

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO COMO AGREGADO RESIDUOS PRODUCTO DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Study of the behavior of asphalt mixtures using construction and demolition waste as aggregate

Corredor C., Carlos Andrés

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,

ccorredorcastellanos gmail.com

Especialista en derechos de Autor, Propiedad industrial y Nuevas Tecnologías

Resumen

Esta investigación consiste en evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente reemplazando un porcentaje del agregado grueso por residuos de construcción y demolición empleando el método Marshall y cumpliendo con lo dispuesto en las especificaciones generales de construcción de carreteras del *INVIAS*. Para el diseño de mezcla se plantean las siguientes fórmulas de sustitución: Convencional: se elabora con; agregado grueso (grava), material fino (arena) y Cemento asfáltico (asfalto). RCD10%: 90% agregado grueso (grava) y 10% de RCD, material fino (arena) y cemento asfáltico (asfalto). RCD20%: 80% agregado grueso (grava) y 20% de RCD, material fino (arena) y cemento asfáltico (asfalto). RCD30%: 70% agregado grueso (grava) y 30% de RCD, material fino (arena) y cemento asfáltico (asfalto). Con lo anterior, se busca definir las propiedades mecánicas y de desempeño para luego, analizar y comparar el comportamiento de cada mezcla y de esta forma, determinar la conveniencia o no utilizar *RCD* como sustituto del agregado grueso en las mezclas asfálticas.

Palabras clave: Asfalto, Agregados, Diseño, Mezcla, Residuos de construcción y demolición, Desempeño.

Abstract

This research consists of evaluating the behavior of a hot asphalt mixture by replacing a percentage of the coarse aggregate with construction and demolition waste using the Marshall method and complying with the provisions of the *INVIAS* general road construction specifications. For the mix design, the following substitution formulas are proposed:

Conventional: it is made with; coarse aggregate (gravel), fine material (sand) and Asphalt cement (asphalt). RCD10%: 90% coarse aggregate (gravel) and 10% RCD, fine material (sand) and asphalt cement (asphalt). RCD20%: 80% coarse aggregate (gravel) and 20% RCD, fine material (sand) and asphalt cement (asphalt). RCD30%: 70% coarse aggregate (gravel) and 30% RCD, fine material (sand) and asphalt cement (asphalt). With the above, we seek to define the mechanical and performance properties and then analyze and compare the behavior of each mixture and in this way, determine the convenience or not of using *RCD* as a substitute for coarse aggregate in asphalt mixtures.

Keywords: Asphalt, Aggregates, Design, Mixture, Construction and demolition waste, Performance.

Para citar este artículo: CORREDOR C. Carlos Andrés. "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO COMO AGREGADO RESIDUOS PRODUCTO DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN" In *L'Esprit Ingenieur*. Vol. 16-1, p.p X-X.

1. Introducción

El auge urbanístico trae consigo un incremento en el sector de la construcción, generando un impacto negativo al medio ambiente a raíz de la producción de grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición (*RCD*), los cuales no cuentan con un sitio en donde se pueda realizar una disposición final técnica adecuada, que permita un manejo óptimo de este tipo de residuos. Así las cosas, surge la siguiente pregunta ¿se podría emplear *RCD* para sustituir parcial o totalmente los agregados gruesos dentro de las mezclas asfálticas en caliente?

Con el desarrollo de la presente investigación se desarrolla un análisis y trabajo experimental a nivel de laboratorio en donde se evalúa la sustitución parcial del agregado grueso de origen natural por residuos de construcción y demolición (*RCD*) como subproducto para la fabricación de mezclas asfálticas que cumplan con los parámetros establecidos por el instituto nacional de vías *INVIAS* en sus especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayos para materiales de carreteras del año 2022, aportando significativamente al desarrollo de la red vial nacional, con una propuesta que permita disminuir los costos de producción y que a la vez, generen un impacto ambiental positivo al dar un uso alternativo a los *RCD*.

2. Metodología

2.1 Marco conceptual

Este proyecto de investigación busca presentar una alternativa que aporte al cumpliendo con lo dispuesto en la normativa ambiental colombiana dando un uso alternativo a los *RCD*, dado que esta investigación está dirigida hacia el aprovechamiento mediante el reciclaje de este tipo de residuos para emplearlo como subproducto a partir del reemplazo parcial de los agregados gruesos de origen natural en mezclas asfálticas.

Mezclas asfálticas en caliente: son la combinación de áridos de tamaños máximos $\frac{3}{4}$ " (incluido el polvo mineral) con un material ligante y se emplean para la conformación de la superficie o capa de rodadura la cual debe garantizar las siguientes características:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes del intemperismo.
- Tener textura adecuada para el rodamiento con una fricción apropiada para evitar el deslizamiento y además resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas.
- Ser durable.
- Tener condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- Ser económica.

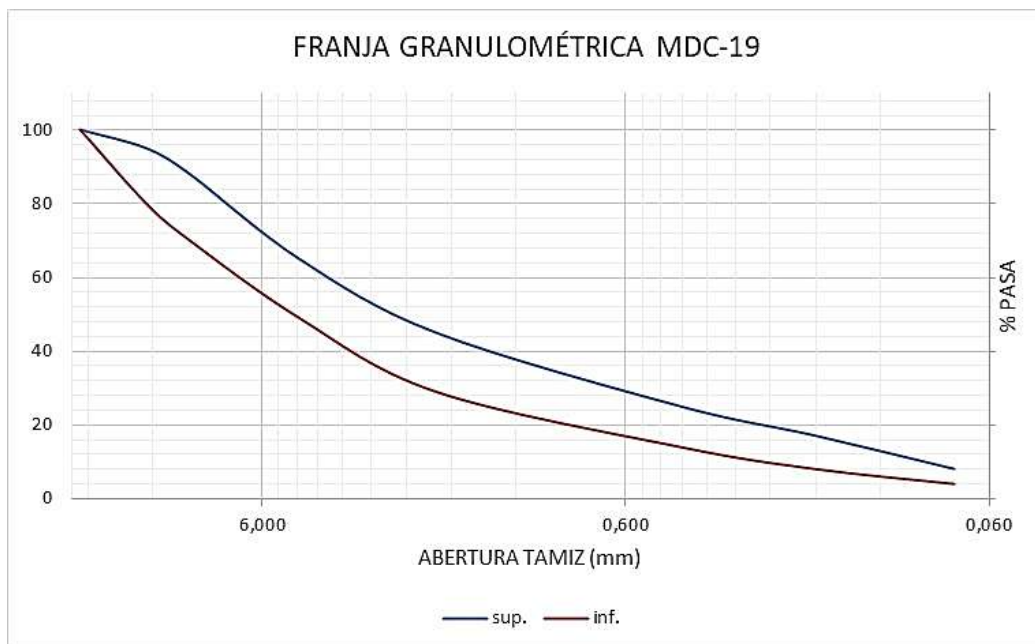
- Debe tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

En Colombia, la mezcla asfáltica en caliente empleada para la ejecución de los proyectos viales debe cumplir con los parámetros establecidos en el capítulo 4 – Pavimentos Asfálticos, Art. 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del *INVIAS*. La mezcla asfáltica que se tomó para la presente investigación es una *MDC-19*.

Cemento asfáltico: el cemento asfáltico es un producto bituminoso semisólido a temperatura ambiente, preparado a partir de hidrocarburos naturales mediante proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno. (*INVIAS*, 2013). Los grados de penetración se conocen frecuentemente como 40-50, 60-70 u 80-100. Para el desarrollo del proceso de la investigación se trabaja como cemento asfáltico 80-100.

Agregados para mezclas asfálticas. conforman la mayor parte del volumen, por lo tanto, es importante evaluar las propiedades físicas y mecánicas teniendo presente los requisitos establecidos en el Art 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 del *INVIAS*, adicionalmente, la granulometría de los agregados debe garantizar un comportamiento mecánico óptimo de la capa al momento de someterla a carga.

Figura 1. Franja granulométrica MDC-19.



Fuente: El autor, a partir datos tabla 450-5 Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Bogotá D.C.: *INVIAS*.

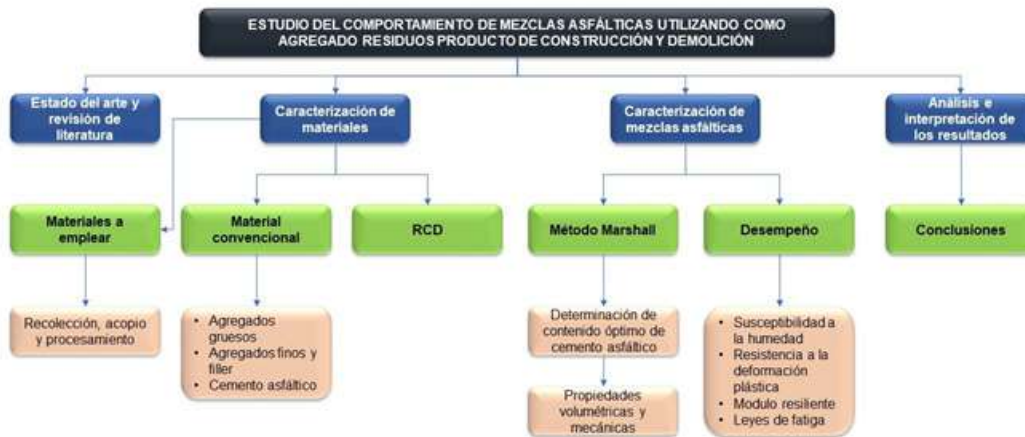
Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Corresponde a todos los residuos sólidos resultantes de las actividades de construcción, reparación o demolición de las

obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas, anteriormente conocidas como escombros. (Castaño, Milse Rodríguez, Lasso, Gómez Cabrera, & Ocampo, 2013).

2.2 Desarrollo experimental

Para el desarrollo experimental del proyecto de investigación se desarrolla la siguiente metodología:

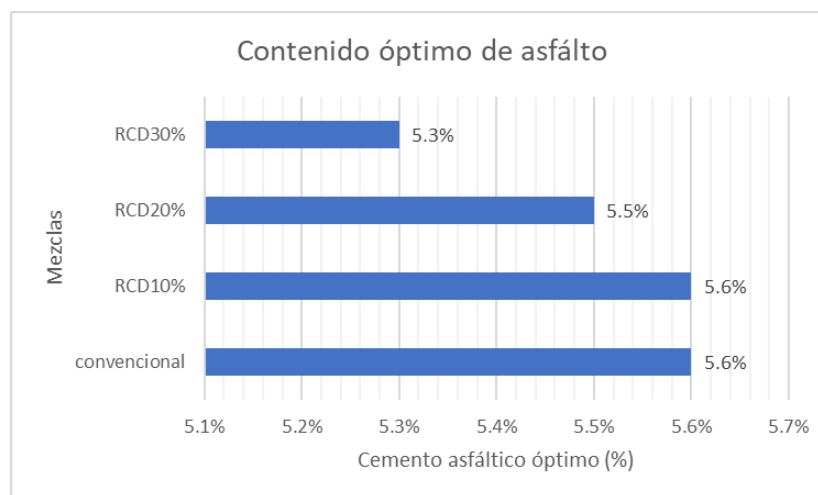
Figura 2. Metodología.



Fuente: El autor.

Porosidad de los RCD. A la mezcla RCD30% no fue posible determinar el porcentaje óptimo de asfalto debido a que el valor de vacíos en los agregados minerales (VAM) está por fuera de la franja y, por lo tanto, es el único parámetro que no cumple y se realiza el análisis para el resto de los parámetros obteniendo un valor de 5.3% de asfalto, pero la condición de vacíos presente hace que la mezcla no sea tenida en cuenta para la evaluación de desempeño.

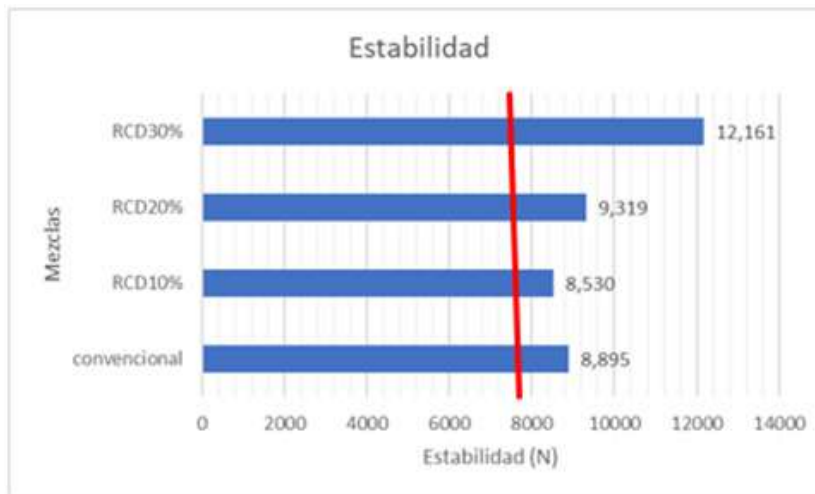
Figura 4. Comparación del contenido óptimo de cemento asfáltico.



Fuente: El autor.

Estabilidad. Este parámetro evalúa la fricción que tienen las partículas de los agregados y la cohesión interna aportada por el ligante o cemento asfáltico. Para el caso de las mezclas en estudio, al reemplazar los agregados gruesos por el 10% de RCD, no se presenta una variación significativa de la estabilidad, pero con la adición de RCD20% y RCD30%, se presenta un incremento de este parámetro con relación a la muestra convencional. Se recuerda que la mezcla RCD30% no cumple las especificaciones del INVIAS, pero, sin embargo, se le realiza análisis comparativo para efectos de la presente investigación

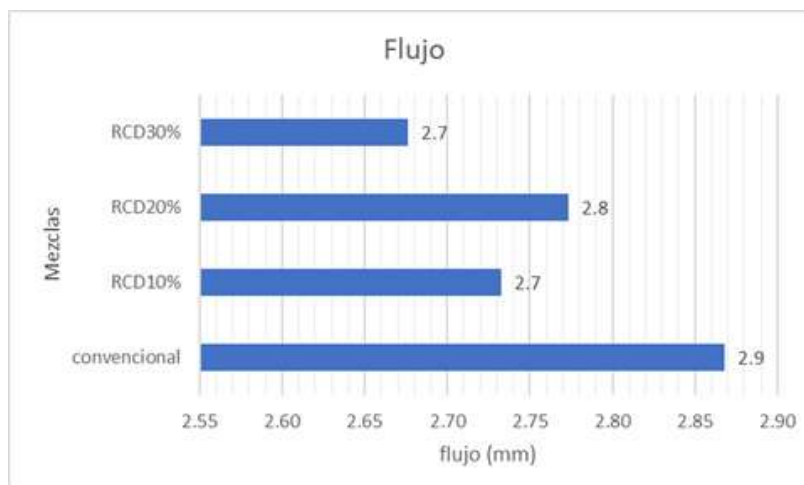
Figura 5. Comparación parámetro de estabilidad de las mezclas.



Fuente: El autor.

Flujo. El flujo muestra la deformación del concreto asfáltico bajo la acción de una carga. Al realizar una comparación de los resultados obtenidos para las mezclas, se puede apreciar que en las mezclas al aumentar la proporción de RCD incrementan el parámetro de flujo y es concordante con el parámetro estabilidad, lo que significa que las mezclas tienen un comportamiento mecánico bueno, ya que al tener una tendencia similar el flujo con la estabilidad se puede garantizar que la mezcla presente daños por comportamiento plástico.

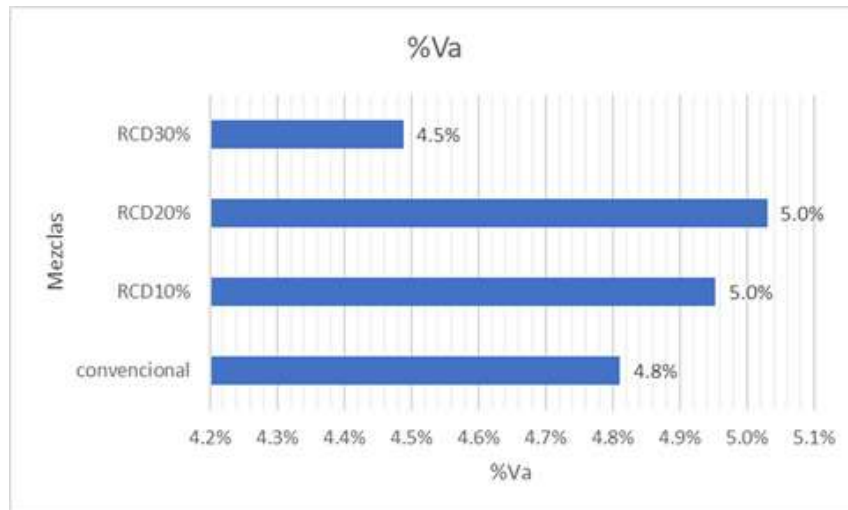
Figura 6. Comparación parámetro flujo de las mezclas.



Fuente: El autor.

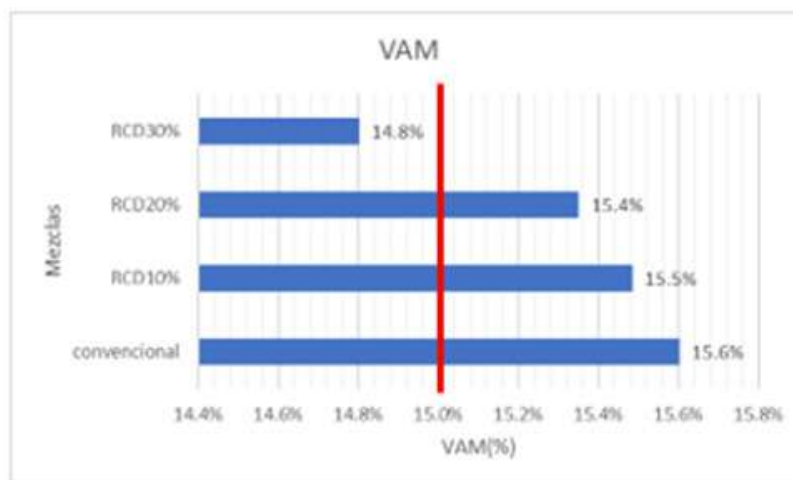
Vacíos con aire (%Va). Son espacios pequeños de aire los cuales se encuentran dentro de los agregados revestidos de mezcla asfáltica compactada, por medio de este parámetro se determina la durabilidad de la capa asfáltica de rodadura ya que está relacionada con la permeabilidad de la mezcla. Con relación a los vacíos con aire en el agregado mineral, se mantiene una tendencia similar en las mezclas *CONVEN-CIONAL*, *RCD10%* Y *RCD20%*, a excepción de la mezcla *RCD30%* la cual como se ha expuesto anteriormente, no cumple con la totalidad de parámetros establecidos por las especificaciones *INVIAS*.

Figura 7. Comparación parámetro vacíos con aire (%Va).



Fuente: El autor.

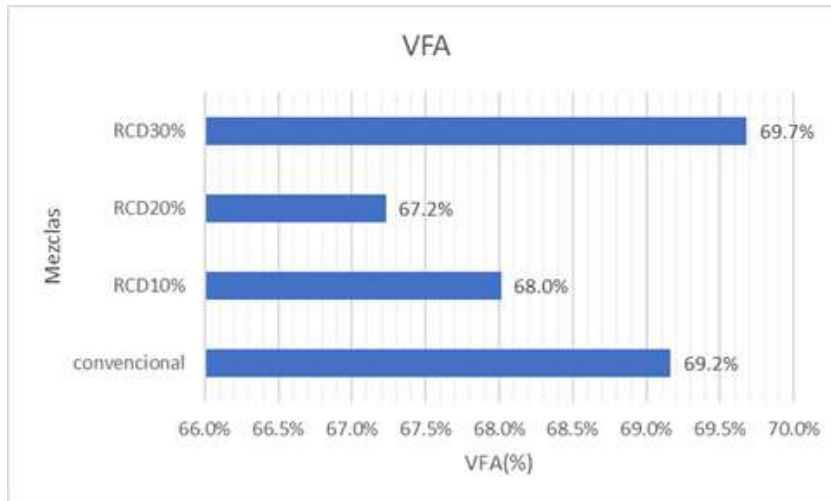
Vacíos en el agregado mineral (VAM). El *VAM* corresponde a los espacios de aire que se presentan en las partículas de los agregados en la mezcla asfáltica compactada. Para el caso de las muestras en estudio se ha mencionado que al reemplazar los agregados convencionales por *RCD*, los vacíos de asfalto aumentan debido a la poca adherencia que el ligante asfáltico tiene con algunas partículas del *RCD*. Por lo anterior, se presenta una disminución en los vacíos presentes cuando se adiciona *RCD10%*, *RCD20%* y *RCD30%*.



Fuente: El autor.

Vacíos llenos de asfalto (*VFA*). Este parámetro hace referencia al porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregados que se encuentran llenos de cemento asfáltico. Para el caso de las mezclas evaluadas, se evidencia los vacíos llenos de asfalto disminuyen a medida que aumenta la proporción de *RCD* en la mezcla, lo cual es concordante con el comportamiento que muestran los valores de *VAM* para las mezclas en estudio.

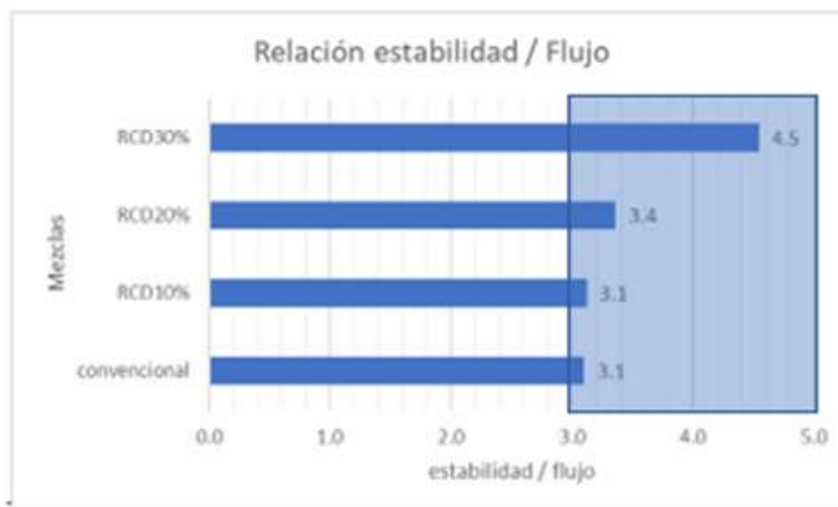
Figura 8. Comparación del parámetro vacíos llenos de asfalto (*VFA*).



Fuente: El autor.

Relación estabilidad / flujo. Con este parámetro se mide la rigidez de la mezcla. como se aprecia en los resultados obtenidos para las diferentes fórmulas de mezclas evaluadas, los valores no varían significativamente a excepción de la mezcla *RCD30%* la cual no cumple.

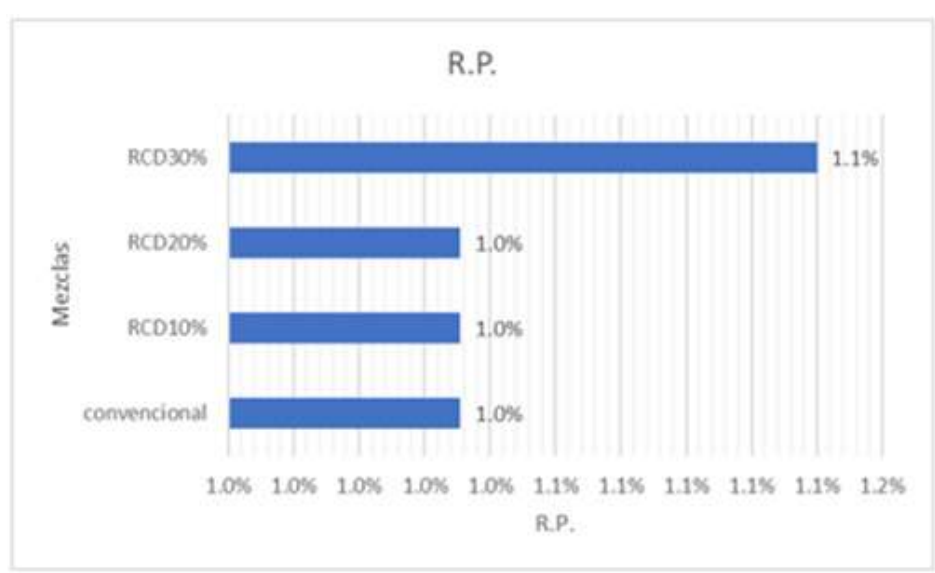
Figura 9. Comparación de la relación estabilidad/flujo de las mezclas.



Fuente: El autor.

Relación llenante/ligante. Este parámetro establece la relación entre la fracción de material que pasa por el tamiz 200 y la película de cemento asfáltico que rodea los agregados (asfalto efectivo), la cual reduce los espacios vacíos en el concreto asfáltico. Para el caso de las mezclas en estudio no se presentó variación al incorporar RCD. El valor dado para la muestra RCD30% no se tiene en cuenta para la evaluación.

Figura 10. Comparación relación llenante / ligante de las mezclas.



Fuente: El autor.

3.3. Pruebas de desempeño

Susceptibilidad a la humedad. De acuerdo con lo establecido en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022 del Instituto Nacional de Vías *INVIAS* en el artículo 450-13 se tiene que las mezclas en estudio cumplen ya que superan el 80%, lo cual garantiza que el daño por humedad no afecta el comportamiento de la mezcla.

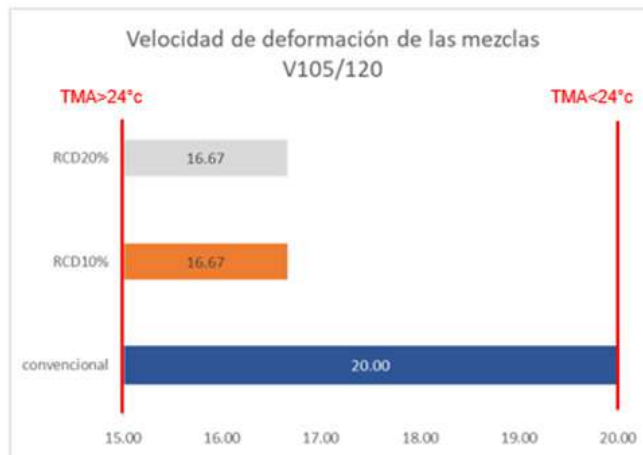
Figura 11. Resultados resistencia a la tracción (*RRT*) de las mezclas asfálticas.



Fuente: El autor.

Susceptibilidad a la deformación permanente. La muestra *CONVENCIONAL* presenta un valor mayor de deformación al final de la prueba, en comparación con las mezclas *RCD10%* y *RCD20%*, esto se puede asociar a las magnitudes obtenidas en los parámetros *VAM* y vacíos con aire en la mezcla, además, las muestras: convencional, *RCD10%* y *RCD20%* únicamente cumplen con las especificaciones del *INVIAS* en lo correspondiente a velocidad de deformación.

Figura 12. Velocidad de deformación de las mezclas.

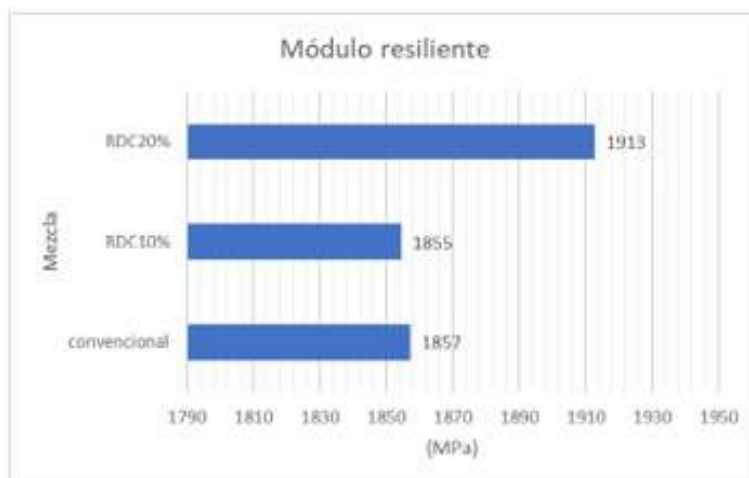


Fuente: El autor.

Módulo resiliente. Para el caso de los resultados obtenidos de las mezclas en estudio se tiene que las mezclas *CONVENCIONAL* y *RCD10%* mantienen un valor similar de modulo resiliente, mientras que la mezcla *RCD20%* posee un módulo resiliente mayor.

Esto se puede asociar a que la mezcla *RCD20%* posee un menor valor de vacíos llenos de asfalto lo que hace que posea menos contenido de cemento asfáltico. Por lo tanto, al poseer mayor contenido de cemento asfáltico las mezclas *CONVENCIONAL* y *RCD10%* el aumenta la susceptibilidad de éstas a la acción de la temperatura.

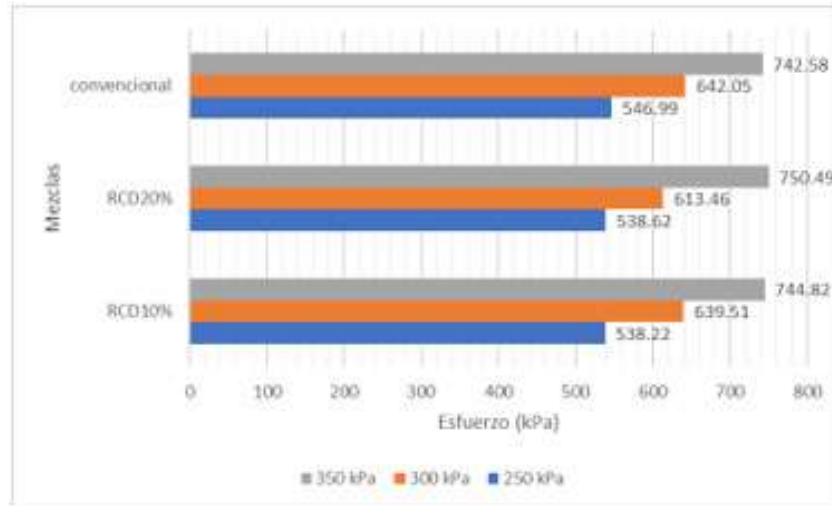
Figura 13. Módulo resiliente de las mezclas.



Fuente: El autor.

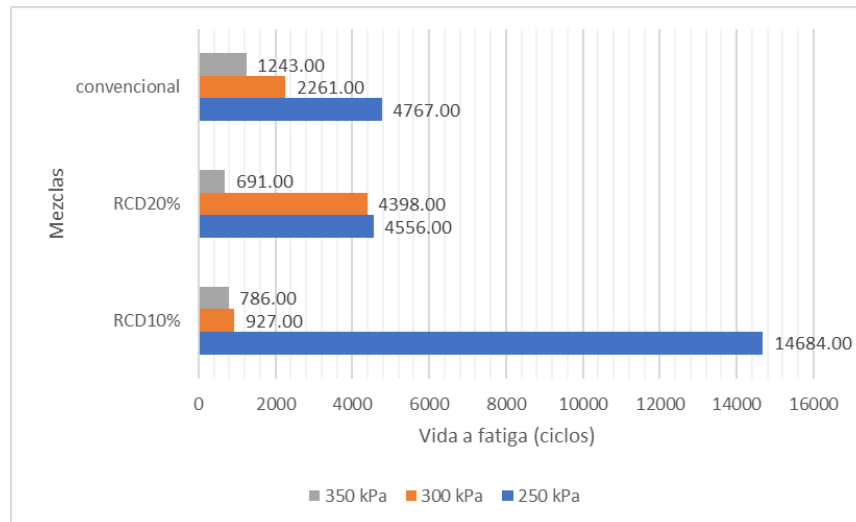
Resistencia a la fatiga. La mezcla RCD20% presenta el mayor valor de esfuerzo bajo ciclos de carga de 350kPa, esto se debe a que al poder tener un mayor contenido de cemento asfáltico aumenta la elasticidad de la mezcla dándole mayor capacidad para soportar los ciclos de carga. Para los otros ciclos de carga (300kPa y 250kPa) la muestra CONVENCIONAL posee los mayores valores de esfuerzo, este comportamiento se debe a que las características de textura y angularidad de los agregados naturales en la mezcla convencional permitan una mejor adherencia con el cemento asfáltico.

Figura 14. Esfuerzos máximos antes de la falla para las mezclas en estudio.



Fuente: El autor.

Figura 15. Vida a fatiga a diferentes esfuerzos para las mezclas en estudio.



Fuente: El autor.

4. Conclusiones

Para el presente proyecto se evaluaron cuatro tipos de mezclas las cuales se denominaron de la siguiente manera: *CONVENCIONAL*, *RCD10%*, *RCD20%* y *RCD30%*. Los concretos asfálticos fueron diseñados empleando la metodología Marshall por medio de las cual, se obtuvieron las fórmulas de trabajo que fueron analizadas frente a sus propiedades físicas y mecánicas.

Con los resultados de cada una de las mezclas se obtiene la sustitución óptima de agregados y se procede a realizar el análisis de las propiedades de desempeño para las mezclas que cumplieron todos los requisitos de las especificaciones *INVIAS* las cuales fueron: *CONVENCIONAL*, *RCD10%* y *RCD20*, descartando la mezcla *RCD30%*, dentro de los datos más relevantes con relación al desempeño de las mezclas se tiene que de acuerdo con los resultados de deformación plástica las mezclas en estudio no son recomendables para temperaturas medias anuales mayores a 24°C al utilizar asfalto (80-100), por otra parte, la muestra *CONVENCIONAL* posee mayor resistencia a la fatiga para ciclos de carga 300kPa y 250kPa ocasionado por las características físicas y mecánicas de los agregados pétreos naturales que permiten una mejor adherencia con el cemento asfáltico. En el caso del ciclo de carga 350kPa la mezcla que obtuvo un mayor valor de resistencia a la fatiga es la *RCD20%*, esto es causado por la mayor cantidad de cemento asfáltico que esta mezcla posee, lo cual, le permite mejorar su elasticidad aumentando la capacidad de soporte a los ciclos de carga

Además, la materialización de este proyecto de investigación dentro de futuros proyectos de infraestructura vial aporta al cumplimiento de la normativa ambiental nacional para la gestión integral

de residuos de construcción y demolición *RCD*, adicionalmente, se presenta como una alternativa para dar un manejo adecuado y disposición final disminuyendo el impacto negativo que este tipo de residuos ocasionan al medio ambiente.

Agradecimiento

A todas las personas que participaron durante el proceso de formación e hicieron posible desarrollo de este proyecto:

Ph. D. Ricardo Ochoa Díaz, director del proyecto.

Ing. Manuel Sierra, Coordinador laboratorio de pavimentos, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

A quienes participaron en la fase de desarrollo del proyecto de investigación:

Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia –Facultad de Ingeniería– Escuela de posgrados de Ingeniería.

Referencias

Abascal, J. D. (22 de enero de 2018). <https://www.elmundo.es>. Obtenido de <https://www.elmundo.es/economia/2018/01/16/5a5de0e4e5fdeaad3c8b45e5.html>

Acosta, D., Moll, R., & González, G. (2017). Influencia de la utilización del RCD como árido en mezclas asfálticas en caliente. *Revista de ingeniería y arquitectura*, 8.

Arisha, A., Garb, A., El-Badawy, S., & Shwally, S. (2016). Using blend of construction & demolition waste materials and recycled clay masonry brick in pavement. *Procedia Engineering*, 8.

Bastidas, J., Rondón, H., Contreras, L., & Rojas, L. (2012). Evaluación de una mezcla de concreto asfáltico con incorpo-

- ración de agregados reciclados de concreto. *Revista UIS Ingeniería*, 8.
- Castañó, J., Milse Rodríguez, R., Lasso, L. A., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. (2013). *Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes*. Tecnura, 9.
- Castro Medina, C., & Sabogal Meléndez, D. F. (2020). *Sistema de calificación de sostenibilidad ambiental de pavimentos rígidos y flexibles con inclusión de materiales reciclados*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Delongui, L., Matuella, M., Pérez Nuñez, W., Fedrigo, W., Pinto da Silva Filho, L. C., & Pereira Ceratti, J. A. (2018). *Construction and demolition waste parameters for rational pavement*. *Construction and building materials*, 8.
- Dussán Navarro, E., & Flautero Valencia, F. (2005). *Automatización de ensayos dinámicos del laboratorio de pavimentos en el equipo N.A.T. (Nottingham Asphalt Tester) de la Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Espino, C., Lara, C., I, T., Tafla, E., & Nuñez, A. (2019). *Elaboración de mezclas asfálticas con adición de residuos de construcción y demolición (concreto hidráulico en un 10% y 20% como sustitución del agregado pétreo tradicional)*. Chiapas: Conpac.
- Figueroa Infante, A. S., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica a partir del ensayo MIST y del programa iPAS 2D*. *Revista de Infraestructura Vial*, 9.
- Figueroa Infante, A. S., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica a partir del ensayo MIST y del programa iPAS 2D*. *Revista de infraestructura vial*, 9.
- FonsecaTovar, L. A., & Sanchez Lozano, M. A. (2019). *Evaluación del comportamiento e residuos de construcción y demolición como base granular en la construcción de pavimentos*. Girardot: Universidad Piloto de Colombia.
- Gómez Campillo, C. A. (2018). *Estudio de una mezcla asfáltica MDC-19 modificada con adición de prolipropileno de baja densidad (PBD) por vía seca*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Higuera Sandoval, C. H. (2010). *Noiones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras*. Tunja: UPTC.
- Higuera Sandoval, C. H., Aranda López, J. E., & Prieto Hernández, J. A. (2014). *Caracterización de mezclas semidensas con agregados de la región de Tunja*. *Revista facultad de ingeniería*, 13.
- ICONTEC. (2022). *NTC 1486 - Documentación. presentación de trabajos académicos y referencias bibliográficas*. Bogotá: ICONTEC.
- INVIAS, I. N. (2013). *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Bogotá, D.C.: Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- INVIAS, I. N. (2022). *Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- Jiménez Montero, E. C., & García Torres, H. M. (2016). *Aprovechamiento de los RCD en proyectos de construcción y conservación de pavimentos urbanos*. Bogotá: Universidad Católica.
- Kumar, R. (2017). *Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (CDW)*

on abrasion resistance of pavement concrete. *Construction and building materials*, 8.

Leite, F., Motta, R., Vasconcelos, K. L., & Bernucci, L. (2011). Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials*, 8.

Martínez, J., & Castro, R. (2017). Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Mejia, E., Tobón, J., Osorno, L., & Osorio, W. (2015). Mineralogical characterization of urban construction and demolition waste: potential use as a nutrient source for degraded soils. *WTI Transactions on Ecology and the Environment*, 15.

Mena León, C. (2008). Medición de módulos resilientes en mezclas asfálticas con asfaltos modificados grado PG-76 y PG-82. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Múnera Miranda, J. C. & Aguilar Moya, J. P. (2019). Estimación del módulo resiliente para materiales granulares de Costa Rica. *Infraestructura vial*, 9.

Ochoa Díaz, R. (2019). Estudio del comportamiento de concreto asfáltico con residuos siderúrgicos como agregados. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Ossa, A., García, J., & Botero, E. (2016). Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: a sustainable alternative for the pavement construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 8.

Patiño Boyacá, N. B., Reyes Ortiz, O. J., & Camacho Tauta, J. F. (2015). Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas colombianas con adición de pavimento reciclado al 100%. *Tecnura*, 10.

Remolina Durán, J. G. (2018). Determinación de parámetros físico-mecánicos y de durabilidad en concreto reciclado con residuos de construcción y demolición (RCD). Barranquilla: Universidad de la costa.

Sierra, N. (2020). Residuos de construcción y demolición (RCD), construcción en la ciudad de Bogotá y la metodología *PMBPOK*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Thongkamsuk, P., Sudasna, K., & Tondsee, T. (2017). Waste generated in high-rise building construction: a current situation in Thailand. *ScienceDirect*, 6.

Tórres, R., Flores, P., Flores, M., Flores, V. & Mairon, K. (2014). Mezclas asfálticas con material reciclado de construcción y demolición para la reparación de pavimentos. *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I*, 6.

Trujillo Vargas, K. L. & Quintero Vargas, A. P. (2021). Análisis del manejo de residuos de construcción y demolición RCD sostenibilidad en la construcción en Bogotá, D.C. Bogotá: Universidad de la Salle.

Valenzuela Amores, C. J. (2016). Compendio de ensayos de caracterización de materiales para diseño de pavimentos. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Villafuerte Pérez, D. (2018). Diseño de mezclas asfálticas elaboradas con concreto asfáltico reciclado (*RAP*) y agentes rejuvenecedores. Ciudad de México: Universidad Autónoma de México.