

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS FRÍAS CON GRANULOMETRÍAS
COLOMBIANAS**

**JUAN CAMILO NARVÁEZ GONZÁLEZ
JUAN SEBASTIÁN PÉREZ PUENTES**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2012**

Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas frías con granulometrías colombianas

O. Reyes-Ortiz¹, J. Pérez² y J. Narváez³.

Recepción: 29 de octubre de 2012 — Aceptación: 30 de noviembre de 2012

Se aceptan comentarios y/o discusiones al artículo.

Resumen

Las mezclas asfálticas frías son poco utilizadas en Colombia debido a que comparadas con las mezclas convencionales, no tienen buena resistencia, cohesión y adhesión. Por esta razón el presente estudio se enfocó en la búsqueda de alternativas que logran mejorar estas propiedades. El propósito de esta investigación fue estudiar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas frías con las granulometrías colombianas del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y con las del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Inicialmente se caracterizó el material granular y la emulsión, seguido de la determinación del porcentaje óptimo de emulsión mediante ensayos de resistencia a la tracción indirecta (RTI). Luego se fabricaron muestras cilíndricas con y sin cemento en el tamaño de partícula pasa tamiz 200. A continuación se ejecutaron los ensayos de resistencia a la tracción indirecta en estado seco y húmedo, resistencia al desgaste, módulo resiliente (M_r) y resistencia conservada, para medir la cohesión, adhesión y resistencia de las mezclas asfálticas del estudio. Como resultado se determinó que las mezclas asfálticas frías convencionales muestran un comportamiento mecánico bajo, mientras que con el remplazo de las partículas pasa tamiz 200 por cemento, sus resistencias, adhesión y cohesión se incrementaron, sugiriendo su viabilidad para vías de tráfico bajos y medios.

Palabras claves: Mezclas asfálticas frías, emulsión, RTI, Módulo Resiliente, UCL.

¹ Ingeniero Civil, Ph.D. Profesor Titular Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, oscar.reyes@unimilitar.edu.co.

² Ingeniero Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, u1100797@unimilitar.edu.co

³ Ingeniero Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, u1100667@unimilitar.edu.co

Abstract

Cold asphalt mixtures are rarely used in Colombia because they have not so good strength, cohesion and adhesion as conventional mixtures. This study is focused on improve these properties. The purpose of this investigation was to study the mechanical behaviour of cold asphalt mixes with Colombian granulometries from Instituto Desarrollo Urbano (IDU) and other from Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Initially, granular material and emulsion was characterized followed by determination of the optimum percentage of emulsion using indirect tensile strength (ITS) tests. Subsequently, cylindrical specimens were made with and without cement particles passing the #200 sieve. Then, ITS tests were executed in dry and wet state, wear resistance, resilient modulus and conserved resistance; it is for measuring cohesion, adhesion and resistance of asphalt mixtures study. The results indicated that conventional cold asphalt mixtures shows a low mechanical strength whereas those which were replaced by the particles passing the #200 sieve for cement, their resistance, adhesion and cohesion were improved, suggesting its viability for low and medium traffic roads.

Key words: Cold asphalt mixtures, emulsion, ITS, resilient modulus, UCL.

1. Introducción

A lo largo de la historia han predominado las mezclas asfálticas en caliente para la construcción de vías, sin embargo estas mezclas tienen una gran afectación ambiental y económica, es por esto que en los últimos años se han venido implementando las mezclas asfálticas frías con el fin de dar solución al gran consumo de petróleo, y minimizando así el impacto medioambiental generado por los gases de efecto invernadero producidos en las plantas de aglomerado en caliente. [1], [2]

Las mezclas asfálticas frías son una combinación de agregados finos y gruesos con emulsión, cuyo proceso de fabricación no requiere calentar previamente los componentes, se lleva a cabo a temperatura ambiente, in-situ y es fácil de trabajar y compactar, dadas las propiedades de la emulsión de poca viscosidad, creando así una buena cohesión y resistencia a estas mezclas asfálticas. [3], [4]

El uso de las mezclas asfálticas en frío depende de algunas consideraciones técnica-económica, de la magnitud y lugar de la obra, del tránsito y de las condiciones climáticas, ya que este tipo de mezclas tienen una gran versatilidad, pues permite utilizar variedades de agregados y tipos de emulsiones; además, pueden ser utilizadas en condiciones ambientales diversas principalmente en terrenos de clima templado. No obstante, han atraído poca atención como capas estructurales debido a su comportamiento

inadecuado y la susceptibilidad al daño en los primeros años de vida por la lluvia y condiciones climatológicas. Igualmente las mezclas asfálticas frías presentan una baja estabilidad debido a que generan una elevada deformabilidad frente a cargas pesadas y escasa resistencia a los esfuerzos. Por lo tanto están especialmente adaptadas a las carreteras de baja intensidad. [5]

Existen diferentes investigaciones que encuentran que una alternativa de mejorar la baja resistencia, cohesión y adhesión de las mezclas asfálticas frías es introducir aditivos o cemento, donde se evidencia un incremento en las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas, prueba de ello, son los estudios realizados en Louisiana State University de USA, en 1998 por los investigadores G. Li y Y. Zhao, donde hicieron estudios experimentales acerca de la composición de la emulsión asfáltica con cemento, realizaron diferentes pruebas de laboratorio tratando de evaluar las propiedades mecánicas y encontrando un incremento en la resistencia al esfuerzo y menor susceptibilidad a la temperatura. Estos resultados indicaron que la nueva composición puede ser una alternativa para las capas de base en el pavimento. Así mismo, los investigadores S. Oruc y M. F. Celic, en el 2006, realizaron una investigación donde reflejan que las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en frío mejoran considerablemente al adicionarles cemento Portland al 6%. [6], [7]

Hassan Al Nageim y Shakir Falih Al-Busaltan de la ciudad de Liverpool, Inglaterra, en el 2012, realizaron un estudio para mejorar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas frías con cemento y materiales de desecho y compararlas con las mezclas asfálticas convencionales, encontrando incrementos en el rango entre el 2% y 60% en rigidez, adhesión y cohesión. Este estudio demostró la viabilidad de su uso para tráfico medios y bajos. [8]

En el 2009, los investigadores Y. Niazy y M. Jalili, analizaron el efecto del cemento portland y cal en la propiedades mecánicas de mezclas recicladas frías con emulsión asfáltica; los resultados mostraron que al adicionar el cemento portland incrementa entre el 20% y 50% la estabilidad Marshall, el módulo elástico, resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la deformación plástica. Así mismo, en el 2010, los investigadores A. Kavussi, A. Modarres, realizaron ensayos de laboratorio con el fin de establecer las propiedades mecánicas de mezclas recicladas con emulsión asfáltica y cemento, concluyendo que los materiales cementados tienden a ser frágiles y a tener baja resistencia a fatiga, esto se relaciona con el nivel de deformación

inicial. Por otro lado, la resistencia a la tracción indirecta y resistencia a la deformación tiene un mejor comportamiento con el uso de cemento. [9], [10]

Con base en las diferentes investigaciones y las ventajas medioambientales de las mezclas asfálticas frías y con el fin de utilizar estas mezclas en las capas estructurales de pavimento, se realizó esta investigación con el objetivo de estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas frías colombianas al adicionarle cemento en el tamaño de partícula pasa tamiz 200, ejecutando los ensayos de resistencia a la tracción indirecta, resistencia al desgaste, módulo resiliente y resistencia conservada.

2. Metodología

El desarrollo de la metodología de la investigación esta esquematizado en la Figura 1, donde se inicia con la caracterización del material granular y la emulsión, seguido con la determinación del porcentaje óptimo de emulsión para las granulometrías colombianas del IDU e INVIAS por medio del ensayo de tracción indirecta. Posteriormente se fabricaron probetas cilíndricas con y sin cemento, los cuales sirven para ejecutar los ensayos de módulo resiliente, resistencia a la tracción indirecta en estado seco y húmedo, y resistencia al desgaste a temperaturas a 0°C, 10°C, 20°C, 40°C, mediante el ensayo UCL [11]. Por último, se estableció el comportamiento de las mezclas asfálticas frías con base en el análisis de los ensayos ejecutados y se concluyó acerca de su comportamiento y viabilidad de uso en vías de tráfico medio y bajo.

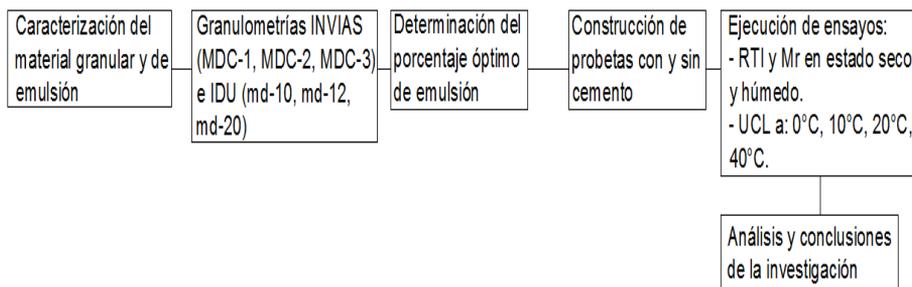


Figura 1. Diagrama de la metodología de la investigación.

2.1 Porcentaje óptimo de emulsión

Para la obtención del porcentaje óptimo de emulsión, se fabricaron probetas tipo Marshall a 75 golpes por cada lado, a las cuales se les agregó diferentes porcentajes de emulsión, entre el 9% y el 16%. En la Figura 2, se muestran las curvas de RTI para los diferentes porcentajes, que a partir del análisis de resistencia y ductilidad, se determinó que el óptimo era al 14%, ya que este indicaba un equilibrio entre resistencia y deformabilidad.

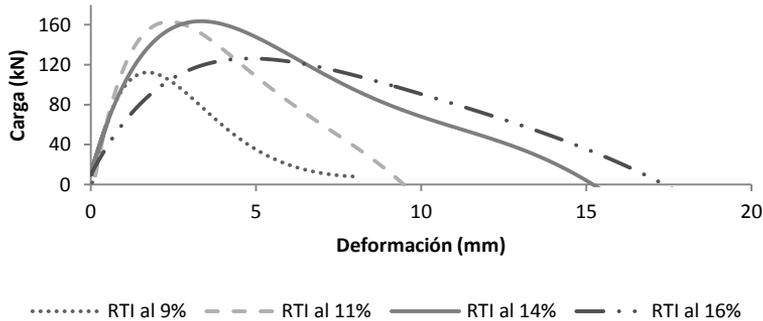


Figura 2. Porcentaje óptimo de emulsión.

2.2. Curvas granulométricas

Las granulometrías utilizadas en la investigación son las utilizadas por el IDU (md10, md12 y md20) y por el Instituto Nacional de Vías INVIAS (MDC-1, MDC-2 y MDC-3) en sus partes medias, las cuales se pueden observar en la Figura 3 y Figura 4, respectivamente.

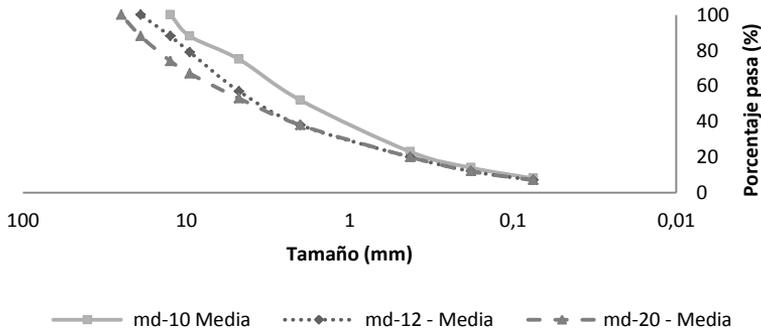


Figura 3. Curvas granulométricas media de las mezclas del IDU.

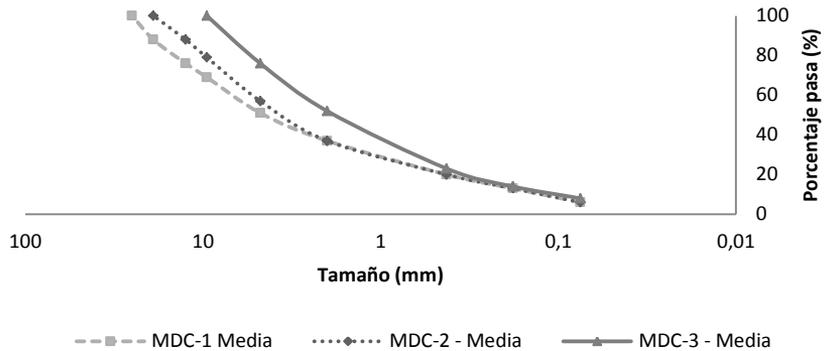


Figura 4. Curvas granulométricas media de las mezclas del INVIAS.

3. Análisis de resultados

Para determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas frías fabricadas con y sin cemento, se realizaron los ensayos de RTI, Mr, UCL a diferentes temperaturas (0°C, 10°C, 20°C, 40°C), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

De la Figura 5, RTI en estado seco y húmedo de las curvas granulométricas del INVIAS, se observa en primera instancia un comportamiento similar de las probetas en estado seco (RTI aproximado 0,15 kPa), independientemente del tipo de granulometría. Así mismo, dicho comportamiento es similar con las muestras con adición de cemento (RTI aproximado 0,40 kPa). Sin embargo, al comparar las muestras con y sin cemento, existe incrementos del 100% de resistencia, sobresaliendo la granulometría MDC-1 con valores cercanos a 0,65 kPa. De otra parte, las muestras ensayadas en estado húmedo sin cemento, muestran resistencias muy bajas y cercanas a 0,1 kPa, sin importar su granulometría, mostrando su falta de cohesión y adhesión.

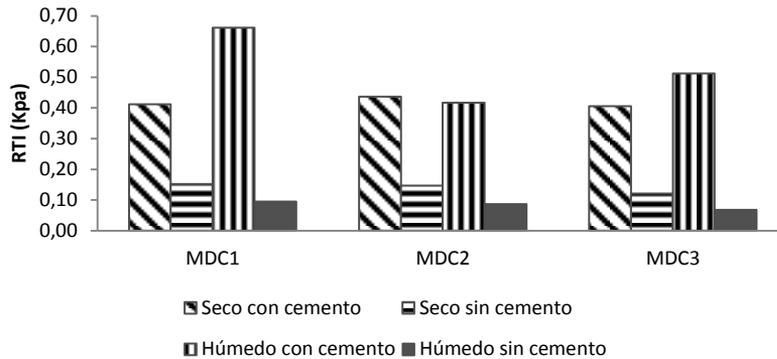


Figura 5. Resistencia a la Tracción Indirecta INVIAS en estado seco y húmedo.

De la Figura 6, RTI de las curvas granulométricas del IDU en estado seco y húmedo, se puede observar que en estado seco y adición de cemento, el comportamiento es variable obteniendo valores entre 0.25 kPa a 0.40 kPa; mientras que en estado seco sin cemento, se presentan resistencias similares del orden de 0.15 kPa, valores muy bajos, evidenciando falta de cohesión y adhesión en las mezclas. Sin embargo, al comparar las muestras con y sin cemento, se presenta un comportamiento similar observado en las mezclas del INVIAS, mostrando resistencias bajas en las muestras sin cemento y resistencias altas en las muestras con cemento. Así mismo, se establece que las probetas con granulometría md-12 y md-10 tienen las magnitudes superiores, con valores de resistencia de 0.58 kPa y 0.55 kPa respectivamente.

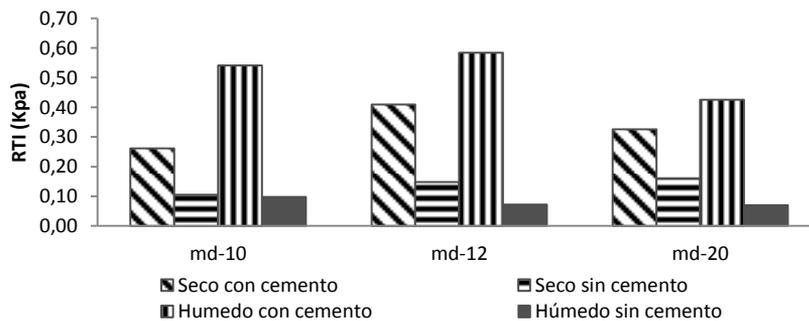


Figura 6. Resistencia a la Tracción Indirecta IDU en estado seco y húmedo.

De las Figura 7 y Figura 8, Resistencia conservada de las mezclas del INVIAS e IDU, se puede observar que las probetas con adición de cemento cumplen con los valores establecidos por la norma (mínimo 80%), mientras que las probetas sin cemento se encuentran por debajo de lo exigido, a excepción de la granulometría md-10 donde obtuvo una resistencia del 92%. Estos resultados evidencian que es viable incluir cemento a las mezclas asfálticas frías debido a que mejora las propiedades de adhesión y cohesión en las mezclas.

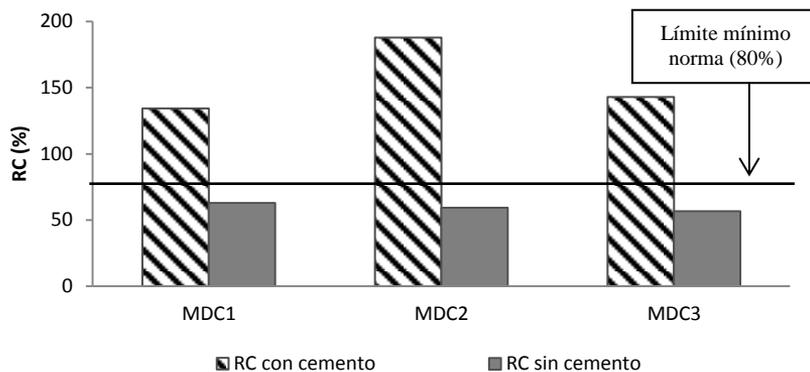


Figura 7. Resistencia conservada INVIAS.

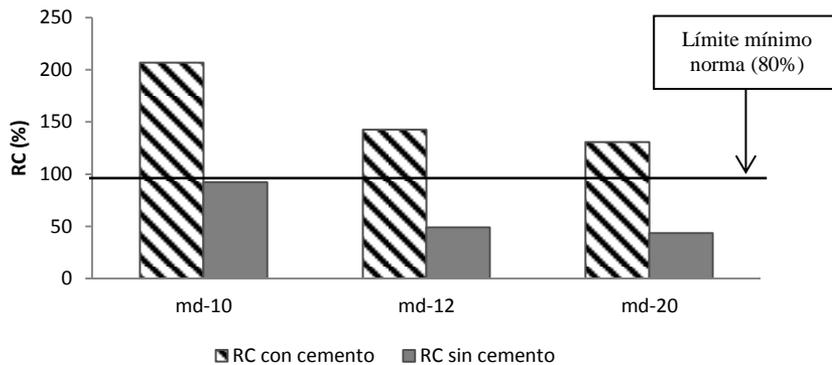


Figura 8. Resistencia conservada IDU.

De las Figura 9 y Figura 10, Mr de las curvas granulométricas del INVIAS en estado seco y húmedo, se puede observar que las probetas fabricadas con adición de cemento en estado húmedo presentan los mayores valores y a su vez que sin importar la frecuencia sus magnitudes son similares e iguales a 4500 Mpa para 20 Hz y 900 MPa para 0,33 Hz. Estos incrementos de valor se pueden deber a la reacción del cemento con el agua, favoreciendo posiblemente la resistencia en climas de condiciones de humedad alta o lluviosidad media o elevada. Así mismo, las muestras sin cemento presentaron valores de módulos muy bajos y cercanos a 750 Mpa para 20 Hz y 140 MPa para 0,33Hz, lo cual demuestra que no existe buena rigidez dentro de la mezcla ni adhesión y cohesión. En cuanto al tipo de granulometría, se observa que la MDC-1 tiene el mayor valor sin importar la frecuencia, siendo coherente con la resistencia encontrada en los ensayos de RTI.

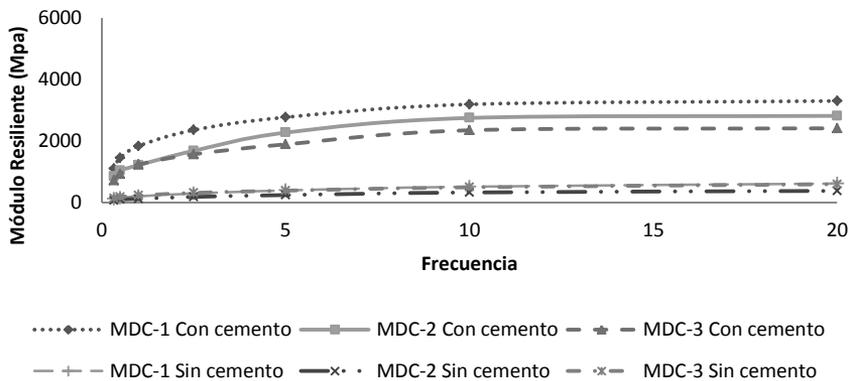


Figura 9. Módulo resiliente INVIAS en estado seco.

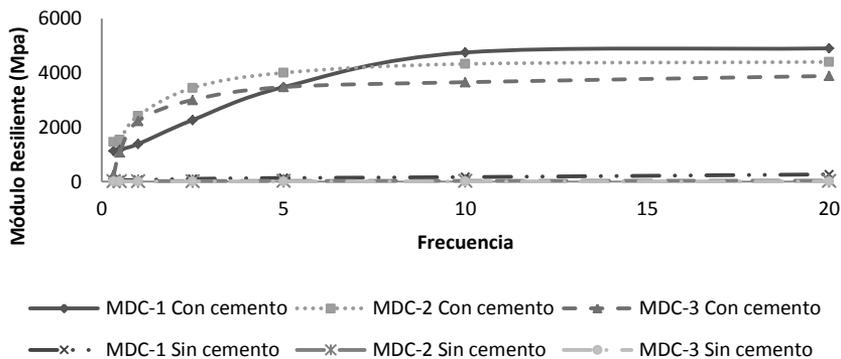


Figura 10. Módulo resiliente INVIAS en estado húmedo.

De las Figura 11 y Figura 12, Mr de las curvas granulométricas del IDU en estado seco y húmedo, se puede observar el mismo comportamiento de las mezclas del INVIAS donde las probetas fabricadas con adición de cemento en estado húmedo presentan los mayores valores cercanos a 4500 Mpa para 20 Hz y 900 MPa para 0,33 Hz, debido a la reacción del cemento con el agua. Por otro lado, las muestras en estado seco sin importar la frecuencia sus magnitudes son similares e iguales a a 2100 Mpa para 20 Hz y 700 MPa para 0,33Hz, lo cual no sobresale ningún tipo de granulometría. En cuanto al tipo de granulometría, se observa que la md-12 tiene el mayor valor de módulo resiliente sin importar la frecuencia y cuya magnitud es de 5200 MPa para 20 Hz y 1200 MPa para 0,33 Hz.

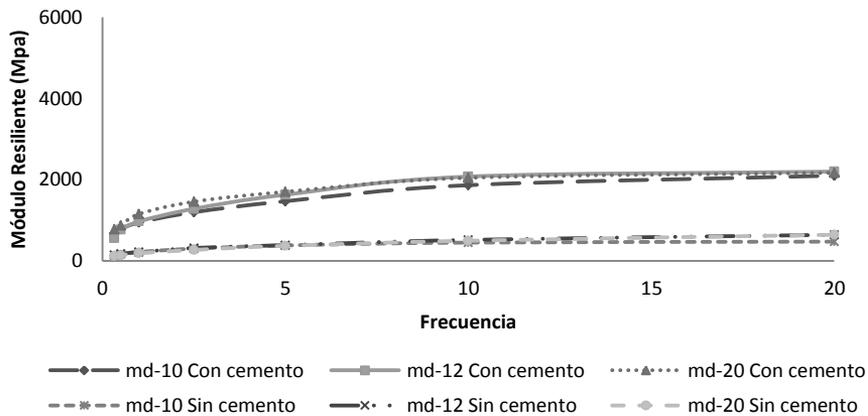


Figura 11. Módulo resiliente IDU en estado seco.

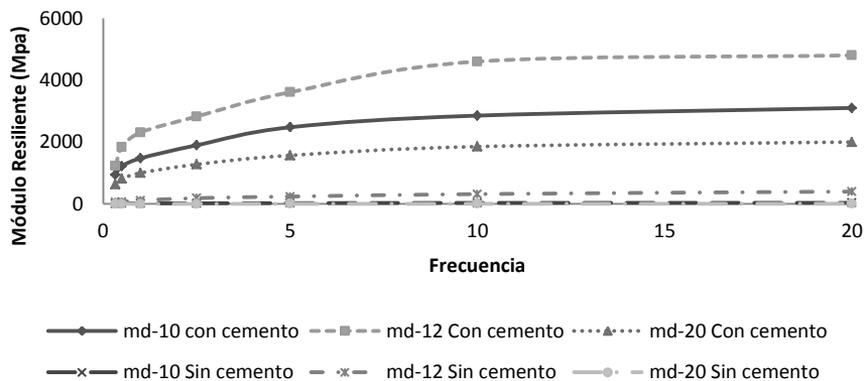


Figura 12. Módulo resiliente IDU en estado húmedo.

Los resultados del ensayo UCL a diferentes temperaturas, muestran de forma indirecta la cohesión y adhesión de las mezclas asfálticas, siendo el porcentaje de desgaste el indicador. A mayor desgaste, menor cohesión y adhesión [11]. De la Figura 12, UCL con cemento de las mezclas del IDU, se pudo evidenciar que las muestras con cemento a mayores temperaturas reflejan un leve incremento del 15% de cohesión y adhesión a partir de los porcentajes de desgaste, sobresaliendo que la de mejor comportamiento es la mezcla md-20. Estos incrementos, se pueden deber a que el cemento reacciona con el agua, y crea mayor unión en sus partículas, dando como resultado mayor cohesión y adhesión. El peor comportamiento se evidenció para la mezcla md-10 llegando a un porcentaje de desgaste del 80%.

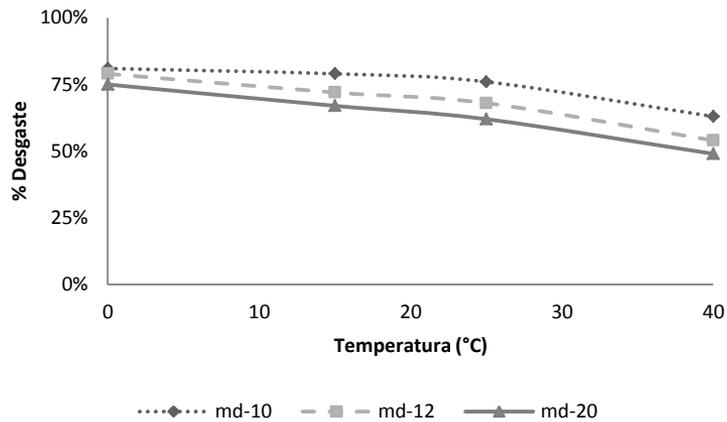


Figura 13. UCL IDU con cemento.

De la Figura 14, UCL sin cemento de las mezclas del IDU, se puede observar que las muestras sin cemento a mayor temperatura pierden cohesión y adhesión a partir de los valores de porcentajes de desgaste, decreciendo en un rango entre 20 al 30%. Estos resultados muestran que a temperaturas entre el 10°C y 40°C, la cohesión y adhesión indirectamente medida es muy baja.

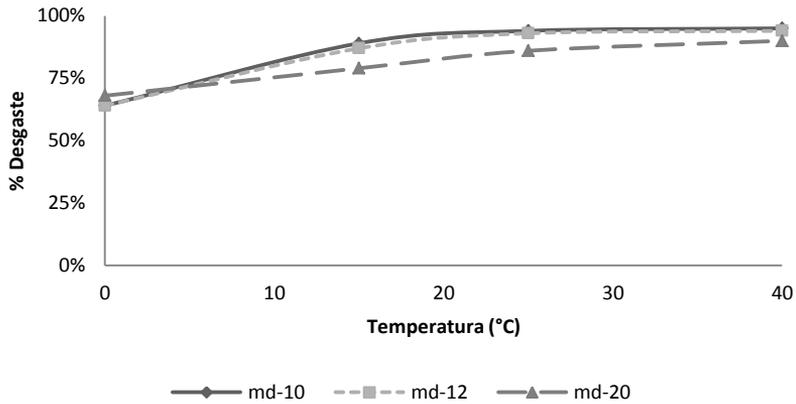


Figura 14. UCL IDU sin cemento.

De la Figura 15, UCL con cemento de las mezclas del INVIAS, se observa un comportamiento en tres etapas, inicialmente a bajas temperaturas, el porcentaje de desgaste de las muestras es alto, llegando a valores del 70%; seguidamente a temperaturas medias (25 a 30°C), las muestras tienen una alta resistencia al desgaste y finalmente a altas temperaturas vuelven a tener un leve desgaste. Este tipo de conducta se puede a que la distribución en la granulometría sobresale los agregados finos, el cual al adicionar cemento las partículas se unen rápidamente, aumentando así su resistencia, adhesión y cohesión.

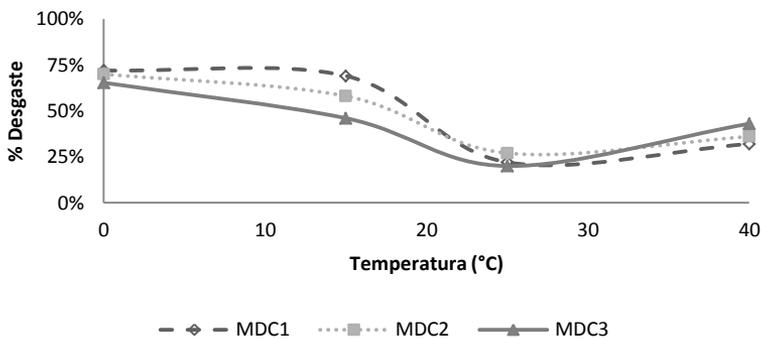


Figura 15. UCL INVIAS con cemento.

De la Figura 16, UCL sin cemento de las mezclas del INVIAS, se evidencio que a medida que aumenta la temperatura las muestras presentan una destrucción cercana al 100%, reflejando el mismo comportamiento de las mezclas del IDU, donde las muestras pierden cohesión y adhesión debido a la falta de unión de las partículas.

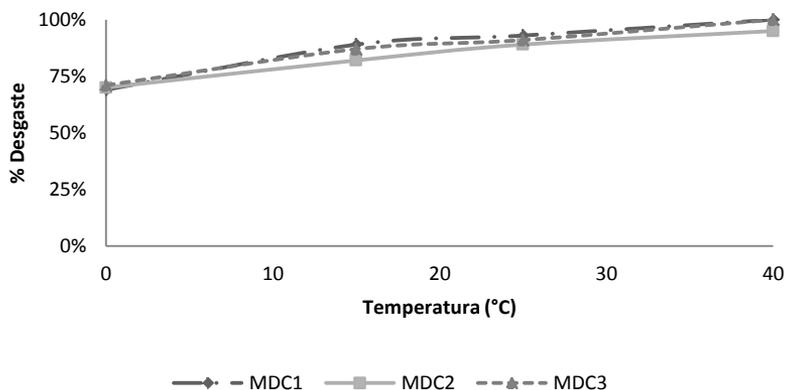


Figura 16. UCL INVIAS sin cemento.

4. Conclusiones y recomendaciones

Del análisis y resultados de los ensayos realizados de RTI en estado seco y húmedo, Mr, RC y UCL, se puede concluir que:

Las mezclas asfálticas frías sin adicionarles ningún tipo de aditivo (cemento), tanto en las mezclas del IDU como INVIAS, presentan resistencias muy bajas, en RTI, MR y RC, mas aún, los parámetros mínimos establecidos en la norma no se cumplen.

Al adicionar cemento pasa tamiz 200, tanto en las mezclas del IDU como INVIAS, se observa que existe un incremento de 100% para RTI, del 60% para MR y del 80% RC, evidenciando que al adicionar cemento en esos porcentajes incrementa considerablemente las propiedades de las mezclas haciendo que cumplan la normativa establecida y que su uso sea viable en la construcción de vías de tráfico bajos y medios.

A partir de los resultados, es viable utilizar mezclas asfálticas frías en vías de tráfico medio y bajo, ya que, al adicionarle cemento se encontró que aumenta las propiedades mecánicas, generando así un mejor comportamiento en las capas de pavimento.

Con base en los resultados de UCL, se evidencia que existe un comportamiento más favorable de las mezclas en adhesión y cohesión con la adición de cemento. Así mismo, se observa que a temperaturas bajas, las mezclas tienen una mejor resistencia al desgaste, lo cual se recomienda utilizar las mezclas asfálticas frías en climas de baja temperatura donde se garantice un mejor comportamiento del pavimento.

En cuanto a las mezclas granulométricas, las que obtuvieron un mejor comportamiento fueron md-12 y MDC-1 del IDU e INVIAS respectivamente, reflejando altos valores en RTI y Mr, tanto en estado seco como en húmedo. Evidenciando que son las granulometrías que tienen una mejor distribución de agregados mejorando las resistencias de las mezclas.

Adicionalmente, se resalta que las muestras sin cemento al entrar en estado húmedo, se presentaron fisuras o deterioros que no eran propios de un material para esos niveles de esfuerzo, ello indica que las muestras no tuvieron la cohesión suficiente, lo cual se generaron dichos inconvenientes.

Por último, faltan estudios en cuanto a fatiga y deformación plástica, de tal manera que refleje el comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas frías y así establecer un porcentaje óptimo de adición de cemento que confirme la viabilidad de las mezclas en vías de tráfico medio y bajo.

5. Referencias

- [1] E. Moreno, «Microemulsiones: Aplicación para el reciclado en frío,» *XVI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*, Noviembre 2011.
- [2] M. C. Victoria, «Bioemulsiones Bituminosas,» *XVI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*, Noviembre 2011.
- [3] M. J. Acuña, «Mezclas Asfálticas en Frío en Costa Rica, Conceptos ensayos y especificaciones,» *Revista Infraestructura Vial*, vol. 21, Febrero 2009.

- [4] J. Nebreda, «Mezclas bituminosas en frío,» *Asociación técnica de emulsiones bituminosas*.
- [5] A. M. y. L. Bernucci, «Avaliação Do Período De Cura Em Misturas Usinadas A Frio Com Emulsão,» *XVI Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*, Noviembre 2011.
- [6] S. O. y. M. Veka, «Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures,» *Journal of Materials Engineering and Performance*, Septiembre 2006.
- [7] G. L. y. Y. Zhao, «Experimental Study Of Cement-Asphalt Emulsion Composite.,» *Department of Mechanical Engineering, Louisiana State University*, Marzo 1998.
- [8] H. Nageim y S. Falih, «A comparative study for improving the mechanical properties of cold bituminous emulsion mixtures with cement and waste materials,» *Construction and Building Materials*, vol. 36, pp. 743-748.
- [9] Y. Niazi y M. Jalili, «Effect of Portland cement and lime additives on properties of cold in-place recycled mixtures with asphalt emulsion.,» *Construction and Building Materials*, vol. 23, 2009.
- [10] A. Kavussi y A. Modarres, «Laboratory fatigue models for recycled mixes with bitumen emulsion and cement,» *Construction and Building Materials*, vol. 2010, pp. 1920-1927, 2010.
- [11] H. Bianchetto y R. Miró, «Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente: beneficios y limitaciones de la incorporación de fílleres comerciales. Primera parte: estudios en base al método UCL.,» *Infraestructura Vial*, vol. 17, Febrero 2007.
- [12] L. Chavez y E. Alonso, «Improving the compressive strengths of cold-mix asphalt using asphalt emulsion modified by polyvinyl acetate.,» *Facultad Ingeniería Civil, Universidad de San Nicolás de Hidalgo*, Enero 2006.
- [13] M. Martinez y R. Miró, «In laboratory compaction procedure for cold recycled mixes with bituminous emulsions,» *In laboratory compaction procedure for cold recycled mixes with bituminous emulsions*, vol. 36, pp. 918-924, *Construction and Building Materials*.