



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS FRÍAS SOMETIDAS A DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD
RELATIVA**

QUENORÁN VALENCIA MALLERLY PAOLA – 1101658

REY TOLOZA, SANDRA CAROLINA – 1101662

ING. OSCAR JAVIER REYES ORTIZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERA

2016

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS FRÍAS SOMETIDAS A DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD
RELATIVA**

**EVALUATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF COLD ASPHALT
MIXTURES UNDER DIFFERENT LEVELS OF RELATIVE HUMIDITY**

Mallerly Paola Quenoran Valencia

Estudiante de Ingeniería civil, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, Bogotá,
u1101658@unimilitar.edu.co

Sandra Carolina Rey Toloza

Estudiante de Ingeniería civil, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia, Bogotá,
u1101662@unimilitar.edu.co

Oscar Javier Reyes Ortiz

Ingeniero Civil, Doctor. Profesor Titular, Programa de Ingeniería Civil, Líder Grupo
Geotecnia, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia,
oscar.reyes@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Las condiciones medioambientales han sido objeto de estudio por diferentes autores ya que son variables que no se pueden controlar y afectan el comportamiento mecánico y dinámico de la mezcla asfáltica fría (MAF), es por esto que en este estudio a partir de condiciones controladas de laboratorio se analiza el impacto de la humedad relativa a 0, 40, 55 y 70% mediante ensayos de resistencia a la tracción indirecta (RTI), ensayo de viga semicircular simplemente apoyada (SCB) y Fénix, para dos granulometrías

diferentes, el desarrollo de estos ensayos permitieron encontrar que a medida que aumenta la humedad relativa hasta 55% la resistencia de las MAF mejora en aproximadamente 30% construyendo un patrón de comportamiento sin importar el ensayo que se realice.

Palabras Clave: Ensayo Fénix; Ensayo SCB; Humedad Relativa; Mezclas asfálticas en frío; Resistencia a la tracción indirecta.

ABSTRACT

Environmental conditions have been studied by different authors as they are variables that can not be controlled and affect the mechanical and dynamic behavior of the cold asphalt mixture (MAF), which is why in this study from controlled laboratory conditions the impact of relative humidity at 0, 40, 55 and 70% by tests of resistance to indirect tensile (RTI), test simply supported semicircular beam (SCB) and Phoenix, for two different grain sizes, developing analyzed these tests allowed to find that as the relative humidity increases to 55% MAF resistance of approximately 30% improvement in constructing a pattern of behavior regardless of the test being performed.

Keywords: Cold asphalt mixtures; Indirect tensile strenght, Fénix test, Relative humidity, SCB test.

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas frías (MAF) están compuestas por la unión de agregados pétreos (gruesos y finos) y un ligante, el cual suele ser una emulsión asfáltica que se compone de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y un agente emulsivo (Fang, Garcia, Winnefeld, Partl, & Lura, 2014); su aplicación surge de la necesidad de crear estructuras más económicas, versátiles y sostenibles, dadas sus características de puesta en obra a

temperatura ambiente (B. R. García & Pérez, 2013) y con equipos convencionales de construcción de pavimentos asfálticos. Las MAF son usadas como alternativa para vías de bajo y medio volumen de tráfico y vías peatonales (Gómez-Mejjide & Pérez, 2014), así mismo, son utilizadas como solución para el mantenimiento y rehabilitación puntual de carpetas de rodadura construidas con mezclas asfálticas en caliente (MAC) (Liu et al., 2016).

Los daños en las mezclas asfálticas son variados y sus causas son especialmente por el flujo vehicular y las condiciones medioambientales (temperatura, humedad, rayos UV y precipitación), las cuales aumentan el deterioro de la estructura del pavimento, en especial las capas de rodadura (Behiry, 2013). Es por esto que múltiples investigaciones se han enfocado en la respuesta mecánica y dinámica de las mezclas asfálticas, específicamente en relación con los problemas por humedad relativa (HR) en los vacíos de las MAF (Mehrra & Khodaii, 2013). Algunos estudios señalan los aspectos y fallas características en las MAF por el ingreso de la humedad a su estructura, como los realizados en la universidad de Wisconsin – Madison; donde especifican tres mecanismos de falla: falta de adherencia en la interfaz agregado/emulsión (Ling, Hanz, & Bahia, 2016), recubrimiento incompleto de los agregados cuando hay incompatibilidad de cargas entre agregado y emulsión catiónica o aniónica (Cheng, 2013), y por último, por la presión que genera el flujo vehicular sobre el contenido de agua en los vacíos en las mezclas asfálticas (Bahia, Hussain, Sefidmazgi & Tashman, 2012).

Investigaciones desarrolladas por Nassar et al (2016) en la universidad de Nottingham, UK, se enfocaron en estudiar la incidencia de la HR en MAF fabricadas con una emulsión catiónica de curado lento. En el estudio, las probetas fueron acondicionadas a 20°C y HR del 50% y 85% durante 7 días; los resultados del ensayo de módulo resiliente (Mr)

manifestaron que a un nivel de HR alto (85%), la rigidez de la MAF disminuye un 30% con respecto a las muestras acondicionadas al 50%. Así mismo, Lin et al (2015) en la Universidad Sureste en China, estudiaron los efectos de la HR (50% y 90%) en MAF por medio de ensayos de resistencia a la tracción indirecta (RTI) a 20°C, evidenciando que existe una pérdida de la resistencia del 16% al 20% para las muestras acondicionadas al 90% con respecto a las del 50%.

Varias investigaciones han demostrado que la resistencia de MAF es muy baja y como alternativa viable para mejorar su comportamiento mecánico y dinámico se busca reemplazar parcial o totalmente el llenante mineral por cemento, ceniza volante o cal. Nageim et al (2012) en la universidad John Moores en Liverpool, demostraron que adicionar 5,5% de cemento Portland aumenta en un 63% la magnitud de RTI respecto a muestras sin adición; igualmente, Reyes et al (2014) en Colombia, sustituyeron el 100% del contenido de llenante mineral de una MAF por cemento, encontrando un aumento del 100% en la RTI . Por su parte, García et al (2012), estudiaron el comportamiento de las MAF ante los efectos de HR, encontrando pérdidas de su resistencia altas; razón por la cual, profundizaron su investigación en la fabricación de MAF con adición de cemento al 3%. Las probetas de la investigación fueron fabricadas con una emulsión de rompimiento rápido, acondicionadas a HR de 35, 70 y 90% a 20°C y sometidas a periodos de curado de 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días. El ensayo realizado para evaluar los efectos de la HR en la MAF fue la estabilidad Marshall, donde evidenciaron que existen cambios significativos de resistencia para los tiempos de curado entre 1 (60%) y 7 días (22%), mientras que para los tiempos siguientes a este, la diferencia de la resistencia es leve y con un máximo del 6%. Por otra parte, la resistencia de las probetas acondicionadas a HR altas (90%), disminuyen su resistencia un 22% en comparación de las probetas acondicionadas al 35

y 70% de HR. Estos resultados evidenciaron que la HR incide en la resistencia de las MAF y que periodos de curado de 7 días son suficientes para establecer cambios en el comportamiento mecánico y dinámico de MAF.

Con base en las múltiples investigaciones desarrolladas nacional e internacionalmente y de acuerdo con las condiciones medioambientales existentes en Colombia, se llevó a cabo el presente estudio para evaluar la incidencia de la HR (0, 40, 55 y 70%) en las propiedades mecánicas y dinámicas de MAF mediante los ensayos de RTI, Fénix y SCB a una temperatura de 15°C. Las probetas fueron fabricadas con granulometrías MDF12 y MDF20, definidas por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), junto con una emulsión catiónica de rompimiento medio y reemplazo del 5% de llenante mineral por cemento Portland.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló con la metodología experimental que aparece en la Figura.1, iniciando con la selección y caracterización del material granular y de la emulsión asfáltica. Posteriormente se diseñaron las MAF mediante el método Marshall modificado de Illinois, obteniendo el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para las granulometrías MDF12 y MDF20 del IDU (IDU, 2013). Como una segunda etapa, se fabricaron muestras para evaluar el comportamiento mecánico de la MAF mediante los ensayos de RTI, Fénix y SCB, las cuales antes de ser ensayadas fueron acondicionadas a diferentes HR (0, 40, 55 y 70%) y temperatura de 15°C durante 7 días en una cámara de humedad y temperatura controlada (Figura 2).



Figura. 1 Diagrama de la metodología de la investigación.

Fuente: Original de autores.



Figura. 2 Cámara de acondicionamiento de humedad relativa y temperatura controlada

Fuente: Original de autores

Caracterización de los Materiales

Para evaluar las características del material granular y emulsión asfáltica utilizadas en la investigación, se realizaron ensayos de laboratorio, los cuales se muestran a continuación:

Caracterización del material granular

Los agregados utilizados en la investigación provienen del río Coello, vereda Aguablanca, sector la Morena, Espinal (Tolima) y fueron caracterizados mediante los ensayos que aparecen en la Tabla 1 y sus resultados cumplen las especificaciones técnicas del IDU, (IDU, 2013).

Tabla 1. Ensayos de caracterización del material granular

| Ensayo | Norma | Resultado |
|---------------------------------------------|------------|-----------|
| Equivalente de arena (%) | INV. E-133 | 57 |
| Resistencia al desgaste (%) | INV. E-218 | 26 |
| Peso específico aparente agregado fino (%) | INV. E-222 | 2,61 |
| Absorción agregado fino (%) | INV. E-222 | 1,2 |
| Peso específico aparente agregado grueso %) | INV. E-223 | 2,6 |
| Absorción agregado grueso (%) | INV. E-125 | 1,7 |

Fuente: Original de autores

Caracterización de la Emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica utilizada en la investigación fue caracterizada mediante los ensayos que aparecen en la Tabla 2, y está clasificada como una emulsión catiónica de rompimiento medio, cumpliendo con los requerimientos exigidos por la norma IDU (2013).

Tabla 2. Ensayos de caracterización de la emulsión asfáltica

| Ensayo | Norma | Resultado |
|---------------------------------|---------------|-----------|
| Viscosidad Saybolt-Furol a 25°C | INV. E-763-07 | 27 |
| Sedimentación a los 7 días (%) | INV. E-764-07 | 4 |
| Residuo evaporación emulsión | INV. E-771-07 | 58 |
| Carga de la partícula | INV. E-767-07 | Positiva |
| pH. emulsión asfáltica | INV. E-768-07 | 2,5 |

Fuente: Original de autores

Curvas Granulométricas

Las granulometrías seleccionadas en la investigación corresponden a las MDF12 y MDF20 del IDU en su franja media (IDU, 2013) y aparecen en la Figura. 3 y Figura 4.

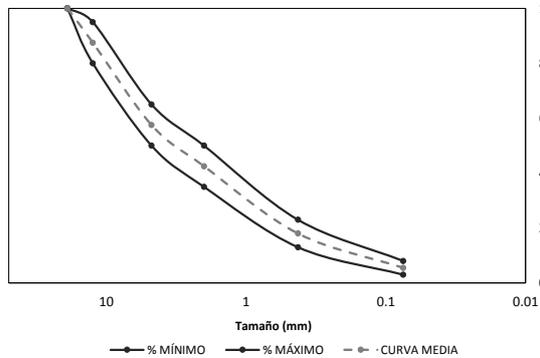


Figura. 3 Curva granulométrica MDF12 (IDU 2013)

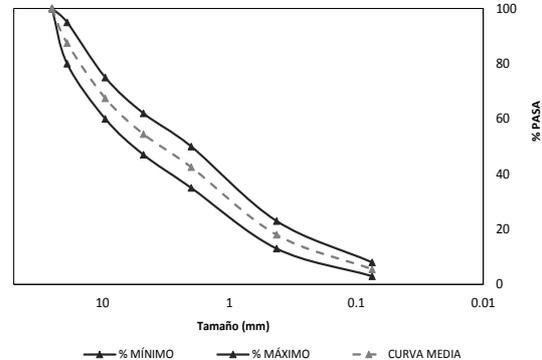


Figura. 4 Curva granulométricas MDF20 (IDU 2013)

Fuente: Original de autores.

Diseño de las MAF por el método Marshall modificado de Illinois.

El diseño de la MAF se realizó mediante el método Marshall modificado de Illinois, cuyo proceso consiste en fabricar probetas tipo Marshall con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica y someterlas a la prueba RTI. El porcentaje óptimo se establece con la dosificación que alcanza la resistencia máxima (Choudhary, 2012), que en el caso de la MAF con granulometría MDF12 es de 12% (Figura 5) y de la granulometría MDF20 de 16% (Figura 6).

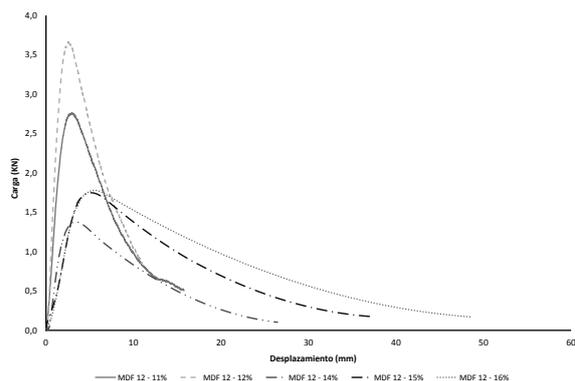


Figura. 5 Relación desplazamiento - carga en el ensayo RTI para la granulometría MDF12 con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica.

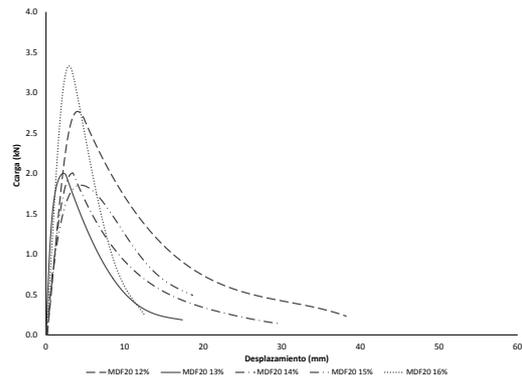


Figura. 6 Relación desplazamiento - carga en el ensayo RTI para la granulometría MDF20 con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica.

Fuente: Original de autores

RESULTADOS

A continuación se analizan y presentan los resultados de los ensayos RTI, Fénix y SCB, ejecutados para determinar el comportamiento mecánico de las MAF frente al acondicionamiento de las muestras durante 7 días a HR de 0, 40, 55 y 70%, con control de temperatura de 15°C.

Resistencia a la tracción indirecta (RTI)

Los resultados de los ensayos RTI en estado seco de las mezclas con granulometría MDF12 y MDF20 se muestran en la Figura 7 y Figura 8.

Las curvas evidencian que irrelevante la granulometría utilizada, la HR de 70% genera una reducción elevada de la resistencia (60 y 70%), mientras que las HR de 40 y 55% producen un leve incremento de la resistencia (14 y 23%), para la granulometría MDF12 y MDF20, respectivamente. De otra parte, se observa que las curvas de la mezcla con granulometría MDF12 presentan un comportamiento más rígido comparadas con la granulometría MDF20, evidenciado por pendientes más pronunciadas.

Las mezclas con granulometría MDF20 presentan resistencias máximas menores (11%) respecto a la mezclas MDF12 a un desplazamiento mayor (37%), creando mezclas más dúctiles.

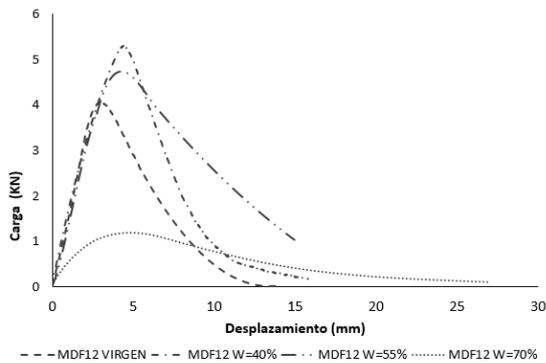


Figura. 7 Curva carga-desplazamiento del ensayo RTI en estado seco de la granulometría MDF 12 con distinto porcentaje de humedad.

Fuente: Original de autores

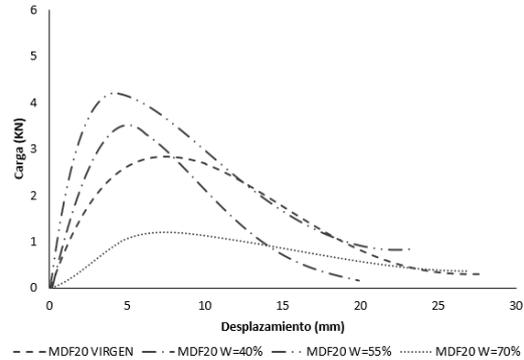


Figura. 8 Curva carga-desplazamiento del ensayo RTI en estado seco de la granulometría MDF20 con distinto porcentaje de humedad.

En la Figura. 9 y Figura 10, se muestran las curvas carga (kN) –desplazamiento (mm) obtenidos del ensayo RTI en estado húmedo, donde se observa que para la HR de 70% la resistencia se reduce entre un 72 y 82%, irrelevantemente la MAF estudiada. Así mismo, para las HR de 40 y 55% se presentan leves aumentos en la resistencia, de 14 y 60% respectivamente para las dos granulometrías.

La mezcla con granulometría MDF12 presenta un comportamiento más rígido, ya que en la curva carga – desplazamiento se observan pendientes muy pronunciadas; mientras que el comportamiento presentado en la mezcla con granulometría MDF20 es más dúctil, debido a sus desplazamientos, los cuales son mayores en un 60 % a los presentados en la granulometría MDF12.

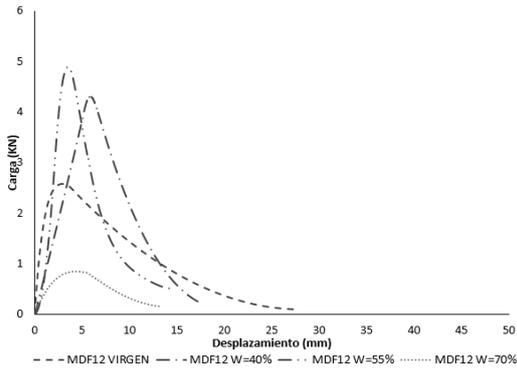


Figura. 9 Curva carga-desplazamiento del ensayo RTI en estado húmedo de la granulometría MDF 12 con distinto porcentaje de humedad.

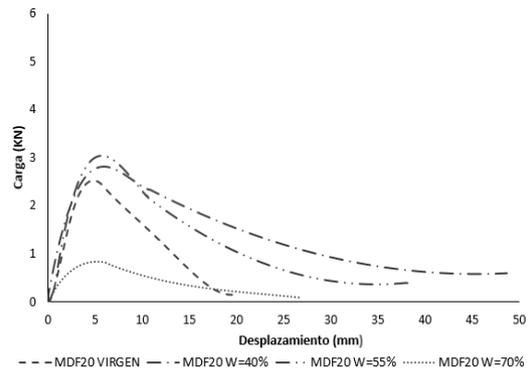


Figura. 10 Curva carga-desplazamiento del ensayo RTI en estado húmedo de la granulometría MDF 12 con distinto porcentaje de humedad.

Fuente: Original de autores

La Figura. 11, muestra la Resistencia Conservada ($R_c = \text{RTI húmedo}/\text{RTI seco}$) de las granulometrías MDF12 y MDF20. Para los resultados de las muestras vírgenes su R_c cumple apenas sobre el límite permitido por el IDU, al mismo tiempo, las muestras acondicionadas a HR del 40% y 55% aportaron a que cada granulometría lograra aumentar sobre las muestras vírgenes su R_c aproximadamente un 36% para MDF12 y 8% para MDF20. Por otro lado las condiciones de HR muy altas (70%) en las MAF estudiadas afectó el comportamiento mecánico, dado que siempre estuvieron por debajo del límite permitido en un 63%.

Estos resultados comprueban que a la hora de usar las MAF con granulometría MDF12 y MDF20 en condiciones reales puede aplicarse en lugares donde se tenga una humedad relativa entre el 40% y el 55%, garantizando un comportamiento favorable frente a las propiedades de adhesión, estabilidad y resistencia a la hora de recibir diferentes tipos de cargas

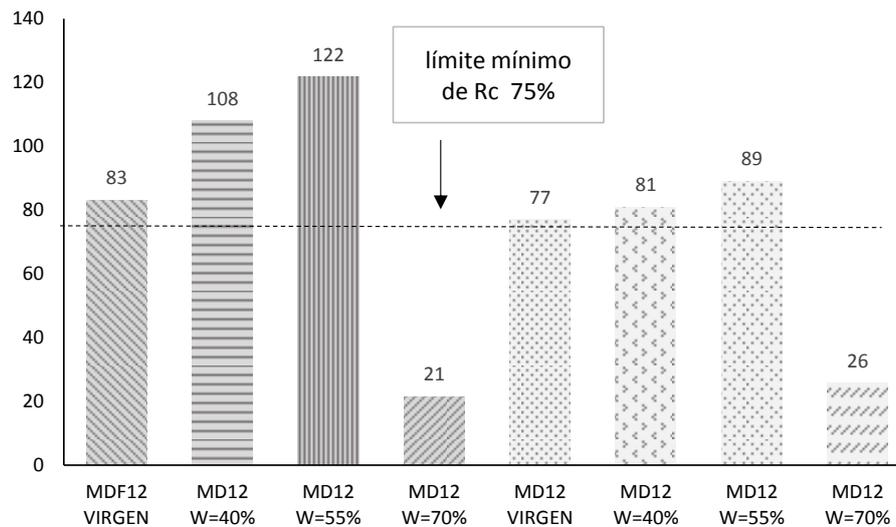


Figura. 11 Resistencia conservada de la granulometría MDF12 y MDF20

Fuente: Original de autores

A la hora de realizar el ensayo RTI en probetas acondicionadas a 70% de humedad, se muestra en la Figura.12 que estas fallaron con poca carga (0.9 kN) debido a que la humedad afectó la adhesión de la interfaz agregado/emulsión impidiendo que trabajara como una mezcla homogénea.

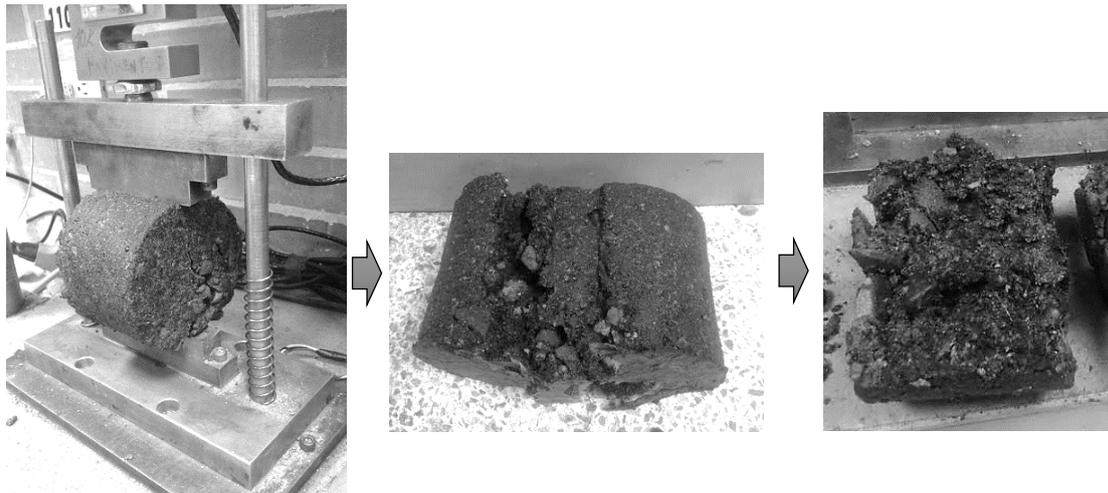


Figura. 12 Probeta con HR de 70% sometida a ensayo RTI

Ensayo de viga semicircular simplemente apoyada y Ensayo Fénix

En la figura 13, se encuentra el procedimiento del ensayo SCB, cuyo objetivo principal es medir la resistencia a la propagación de fisuras de una mezcla asfáltica, de acuerdo a la norma pr EN 12697-44. De este ensayo se obtiene la curva característica de carga máxima y desplazamiento, que resiste una mezcla antes de llegar a la falla (Valdés, Pérez-Jiménez, & Botella, 2009). En la Figura 14, se observa el ensayo Fénix, cuyo procedimiento permite evaluar la resistencia a la fisuración de las mezclas asfálticas a través de diferentes factores (Energía disipada, carga máxima y desplazamiento) (Paredes, Reyes-Ortiz, & Camacho-Tauta, 2014).

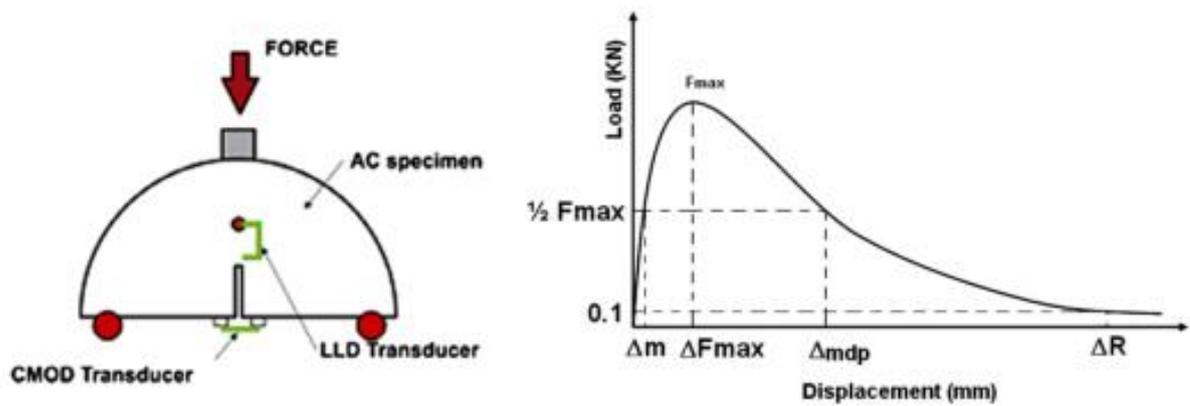


Figura 13 Representación esquemática ensayo SCB con curva carga-desplazamiento resultante del ensayo.

Fuente: (Pérez-Jiménez, Botella, Moon, & Marasteanu, 2013)

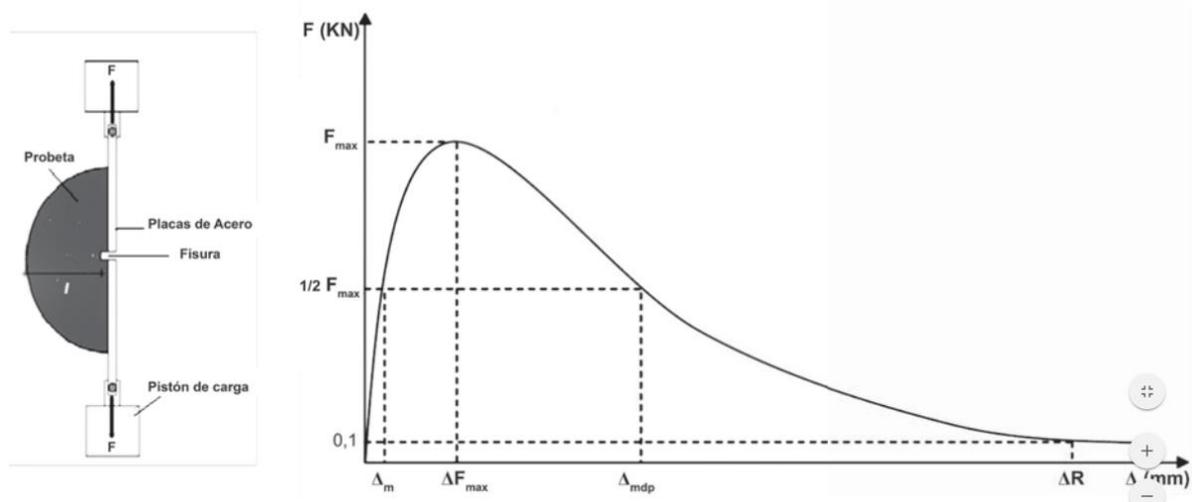


Figura. 14 Representación esquemática ensayo Fénix con la curva carga – desplazamiento resultante del ensayo.

Fuente: (Valdés et al., 2009) (Paredes et al., 2014)

De acuerdo a lo anterior, los resultados obtenidos en las curvas carga (kN) – desplazamiento (mm) del ensayo SCB realizado a 15°C, se muestran en la Figura 15 y Figura 16.

En la mezcla con granulometría MDF12 (Figura 14) se observa que en la HR de 70% la resistencia disminuye en un 63%, evidenciando que el material en esas condiciones es extremadamente blando. Las HR de 0, 40 y 55% presentan resistencias altas similares, sin embargo las muestras acondicionadas a 40 y 55% de HR producen más rigidez dado que sus curvas tienen pendientes más pronunciadas.

Para la mezcla con granulometría MDF20 se presenta un comportamiento similar, la HR de 70% tiene un valor de resistencia inferior (75%), mientras que las HR de 40 y 55% aumentan sus valores de resistencia entre 2 y 30%, pero en este caso las muestras son más dúctiles, ya que sus desplazamientos son superiores (40%) en comparación con la granulometría MDF12.

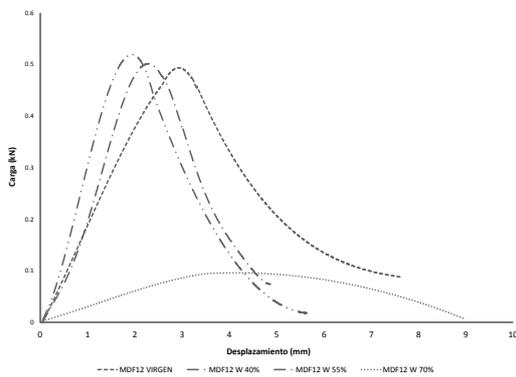


Figura. 15 Curva carga-desplazamiento del ensayo SCB de la granulometría MDF 12 con distinto porcentaje de humedad relativa

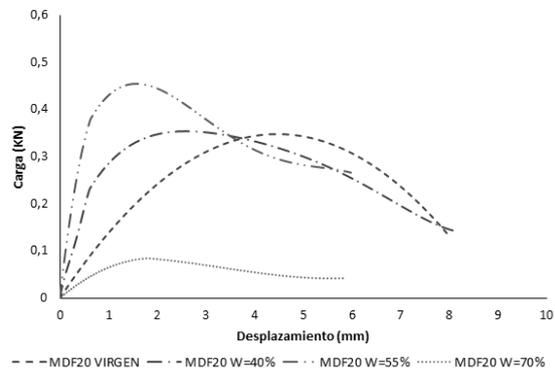


Figura. 16 Curva carga-desplazamiento del ensayo SCB de la granulometría MDF 20 con distinto porcentaje de humedad relativa

Fuente: Original de autores

En la Figura. 17 y Figura. 18, se muestran los resultados de la granulometría MDF12 y MDF20 en el ensayo Fénix a 15°C y sometidas a diferentes condiciones de humedad. En las curvas de carga-desplazamiento se observa que la mezcla con granulometría MDF20 tiene menos resistencia, disminuyendo sus valores de carga máxima en un 19% respecto a los de la granulometría MDF12.

En la Figura 17 y Figura 18 se observa que las muestras acondicionadas al 0, 40 y 55% de HR presentan valores de resistencia similares, y a la vez, que la HR de 70% tiene las resistencias más bajas (82 y 66%). Cabe resaltar que en ambos casos, las muestras con HR de 55% son las más rígidas, debido a que sus curvas tienen una pendiente pronunciada.

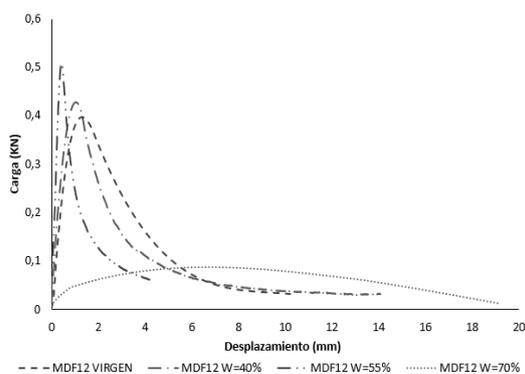


Figura. 17 Curva carga-desplazamiento del ensayo Fénix con granulometría MDF12 con distinto porcentaje de humedad.

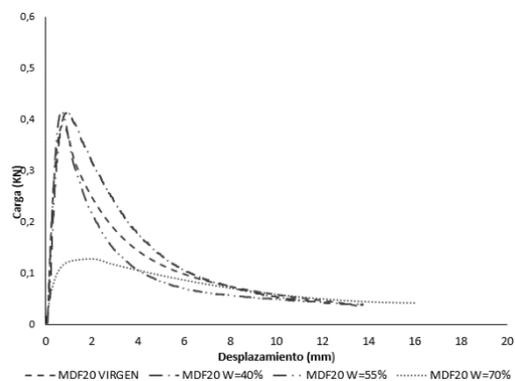


Figura. 18 Curva carga-desplazamiento del ensayo Fénix con granulometría MDF20 con distinto porcentaje de humedad.

Fuente: Original de autores

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basados en los experimentos de laboratorio, análisis y evaluación llevados a cabo a la MAF, se presentan las siguientes conclusiones:

Las muestras con granulometrías MDF12 y MDF20 acondicionadas al 70% de HR presentaron valores de resistencia muy bajos en los ensayos, lo cual evidencia que a una HR alta, la emulsión asfáltica no tiene un rompimiento adecuado, produciendo una pérdida de adhesión entre el agregado y el ligante.

En todos los ensayos realizados en esta investigación, se evidenció que las muestras con la granulometría MDF12, presentaron una mayor resistencia frente a la carga aplicada en comparación con las de la granulometría MDF20, que tienen un menor porcentaje de material fino; esto se debe a que el material fino tiene la capacidad de retener humedad, aspecto que favorece a la reacción química con el cemento, presentando así una mayor resistencia.

El ensayo fénix muestra el comportamiento que tiene la MAF a diferentes acondicionamientos de humedad relativa, indicando visiblemente los cambios o alteraciones en su rigidez y su manejabilidad.

Irrelevantemente el ensayo que se realice, ya sea RTI (estado seco y húmedo), Fénix o SCB, las muestras que presentaron un mejor comportamiento respecto a las muestras vírgenes fueron las acondicionadas a HR de 40 y 55%, debido a que la emulsión asfáltica reaccionó favorablemente con el cemento, amentando la resistencia.

Según los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en esta investigación, se concluye que hasta cierto punto (50%) la humedad es un factor

favorable para el mejoramiento de las propiedades mecánicas y dinámicas de las MAF, pero cuando las mezclas se encuentran en situaciones críticas de precipitación, este factor ya es desfavorable para su rendimiento en la vida útil.

Con base a los resultados obtenidos en los ensayos, se recomienda, para el uso de las MAF, implementarlas en lugares en donde el contenido de humedad sea menor al 70%.

Se recomienda que mediante el ensayo ESL (energía superficial libre) se analice de qué manera se ve afectada la adhesión de la superficie de los agregados con la emulsión asfáltica cuando se encuentra en condiciones de humedad relativa entre 0 y 40% y con un porcentaje de cemento superior al 5%.

FINANCIAMIENTO

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la vicerrectoría de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada, en especial al proyecto de investigación de alto impacto IMP-ING-2132.

REFERENCIAS

Al Nageim, H., Al-Busaltan, S. F., Atherton, W., & Sharples, G. (2012). A comparative study for improving the mechanical properties of cold bituminous emulsion mixtures with cement and waste materials. *Construction and Building Materials*, 36, 743–748. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.032>

Bahia, Hussain, Sefidmazgi, N. R., & Tashman, L. (2012). Internal structure characterization of asphalt mixtures for rutting performance using imaging analysis. *Road Materials and Pavement Design*, 13(sup1), 21–37.

<http://doi.org/10.1080/14680629.2012.657045>

Behiry, A. E. A. E. M. (2013). Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(3), 351–363. <http://doi.org/10.1016/j.asej.2012.10.009>

Cheng, L. (2013). Developing Evaluation Method of Moisture Susceptibility for Cold Mix Asphalt. *University of Wisconsin – Madison*.

Choudhary, R. (2012). Use of Cold Mixes for Rural Road Construction. *International Conference on Emerging Frontiers in Technology for Rural Area (EFITRA)*, 20–24. Retrieved from <http://research.ijcaonline.org/efitra/number3/efitra1022.pdf>

Fang, X., Garcia, A., Winnefeld, F., Partl, M. N., & Lura, P. (2014). Impact of rapid-hardening cements on mechanical properties of cement bitumen emulsion asphalt. *Materials and Structures*, 487–498. <http://doi.org/10.1617/s11527-014-0512-3>

García, A., Lura, P., Partl, M. N., & Jerjen, I. (2012). Influence of cement content and environmental humidity on asphalt emulsion and cement composites performance. *Materials and Structures*, 46, 1275–1289. <http://doi.org/10.1617/s11527-012-9971-6>

García, B. R., & Pérez, C. M. (2013). Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles.

Gómez-Meijide, B., & Pérez, I. (2014). Effects of the use of construction and demolition waste aggregates in cold asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 51, 267–277. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.096>

IDU. (2013). Mezclas asfálticas densas en frío. In *Manual MG-IC-010 Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y*

de espacio publico en Bogotá D.C. (Vol. 3, pp. 1–40).

Lin, J., Wei, T., Hong, J., Zhao, Y., & Liu, J. (2015). Research on development mechanism of early-stage strength for cold recycled asphalt mixture using emulsion asphalt. *Construction and Building Materials*, 99, 137–142. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.019>

Ling, C., Hanz, A., & Bahia, H. (2016). Measuring moisture susceptibility of Cold Mix Asphalt with a modified boiling test based on digital imaging. *Construction and Building Materials*, 105, 391–399. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.093>

Liu, X., Zhou, C., Feng, D., Tang, H., Xu, Y., & Fan, X. (2016). Influence of moisture in aggregates on properties of cold-mixed resin asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 120, 232–240. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.113>

Mehrara, A., & Khodaii, A. (2013). A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 38(424), 423–442. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.033>

Nassar, A., Nicholas, T., & Tony, P. (2016). Examining the effects of contributory factors on curing of cold bitumen emulsion mixtures Examining the effects of contributory factors on curing of cold bitumen emulsion mixtures.

Paredes, L. A., Reyes-Ortiz, Ó. J., & Camacho-Tauta, J. F. (2014). Comportamiento de mezclas asfálticas densas a partir del ensayo de viga semicircular simplemente apoyada. *Revista Tecnura*, 18(41), 103. <http://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.3.a08>

Pérez-Jiménez, F., Botella, R., Moon, K. H., & Marasteanu, M. (2013). Effect of load application rate and temperature on the fracture energy of asphalt mixtures. F??nix and

semi-circular bending tests. *Construction and Building Materials*, 48, 1067–1071.
<http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.084>

Reyes-Ortiz, O. J., Álvarez, A. E., & Valdés-Vidal, G. A. (2014). Evaluación mecánica de mezclas asfálticas frías fabricadas con reemplazo de llenante mineral. *Informacion Tecnologica*, 25(2), 93–102. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200011>

Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., & Botella, R. (2009). Ensayo Fénix, una Nueva Metodología para Medir la Resistencia a la Fisuración en Mezclas Asfálticas. *Revista de La Construccion*, 8(1), 114–125.