Análisis de impactos ambientales y soluciones sostenibles en la fabricación de mezclas asfálticas en el proyecto de ampliación de la autopista norte

Laura Valentina Mojica Rojas, [1]

Anderson Casallas Rincón, [2]

Especialización en Gerencia, Facultad de ciencias económicas

Universidad La Gran Colombia

Bogotá D.C.

2024

1. Especialización en gerencia – lmojicar@ulagrancolombia.edu.co

2. Especialización en gerencia – acasallasr@ulagrancolombia.edu.co

RESUMEN

El proceso de fabricación de mezclas asfálticas es crucial para el desarrollo de infraestructuras, presenta desafíos ambientales, técnicos y de calidad que deben abordarse de manera integral para lograr la sostenibilidad en la industria. Uno de los problemas primordiales radica en la elevada contaminación ambiental generada durante la fabricación, contribuyendo a una preocupante huella ecológica con impactos adversos en cuanto a la salud pública y la calidad del aire. Este problema se agrava debido a la explotación excesiva de canteras por la elevada demanda de materias primas en la producción de estas mezclas. La incorporación de aditivos químicos durante el proceso de fabricación es otro desafío significativo, reflejando la limitada adopción de nuevas tecnologías en búsqueda de mejorar la calidad de las mezclas. La baja tasa de reciclaje en la industria de la construcción es otro aspecto alarmante, perpetuando la dependencia de recursos vírgenes y agravando la presión sobre el medio ambiente. Así como emisiones de material particulado, el manejo de sustancias peligrosas y derrames de hidrocarburos. Con el proyecto de ampliación de la Autopista Norte se quiere plantear la necesidad de abordar estos desafíos y proponer soluciones sostenibles en cuanto a la gestión de residuos de demolición y construcción. Sugiriendo la identificación de tecnologías más limpias y eficientes, como la reutilización de plásticos como aditivos en las mezclas asfálticas, para reducir la demanda de recursos naturales y la contaminación.

PALABRAS CLAVE: Mezclas asfálticas, RCD, nuevas tecnologías, contaminación ambiental

ABSTRACT

The asphalt mix manufacturing process is crucial for infrastructure development and presents environmental, technical and quality challenges that must be addressed comprehensively to achieve sustainability in the industry. One of the primary problems lies in the high environmental pollution generated during manufacturing, contributing to a worrying ecological footprint with adverse impacts on air quality and public health. This problem is aggravated by the excessive exploitation of quarries due to the high demand for raw materials in the production of these mixtures. The incorporation of chemical additives during the manufacturing process is another significant challenge, reflecting the limited adoption of new technologies to improve the quality of the mixes. The low recycling rate in the construction industry is another alarming aspect, perpetuating the dependence on virgin resources and aggravating the pressure on the environment. As well as particulate matter emissions, hydrocarbon spills, and the handling of hazardous substances. The Autopista Norte expansion project aims to address these challenges and propose sustainable solutions for the management of demolition and construction waste. It suggests the identification of cleaner and more efficient technologies, such as the reuse of plastics as additives in asphalt mixes, to reduce pollution and the demand for natural resources. It is also proposed to establish rigorous quality standards and promote effective recycling for a more adequate waste management.

KEY WORDS: Asphalt mixes, CDW, new technologies, environmental contamination

La fabricación de mezclas asfálticas ha sido una fuente significativa de preocupación debido a los alarmantes niveles de contaminación ambiental asociados a este proceso. Esta problemática ha desencadenado una serie de efectos negativos que repercuten tanto en los recursos naturales como en la economía y el nivel de vida. Uno de los principales resultados de esta situación es el agotamiento acelerado de los recursos naturales. La permanente requisición de insumos para la elaboración de mezclas asfálticas ha provocado un incremento en los precios de estos recursos, generando un impacto económico significativo. La explotación desmedida de estos recursos está en la raíz de esta problemática, y se ha agravado aún más por la utilización de tecnologías obsoletas en los procesos de mezcla, según Córdoba (2021). "Una estrategia planteada se concentra en la innovación de insumos y métodos para diversificar las opciones de reducir el impacto ambiental. En esta línea, la ingeniería ha explorado la reutilización del plástico como complemento en la composición del asfalto" (Mamani, 2015, p. 2) (Mamani, 2015 como se cita en Córdoba, 2021).

La proliferación de procesos industriales en la producción de mezclas asfálticas ha exacerbado la emisión de contaminantes. Los niveles elevados de contaminación atmosférica son una consecuencia directa de estos procesos industriales inadecuados, lo que a su vez agrava el daño ambiental, según Córdoba (2021).

La fabricación de mezclas asfálticas ha sido una práctica esencial en el desarrollo de infraestructuras, sin embargo, enfrenta desafíos significativos que repercuten en el entorno y la sostenibilidad. Uno de sus problemas es la elevada contaminación ambiental que acompaña a este proceso. Los altos niveles de emisiones resultantes de la fabricación han generado una preocupante huella ecológica, con efectos perjudiciales para la calidad del aire y la salud pública. El efecto colateral de esta contaminación es la creciente explotación de canteras. Según lo señalado por (Díaz, et al, 2021), Las Plantas de Asfalto son instalaciones industriales que producen mezcla asfáltica para su uso en la pavimentación de carreteras. Desde una

perspectiva ambiental, se consideran potencialmente contaminantes, debido a su impacto negativo en el entorno socioambiental (Maciel-Pinto, 2021).

Esta sobreexplotación se debe al excesivo consumo de materias primas en la producción de mezclas asfálticas. La demanda continua de estos recursos ha llevado a una preocupante disminución de las reservas naturales, amenazando los ecosistemas locales y acelerando la degradación ambiental. Sumado a los problemas anteriores, durante el proceso de fabricación es necesaria la integración de aditivos químicos en las combinaciones, todo esto ocasionado por la limitada inclusión de nuevas tecnologías en el proceso buscando mejorar la calidad de las mezclas. Siendo así la principal causa de esta problemática el incremento en la generación de dióxido de carbono (CO2), el uso de maquinaria pesada en la fabricación y construcción también ha traído consecuencias significativas,

Como ilustración, el aumento en el uso de maquinaria pesada ha resultado en una mayor liberación de gases contaminantes y, además, ha contribuido al incremento en la producción de la Producción de Residuos de Construcción (RCD). La gestión inadecuada de estos residuos contribuye a la acumulación de desechos y dificulta los esfuerzos para mantener un entorno limpio y ordenado. Un aspecto preocupante es el bajo porcentaje de reciclaje en la industria de la construcción, la falta de un enfoque efectivo de reciclaje y reutilización de materiales ha perpetuado la dependencia de recursos vírgenes y ha agravado la presión sobre el medio ambiente, según (Díaz, et al, 2021).

Esto provoca que las industrias de asfalto, durante su proceso de producción, generen impactos ambientales negativos, por ejemplo, la creación de desechos sólidos que pueden ser peligrosos o no, la liberación de partículas al ambiente, la administración de vertidos de hidrocarburos y el control de materiales peligrosos (Rendon, 2020). Es crucial implementar estrategias de reciclaje más eficientes para reducir el consumo de materias primas y minimizar los impactos ambientales negativos.

Por último, el deterioro de la red vial en la ciudad es un síntoma de la baja calidad de los materiales utilizados en la construcción de infraestructuras. La falta de estándares de calidad adecuados y la búsqueda de soluciones económicas rápidas han dado como resultado calles y carreteras en mal estado, lo que no solo afecta la comodidad de los usuarios, sino que también conlleva a tener un mayor consumo de materias primas y repetir el ciclo de fabricación de la mezcla asfáltica, teniendo en cuenta el incremento significativo en los costos de mantenimiento.

La falta de implementación de prácticas de reciclaje y reutilización de pavimento también contribuye al problema, ya que esta omisión incrementa el consumo de materias primas y, por ende, la huella ecológica asociada. Dado el incremento poblacional es necesario que la infraestructura vial urbana encuentre en óptimas condiciones, por lo que se requiere analizar el diseño y el proceso constructivo de las vías que se desarrollan actualmente, en las cuales se tienen en cuenta aspectos como la

calidad de los materiales utilizados, mano de obra calificada, topografía del terreno, entre otros. El efecto principal del deterioro de la malla vial son los materiales utilizados en las diferentes mezclas asfálticas se ha traducido en un aumento alarmante de obras públicas deficientes. Según Santos (2015), El rápido deterioro de la red vial y la falta de una solución efectiva de reparación constituyen uno de los problemas más serios que enfrentan los habitantes de Bogotá en la actualidad. De acuerdo con el índice de condición de pavimento emitido por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en 2012, el 40% de la malla vial de la ciudad está en mal estado, el 20% en estado regular y el 30% restante se encuentra en buen estado. La falta de durabilidad y resistencia en las mezclas resulta en la necesidad constante de reparaciones y reemplazos, lo que a su vez incrementa los costos de mantenimiento y construcción de infraestructura pública.

Para la presente investigación, se plantea como objetivo principal analizar los impactos ambientales derivados de los procesos tradicionales sobre la preparación de mezclas asfálticas

teniendo en cuenta el poco uso de rcd y la baja inclusión de nuevas tecnologías en la ampliación de la Autopista Norte, este objetivo principal es soportado con los siguientes objetivos específicos, el primero es determinar los factores de contaminación y degradación ambiental en los procesos de fabricación de mezclas asfálticas en el proyecto de ampliación de la autopista Norte. Seguido a esto, se cuenta con el segundo objetivo específico que busca comparar el proceso tradicional vs la implementación de las nuevas tecnologías y prácticas actuales en la fabricación de mezclas asfálticas en el proyecto de ampliación de la Autopista Norte. Por último se cuenta con el tercer objetivo específico donde se busca proponer soluciones sostenibles que fomenten prácticas más responsables de disposición final de RCD (Residuos de demolición y construcción) en el proyecto de ampliación de la Autopista Norte.

ESTADO DEL ARTE

Para la presente investigación se presentarán diferentes estudios nacionales e internacionales relevantes sobre mezclas asfálticas, destacando su importancia en la fundamentación y planificación de proyectos (Vega, et al, 2019). Estos estudios evidencian que las mezclas asfálticas producidas a altas temperaturas resultan más contaminantes, mientras que estrategias como la sustitución de agregados convencionales por materiales reciclados, como escorias de acero y caucho triturado, pueden mitigar la contaminación y optimizar recursos. (Pinto, et al,2019).

En el ámbito internacional, países como Irán y China han implementado exitosamente estas prácticas (Arabani,et al, 2012; Zhang, et al, 2016), lo que respalda la necesidad de regulaciones ambientales más estrictas para promover prácticas de fabricación sostenibles. La adopción de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente es fundamental para alinear la industria de las mezclas asfálticas con los principios del desarrollo sostenible.

Se resaltan varios estudios que analizan el impacto ambiental y la implementación de nuevas tecnologías en las mezclas asfálticas. Investigaciones realizadas en Perú (Lazo, et al,

2021), Irán y China han demostrado el desempeño de mezclas asfálticas con agregados reciclados, así como la viabilidad de utilizar materiales alternativos en la producción de mezclas asfálticas.

En Colombia, la normativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible regula el uso de residuos de construcción y demolición en mezclas asfálticas (Barbosa, et al, 2020), lo que refleja el interés por reducir el impacto ambiental en la industria de la construcción.

Finalmente, se aborda la importancia del análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos para garantizar su rendimiento y durabilidad a lo largo del tiempo. Estudios como el realizado por (Pradera, et al, 2007) han analizado el deterioro de los pavimentos y la necesidad de realizar inversiones en su mantenimiento y rehabilitación. Otros estudios se centran en el envejecimiento de las mezclas asfálticas y su impacto técnico, económico, social y ambiental (Chavez, et al, 2020; Lopera, et al, 2013).

Estos estudios destacan la importancia de adoptar prácticas sostenibles en la industria de las mezclas asfálticas para mitigar el impacto ambiental y garantizar la durabilidad y eficiencia de las infraestructuras viales. (Martínez, A, 2015)

- Pavimentos a base de mezclas asfálticas

Los pavimentos son estructuras diseñadas para soportar cargas vehiculares para un determinado periodo; según (Sánchez, 2022) en la etapa de prefactibilidad de un proyecto vial es importante realizar un Análisis del Ciclo de Vida (LCA) para cuantificar cambios físicos y químicos, a causa del envejecimiento a corto y largo plazo debido a las condiciones a los que están sometidos las estructuras sean de carga por la intensidad del tráfico o por el medio ambiente, los pavimentos asfálticos por sus componentes pueden presentar fallos provocados por variables externas producidas por el medio ambiente e internas por los componentes que conforman las mezclas.

- Procesos tradicionales vs nuevas tecnologías

La fabricación de mezclas asfálticas ha experimentado importantes avances gracias a la implementación de nuevas tecnologías con respecto a las prácticas tradicionales. En el pasado, la mayoría de los procesos tradicionales de las mezclas asfálticas se producían a altas temperaturas, lo que necesitaría una gran cantidad de energía para calentar el asfalto y los agregados antes de mezclarlos. Esto era ineficiente y tenía un impacto ambiental negativo.

Tradicionalmente la dosificación de los agregados y el asfalto se realizaba en gran parte de forma manual, lo que podía dar lugar a inconsistencias en la calidad de la mezcla. Su control de calidad era muy limitado ya que los procesos de calidad en la fabricación de mezclas asfálticas solían ser menos precisos y efectivos en comparación con las técnicas modernas. Frecuentemente, su durabilidad y vida útil eran reducidas debido a la falta de uniformidad en la mezcla. La elaboración de asfalto es vital para los planes de desarrollo económico de una nación, ya que es fundamental para la expansión y el mantenimiento de las vías de comunicación. Sin embargo, la producción de mezcla asfáltica en plantas de asfalto en caliente produce una significativa contaminación y tiene impactos ambientales alarmantes. (Díaz, et al, 2021)

Con la nueva tecnología moderna se ha permitido desarrollar mezclas asfálticas que se pueden producir a temperaturas más bajas, conocidas como mezclas en frío o tibias. Esto reduce significativamente el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha logrado conseguir una dosificación automatizada de agregados y asfalto, lo que garantiza una mezcla uniforme y de alta calidad.

Una nueva modalidad y tecnología ha sido la incorporación de Grano de Caucho Reciclado (GCR), este enfoque surge como una solución para los problemas de deterioro temprano de las vías en Bogotá debido a la composición del material, el estado del suelo y el tiempo de uso sin una estructura adecuada.

- Impactos ambientales producidos por la fabricación de mezclas asfálticas

Considerando que las plantas que producen asfalto son una de las principales fuentes de contaminación. Según el estudio de (Díaz, et al, 2021), estas plantas son fuentes de polución atmosférica, liberando múltiples contaminantes en el aire. Entre estos se encuentran formaldehído, hexano, fenol, compuestos orgánicos policíclicos y tolueno. También, las actividades relacionadas con el transporte y almacenamiento provocan la emisión de compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y partículas finas (EPA 2009).

- Aprovechamiento de los Residuos de Demolición y Construcción RCD

Es crucial promover el reciclaje de asfalto viejo en la producción de nuevas mezclas, ya que esto disminuye la cantidad de desechos y el consumo de recursos naturales. Según (Ladreda, 2008 como se cita en Moreno, 2015) los RCD, que surgen de actividades como la construcción, demolición, rehabilitación y excavación, entre otras, son típicamente residuos inertes. Sin embargo, pueden contener otros materiales como no pétreos, reciclables y sustancias tóxicas y peligrosas.

Según el autor (López, M, 2020) indica que el adecuado tratamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) posibilita sustituir la materia prima, disminuir el impacto ambiental derivado de la explotación de recursos naturales y promover la generación de empleo. Además, al gestionarlos en el mismo sitio de construcción o demolición, se reduce el costo de transporte.

- Proyección sostenible

Dado que la noción de edificación sostenible no se limita únicamente a la construcción en sí misma, sino que también abarca la consideración del entorno y su integración en la configuración urbana, según (Ramírez A, s f, p.2) afirma que: el enfoque del desarrollo urbano sostenible, también conocido como urbanismo sostenible, persigue la creación de un entorno urbano que no cause daños al medio ambiente y que provea recursos urbanísticos adecuados,

no solo en términos de diseño y eficiencia energética y hídrica, sino también en lo que respecta a su funcionalidad como un espacio más propicio para la vida y el bienestar humano.

En el mismo sentido, el informe denominado 'Prácticas para la producción sostenible de asfalto', de Rodríguez (2019), presenta diversas técnicas empleadas a nivel global para reducir el impacto ambiental asociado con la producción de asfalto. Se destacan tecnologías como la utilización de mezclas de asfalto reciclado (RAP) y la reutilización de residuos sólidos como aditivos de bajo costo en la mezcla de asfalto, lo que conlleva a un menor consumo de materias primas y energía, así como a la reducción de desechos.

Además, se menciona el empleo de pavimentos permeables como solución para el drenaje de aguas pluviales en áreas urbanas, resaltando sus ventajas. Puntualmente, se hace hincapié en el desarrollo de mezclas producidas a temperaturas más bajas como una estrategia para abordar los problemas identificados (Jenkins, et al 2016, tal como se cita en Rodríguez, 2019)

METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta la fuente de información primaria que se recopiló para dicha investigación, se elige la metodología con enfoque de tipo cuantitativo porque se analizarán los impactos ambientales derivados de los procesos tradicionales sobre la fabricación de mezclas asfálticas teniendo en cuenta el poco uso de RCD y la baja inclusión de nuevas tecnologías en el proyecto de ampliación de la Autopista Norte que pretende realizar el mejoramiento de esta vía por medio de la implementación de una carpeta asfáltica. Para esto se realizó una encuesta a profesionales de la construcción vinculados con proyectos de calidad de las vías de la ciudad.

El tipo de investigación empleada en esta metodología es de carácter descriptiva, ya que, se analizarán los procesos de fabricación de mezclas asfálticas y como estos a su vez son generadores de grandes impactos ambientales. Se emplea este tipo de investigación, debido a que, busca sintetizar y organizar datos cuantitativos acerca de la contaminación en la

fabricación de mezclas asfálticas y sus distintas alternativas en la temperatura de diseño. Así mismo, se plantean posibles soluciones sostenibles a futuro y cómo la implementación de nuevas tecnologías contribuye en gran medida a lograr este objetivo sostenible.

Para este fin, como instrumento se utilizó una encuesta como método de recolección de datos, la cual fue respondida por un grupo de ingenieros civiles. La población de interés para este estudio comprende a todos aquellos ingenieros civiles que están involucrados en proyectos de intervención en la ciudad de Bogotá de la malla vial, y que poseen conocimientos relevantes sobre el análisis de impactos ambientales y soluciones sostenibles en la fabricación de mezclas asfálticas. Esta población abarca profesionales que laboran en empresas de construcción, consultoras de ingeniería, entidades, entre otros.

En el presente estudio, se ha calculado el tamaño de la muestra necesario para asegurar la representatividad de los datos con un nivel de confianza del 90% y un margen de error del 5%. Utilizando la fórmula estadística para el cálculo del tamaño de muestra para proporciones, se determinó que se requiere una muestra de 271 individuos. Este cálculo se basó en una proporción estimada de 0.5, lo cual es un valor conservador que maximiza el tamaño de la muestra para garantizar la precisión de los resultados, aunque esta muestra no garantiza la representatividad total de la población, se considera suficiente para obtener una comprensión inicial de las opiniones y conocimientos de los profesionales en el área.

RESULTADOS

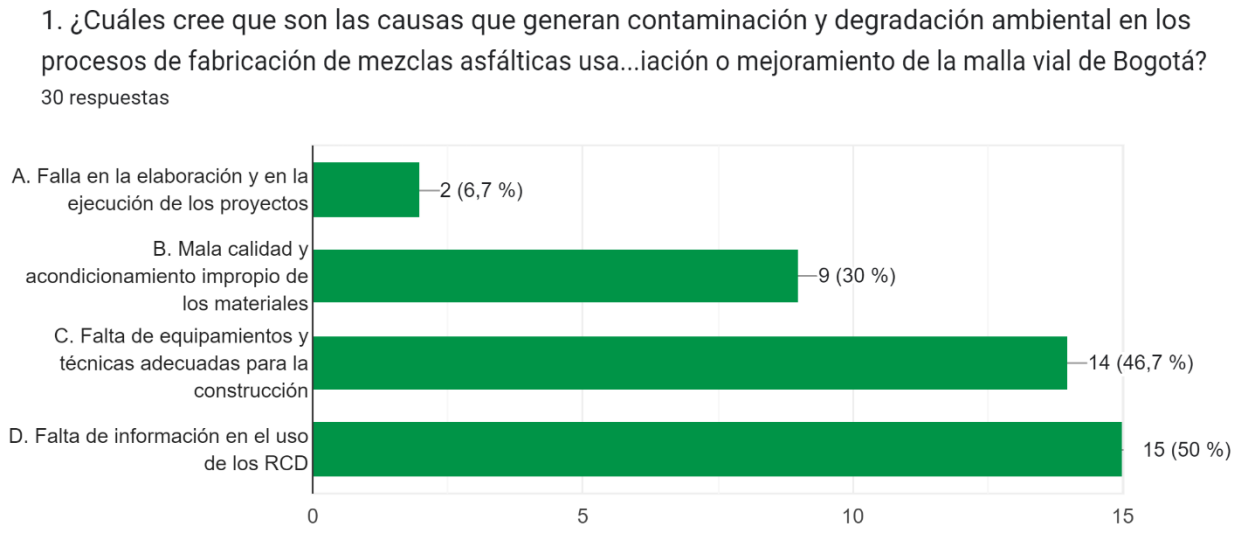
Teniendo en cuenta el primer objetivo de esta investigación donde se busca determinar los factores de contaminación y degradación ambiental en los procesos de fabricación de mezclas asfálticas en el proyecto de ampliación de la autopista Norte podemos afirmar que se determina que durante el proceso de fabricación de las mezclas asfálticas impactan negativamente al medio ambiente distintos factores. Inicialmente se identifica que la temperatura de diseño de la mezcla incide en gran medida en su contaminación, "Debido al uso

intensivo de energía y la liberación de gases contaminantes, se observa un impacto significativo durante las etapas de mezclado, tendido y compactación, excluyendo tanto la fase de fabricación como la de transporte. Durante el proceso de mezclado en caliente (HMA), se alcanzan temperaturas entre 150°C y 190°C, lo que resulta en un aumento considerable en las emisiones de contaminantes en comparación con el proceso de mezclado en frío." (Córdoba, 2021).

Sumado a esto, se tiene un segundo factor clave en la contaminación durante el proceso de elaboración de combinaciones asfálticas y es que según el autor (Balaguera, et al, 2015) La continua renovación de la infraestructura vial genera una gran cantidad de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), sobre todo de los pavimentos asfálticos. Sin embargo, la falta de una gestión eficiente de estos desechos ocasiona pérdidas considerables debido a su incorrecta disposición y manejo, lo que resulta en un aumento de los costos del proyecto en áreas como la demolición, el transporte y la disposición final en vertederos. Estas prácticas provocan un impacto negativo en el medio ambiente al incrementar tanto el consumo de energía como la explotación de recursos naturales.

Figura 1.

Causas que generan contaminación y degradación ambiental en los procesos de fabricación de mezclas asfálticas

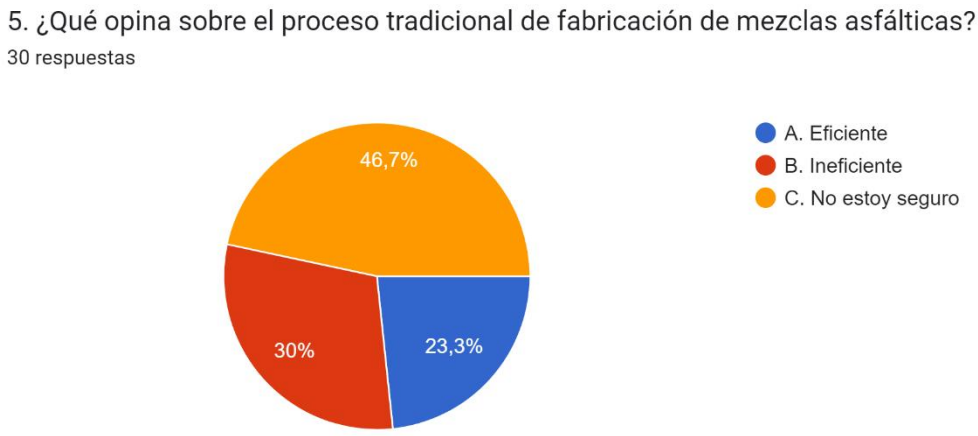


Nota: *Cuáles son las causas que generan contaminación y degradación ambiental en los procesos de fabricación de mezclas asfálticas usadas para los proyectos de rehabilitación, ampliación o mejoramiento de la malla vial de Bogotá. Elaboración propia.*

Se puede observar claramente qué el 50% de los profesionales encuestados afirman que la falta de información en los usos y aprovechamiento de los RCD (Residuo de Demolición y Construcción) son una causa fundamental de la contaminación en procedimientos de producción de mezclas bituminosas, tal y cómo lo menciona el autor (Balaguera, et al, 2015). Por otra parte, el 46.7% indica no estar seguro de la calidad acerca del proceso tradicional de fabricación, dejando ver un claro vacío de información en este campo.

Figura 2.

Proceso tradicional de fabricación de mezclas asfálticas.



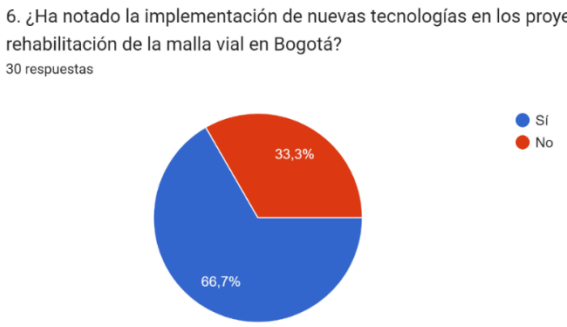
Nota: *opiniones sobre el proceso tradicional de fabricación de mezclas asfálticas***.** Elaboración propia

Continuando con el desarrollo de esta investigación, por medio de los objetivos planteados se busca comparar el proceso tradicional vs la implementación de las nuevas tecnologías y prácticas actuales en la fabricación de mezclas asfálticas en el proyecto de ampliación de la Autopista Norte.

Como se ha venido mencionando a lo largo de esta investigación, el proceso de fabricación de mezclas asfálticas conlleva un impacto ambiental negativo, pues bien, a lo largo de los años se ha investigado una nueva manera de crear y fabricar este tipo de mezclas que no impactan ni deterioran al medio ambiente. Un ejemplo claro de estos avances se refleja en el estudio realizado por Ulloa, A. (2011), que introduce un cambio en el proceso tradicional de fabricación de mezclas asfálticas. El autor explica que, en lugar de utilizar altas temperaturas durante el mezclado y la compactación, las mezclas asfálticas tibias (MAT) reducen estas temperaturas en aproximadamente un 20%. Esto permite disminuir significativamente las emisiones de gases y polvo al medio ambiente durante el proceso de producción y colocación, sin afectar las propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica. Se plantea la siguiente pregunta a los profesionales encuestados:

Figura 3

Implementación de nuevas tecnologías.

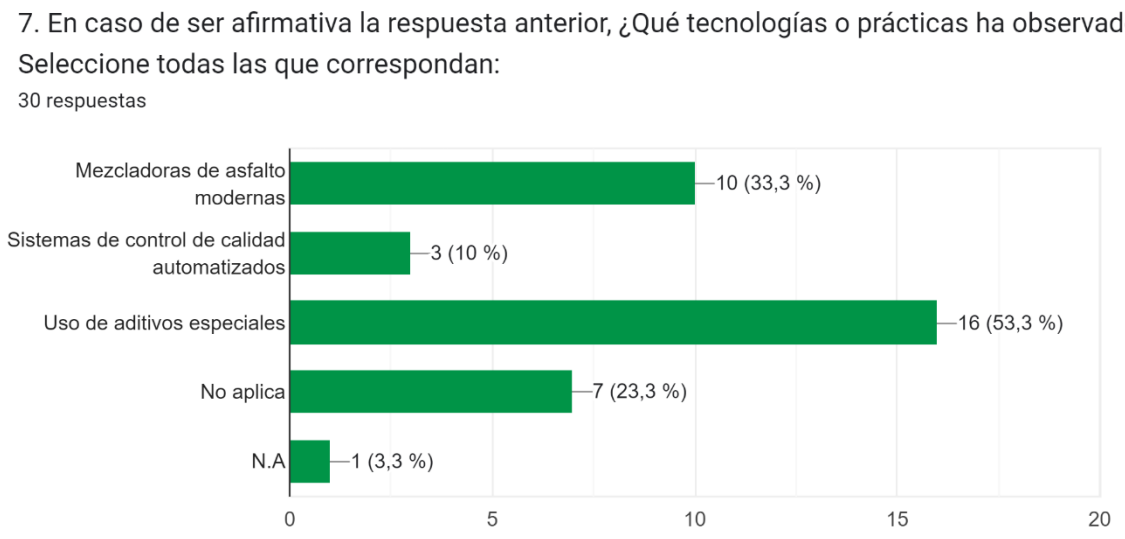


Nota: *implementación de nuevas tecnologías en los proyectos de ampliación o rehabilitación de la malla vial en Bogotá. Elaboración propia*

Se puede observar que en un 66.7% de los encuestados afirman conocer el uso de nuevas tecnologías aplicadas a los proyectos de intervención de la malla vial. Lo cual genera un aspecto positivo debido a que se presenta la oportunidad de dar un cambio al proceso tradicional empleado continuamente. Tal como lo afirma (Tahmoorian, et al, 2018) la incorporación de nuevos aditivos a los agregados de la mezcla asfáltica mejora en gran medida la resistencia a las compactaciones y deformaciones.

Figura 4

Tecnologías o prácticas observadas.



Nota: *¿Qué tecnologías o prácticas ha observado? Elaboración propia*

Se destaca principalmente el uso de aditivos especiales que modifican y dan mejores características y componentes a las mezclas asfálticas Esto se relaciona directamente con el estado del arte indagado, pues bien, se tiene como resultado el análisis de diferentes artículos donde se evidencian nuevos procesos y aditivos que modifican la producción tradicional de mezclas asfálticas. Un aspecto principal que se modifica es la reducción de la viscosidad del ligante asfáltico por medio de la inclusión de nuevos asfaltos espumados, tecnologías con bases acuosas y el uso de aditivos orgánicos. Según (Ulloa, A, 2011) este se crea a partir de Introducir pequeñas cantidades de agua y aire comprimido al ligante asfáltico caliente en una cámara de expansión es un método que crea un efecto espumado controlado. Este proceso aumenta el volumen del asfalto y aparentemente reduce su viscosidad.

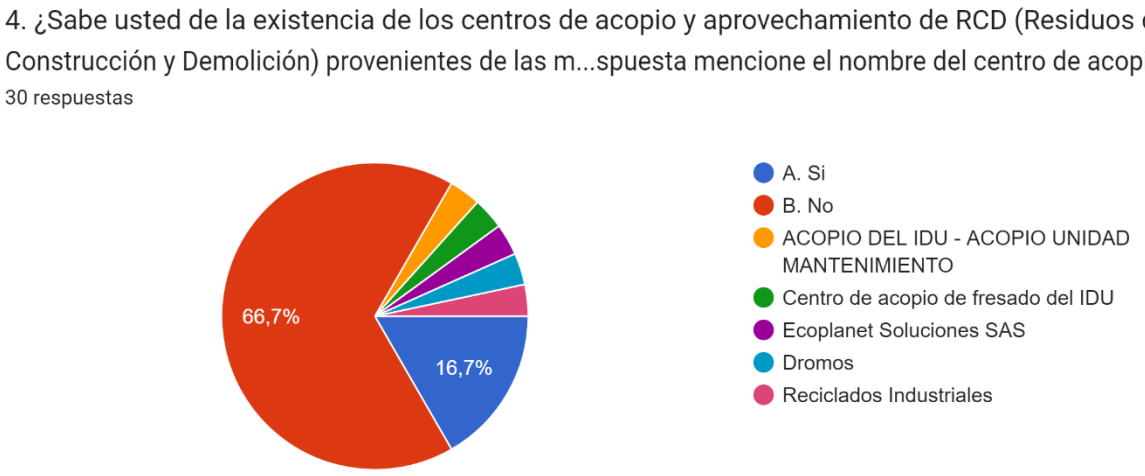
En tercer lugar, se da respuesta al objetivo que busca proponer soluciones sostenibles que fomenten prácticas más responsables de disposición final de RCD (Residuos de demolición y construcción) en el proyecto de ampliación de la Autopista Norte.

Es importante recalcar que el fresado proviene de la actividad de picar y trasladar el asfalto existente en la vía y que será remplazado por uno nuevo, por lo que se recalca la importancia de reutilizar, aprovechar y reciclar el material proveniente de esta actividad. Se les pregunta a los profesionales encuestados si ellos conocen de un sitio de acopio autorizado donde se pueda disponer del material proveniente de actividades de mantenimiento vial, dónde el 66% afirma NO tener conocimiento acerca de dichos lugares.

La importancia del conocimiento de estos centros de acopio radica en que parte del material allí recuperado puede ser empleado en la estructuración y ejecución de proyectos nuevos que requieran de materias primas para la fabricación de mezclas asfálticas en la ciudad de Bogotá.

Figura 5

Centros de acopio y aprovechamiento de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) provenientes de las mezclas asfálticas.



Nota: *la existencia de los centros de acopio y aprovechamiento de RCD (Residuos de Construcción y Demolición).*

Elaboración propia

Se plantean diferentes soluciones sostenibles que mejoraran los procesos de Desperdicios de obras de construcción y demoliciones (RCD), una de las que más se destaca según (Balaguera, et al, 2015) el objetivo es incrementar la proporción de mezclas recicladas con RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) con respecto al total de mezclas bituminosas, aspirando a sobrepasar el 15 % (en Dinamarca, este porcentaje alcanza el 34 %). En Estados Unidos emplea aproximadamente el 80 % del pavimento asfáltico que se fresan cada año en proyectos de ampliación y rehabilitación de carreteras.

. Esto traería consigo una recuperación en gran medida del material que es retirado durante el proceso de ampliación de la Autopista Norte.

Por otra parte, (Balaguera Gómez, D, y Montañez Quevedo. P, 2015) afirma que, según beneficios ambientales, se estima que el proceso de reciclaje en frío in-situ es una de las mejores alternativas, al momento de ser utilizado los RCD (Residuos de demolición y

construcción), Considerando que el RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) no necesita ser calentado, se puede utilizar como base, sub-base granular o base asfáltica estabilizada. Esto contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la fabricación, el secado y el transporte de materiales, lo que a su vez disminuye el consumo de energía y combustible. Además, esta práctica también reduce la cantidad de RCD (Residuos de demolición y construcción) llevados a los sitios de disposición final, lo que resulta en una disminución del área utilizada para este propósito.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la consolidación de las opiniones de los encuestados, se determina en gran medida que, los problemas principales relacionados con los residuos de los diferentes pavimentos asfálticos se deben a la falta de información y la explotación de los recursos naturales. Además, la mayoría de las personas encuestadas no conocen o identifican la existencia de centros de acopio y de aprovechamiento de estos residuos demostrando que hay una clara división en cuanto a si se está utilizando correctamente estos residuos, ya que la mayoría cree que no. Por último, aunque hay conocimiento sobre alternativas técnicas para mejorar el uso de los diferentes residuos de pavimentos asfálticos, no es generalizado ni bien informado.

La mayoría de los materiales RCD tienen potencial para ser reutilizados en sus formas originales o después de ser transformados, lo que abre diversas posibilidades de uso. Por ejemplo, el escombro puede ser empleado como relleno en su estado original, mientras que, tras su transformación, la arena puede ser extraída para la elaboración de morteros de pega, entre otros usos. Optar por el reciclaje de estos materiales RCD se presenta como la opción más favorable para contribuir al cuidado del medio ambiente en el campo de la construcción. Esta práctica no solo nos hace más respetuosos con el entorno, sino que también promueve la construcción sostenible.

Según los estudios e investigaciones revisados se puede determinar que la implementación de nuevas tecnologías trae consigo varios beneficios para el medio ambiente. Principalmente se obtuvo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a las mezclas asfálticas en caliente (150°C a 110°C) y por ende también se requiere de menor cantidad de combustible en planta para lograr su temperatura de diseño. De igual manera se obtiene una mayor resistencia al fisuramiento y una mayor flexibilidad gracias a la incorporación de los aditivos orgánicos, generando una compatibilidad con asfalto recuperado que pueda ser útil de nuevo para la fabricación de nuevas mezclas.

LISTA DE REFERENCIA

Arabani. M, y Azarhoosh, A, 2012, *The effect of recycled concrete aggregate and steel slag on the dynamic properties of asphalt mixtures*, Construction and Building Materials, Vol. 35

Balaguera Gómez, D, y Montañez Quevedo. P, 2015, *Propuesta para la mejora del manejo de los residuos provenientes de pavimentos asfálticos en la malla vial de Bogotá DC. enfoque ambiental.,* Vol 1, 1-3 https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/988.

Barbosa Macías J, Jarava Jaramillo, G. y . López Albornoz, J, 2020. *Tratamiento superficial de agregados reciclados de concreto para su utilización en mezclas asfálticas* Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia, 10 marzo.

Chávez Pabón S. B, y Castellanos Guerrero W. M., Enero - Junio 2020, Vol 17, 7-23. *Efecto del envejecimiento de mezclas asfálticas en el ciclo de vida del pavimento desde el aspecto técnico y ambiental. Revisión del estado de conocimiento*, Revista Vínculos.

Chidozie M. N, Soon P. Y, Choon W. Y., Chiu C. O, Suhana K. y Ali M. B., 2020, Vol 262 *Laboratory study on recycled concrete aggregate based asphalt mixtures for sustainable flexible pavement surfacing,* Journal of Cleaner Production.

Córdoba, J. (2021). *Elaboración De Aditivos Para El Pavimento Asfaltico A Partir Del Plástico, Caucho De Neumático, Y Asfalto Recuperado Como, Una Solución Sostenible En La Pavimentación De Vías*. [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio institucional. http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7540.

Díaz, A., Vento, R., Cruz, B. (2021). *Plan de acciones de Manejo Ambiental para la mitigación de impactos ambientales de la Planta de Asfalto PC-3, de Consolación del Sur*, 3, 1-18. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=704173376009

Lazo Gonzales F. J. y Manrique Lostaunau R. L, 2021, Desempeño *de la mezcla asfáltica utilizando residuos de concreto como reemplazo parcial del agregado grueso*, Repositorio Institucional. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.

Lopera Palacio C. H. y Córdoba Maquilón J. E.,2013, Vol 80, *Diseño de mezcla asfáltica tibia a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma*, Dynarev.fac.nac.minas.

López, M, 2020, *Estrategias sostenibles para el aprovechamiento de RCD (residuos de construcción y demolición) en los proyectos de las pymes constructoras de Montería*, Vol 1, 1-89. https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29419/2020manuellopez1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez Alarcón C. A, 2015. *Análisis del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.

Moreno, K, 2015, *Evaluación de la disposición final de RCD en la obra vival de santa bárbara (bta) constructora vival arquitectos*, Vol 1, 1-50. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4851

Pinto, K., Ramos, A. (2019). *Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas drenantes con agregados del rio Chicamocha.* [Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio institucional https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6334/digital_38382.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pradera Miquel. M, y Posada Henao. J. 2007, Vol 6 - 35-47 *Análisis de Inversiones en carreteras utilizando Software HDM-4*, Revista de la Construcción.

Ramírez, A, (sf), *La construcción sostenible,* [Articulo, Colegio Oficial de físicos] https://www.virtualpro.co/biblioteca/la-construccion-sostenible#comocitar

Rendón, J. (2020). *Apoyo a los procesos de gestión ambiental en la empresa Asfaltadora colombia s.a.s.* [Trabajo de grado, Universidad Tecnológico de Antioquia] https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/984/Sintesis%20Gestion%20Asfaltadora.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, L, (2019), *Implementación de prácticas sostenibles para la producción de asfalto en la pavimentación de carreteras,* Vol 1, 1-9. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/35943/RODRIGUEZ%20NEIRA%20LUIS%20FERNANDO%202019.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Sánchez. A, Amaya. N, 2022. *Análisis del impacto ambiental durante el ciclo de vida de los pavimentos empleando mezclas asfálticas con agregados reciclados de concreto* Vol 1 - 1-41. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/96db7cac-7ba2-42e5-86c8-9a37ef6eff04/content

Santos, J, (2015). Modelo para la rehabilitación y recuperación eficiente de la malla vial de Bogotá, Vol. 1, 1-59. https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18570/u722609.pdf

Tahmoorian, F. y Samali, B, 2018, Vol 1 *Laboratory investigations on the utilization of RCA in asphalt mixtures*, Int. J. Pavement Res. Technol. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681417301499?via%3Dihub

Ulloa, A, 2011, *Mezclas asfálticas tibias (MAT),* Vol 2, 1-6. https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/364/15.pdf

Vega D. L, Martínez Arguelles G. y Santos J. (2019). Vol 603. *Evaluación del ciclo de vida de la mezcla tibia asfalto con agregado de hormigón reciclado*, Conf. PIO Ser.: Mater. Sci. Ing.

Zhang. Z, Wang. K, y Deng. Z, 2016, *Key performance properties of asphalt mixtures with recycled concrete aggregate from low strength concrete*, Construction and Building Materials, vol. 126