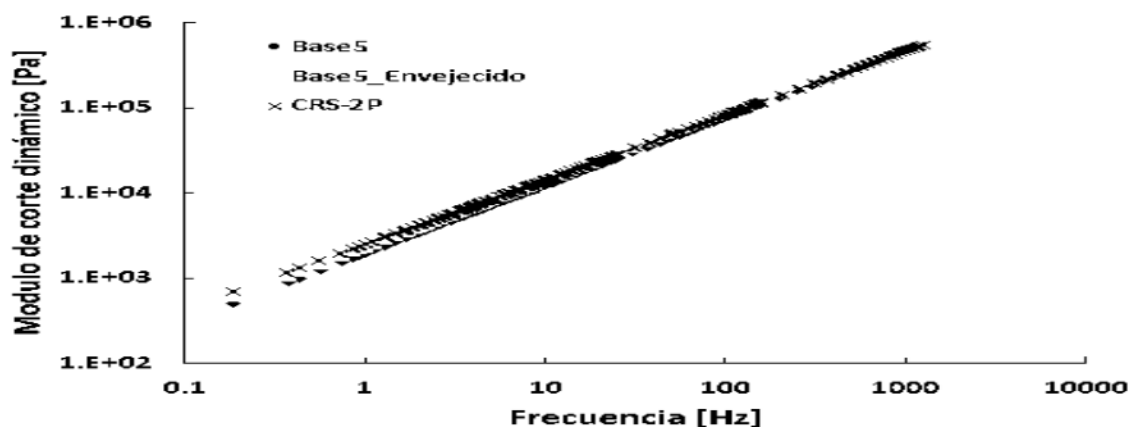


Figura 11. Curva maestra para asfaltos emulsionados del grupo 5 a 58 ° C.

Los resultados de la curva maestra ilustran que la emulsificación principalmente afecta el comportamiento de los residuos en las frecuencias más bajas o más altas temperaturas. Como puede verse, la emulsificación causa que el residuo se comportan con mayor rigidez, en comparación con el ligante base envejecido, a las frecuencias más bajas. Este cambio en el comportamiento podría ser debido a un mayor envejecimiento en la emulsión asfáltica.

4. Conclusiones

El procedimiento *MAB* para la recuperación de residuos de asfaltos emulsionados, ya es un procedimiento de la ASTM (D 7404-12). La recuperación de este método es rápido y simple en comparación con los procedimientos de recuperación tradicionales tales como, la destilación y la evaporación de horno. Se hizo una investigación más a fondo del procedimiento *MAB* mediante la inclusión de las mediciones de las propiedades reológicas de las muestras, utilizando un reómetro de corte dinámico (*DSR*). Se investigó el efecto de la temperatura sobre tanto el tiempo de recuperación y las propiedades

mecánicas del residuo de ligante. Para este fin, las propiedades reológicas del ligante de asfalto recuperado de las emulsiones se compararon con las propiedades del ligante utilizado para producir estas emulsiones. En resumen, en este trabajo se presentó el procedimiento de recuperación, utilizando el *MAB* y la medición de las propiedades mecánicas de los ligantes recuperados utilizando el *DSR*. Se propone este procedimiento combinado MAB-DSR como método alternativo rentable para la obtención del grado de desempeño de las emulsiones asfálticas. Este método puede ser utilizado tanto para el control de calidad as como para el desarrollo de especificaciones para los asfaltos emulsionados.

Referencias

Motamed, A., Bhasin, A., and Liechti, K. M., "Constitutive modeling of the non-linear viscoelastic response in asphalt binders; incorporating three dimensional effects," *Journal of Mechanics of Time Dependent Materials*, Vol. 17, No. 1, 2013, pp. 83-109.

Motamed, A., and Bahia, H. U., "Influence of Test Geometry, Temperature, Stress Level, and Loading Duration on Binder Properties Measured Using DSR," *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, Vol. 23, No. 10, 2011, pp. 1422-1432.

ASTM International, *Standard Test Method for Distillation of Emulsified Asphalt*, ASTM D 6997-12(2012). West Conshoocken, PA: ASTM.

ASTM International, *Standard Test Method for Determination of Emulsified Asphalt Residue by Moisture Analyzer*, D 7404-12 (2012). West Conshoocken, PA: ASTM.

ASTM International, *Standard Test Method for Residue by Evaporation of Emulsified Asphalt*, ASTM D 6934-08(2008). West Conshoocken, PA: ASTM.

Salomon D., Navarrete, D, Baker, R., *MAB-DSR Procedure: Assessment of the Performance of a Moisture Analyzer Balance (MAB) to Obtain the Residue of an Emulsified Asphalt using a Dynamic Shear Rheometer (DSR) Silicone Mold and Determining its Rheological Properties*, World Congress on Emulsion Proceedings, October, 2010.

Salomon, D., Thomson, M. and Durand, G., *Comparison of Rheological Properties for Recovered Residue from Emulsified Asphalt obtained by Three Recovery Procedures* Proceedings of International Symposium Asphalt Emulsion Technology, 2008.

Clyne, T.R., Marasteanu, M.O., and Basu, A., Evaluation of Asphalt Binders Used for Emulsions, Reported to Minnesota Local Road Research Board, August 2003.

Hanz, A. J., Arega, Z. A., and Bahia, H. U. (2010). *Rheological Behavior of Emulsion Residues Produced by Evaporative Recovery Method*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2179(1), 102-108.