

Universidad Piloto de Colombia

**Análisis de la Gestión de Residuos de Asfalto o Fresado para su Reutilización en
Pavimentos Asfálticos Recuperados (RAP): Métodos y Beneficios
Medioambientales**

Cristian Alfonso Rodríguez Sánchez

Jorge Mario Leiva Giraldo

Universidad Piloto de Colombia

Seccional del Alto Magdalena

Facultad de Ingeniería

Honda Tolima, Colombia

25 de agosto del 2025

Análisis de la Gestión de Residuos de Asfalto o Fresado para su Reutilización en Pavimentos Asfálticos Recuperados (RAP): Métodos y Beneficios Medioambientales

Cristian Alfonso Rodríguez Sánchez
cristian-rodriquez16@upc.edu.co

Jorge Mario Leiva Giraldo
jorge-leiva1@upc.edu.co

Monografía presentada como opción de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Docente
Michael Afranio Díaz Ricardo
Ingeniero Civil
michael-diaz1@upc.edu.co

Universidad Piloto de Colombia
Seccional del Alto Magdalena
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Civil
Girardot, Cundinamarca
2025

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Girardot, 30 de enero de 2026

CONTENIDO

1.DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	10
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
2.JUSTIFICACION	11
3.OBJETIVOS	12
3.1 GENERAL	12
3.2 ESPECÍFICOS	12
4.MARCO REFRENCIAL	13
4.1 ANTECEDENTES	13
4.2 MARCO TEORICO	14
4.3 MARCO CONCEPTUAL	16
4.4 MARCO LEGAL	17
4.5 MARCO GEOGRAFICO	18
4.6 MARCO DEMOGRAFICO	19
5.DELIMITACION	21
6.DISEÑO METODOLÓGICO	23
6.1 METODO DE INVESTIGACION	23
6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	24
6.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	25
6.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO	25
7.RECURSOS	26
7.1 HUMANO	26
7.2 MATERIAL	27
8.DESARROLLO DE LA PROPUESTA	29
8.1 Diagnóstico de la situación actual del manejo del RAP en Colombia y el exterior.	29
8.2 Principales técnicas y procesos de reincorporación del fresado en nuevas mezclas asfálticas, según la Cartilla de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso del Material Recuperado de Pavimentos Asfálticos (RAP)	29
8.3 Beneficios ambientales del aprovechamiento del RAP	32
8.4 Aplicación al caso del corredor vial Girardot–Honda–Puerto Salgar	33
8.5 Propuesta de lineamientos para la gestión sostenible del RAP	37
8.6 Impactos esperados	37
9.CONCLUSIONES	38
10.RECOMENDACIONES	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1

Distribución demográfica 19

Tabla 2

Delimitación de la investigación 21

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1

Disponibilidad y uso del RAP por países 2022 13

Ilustración 2

Actividad de fresado en mantenimiento del corredor vial 33

Ilustración 3

Actividad de fresado en mantenimiento del corredor 34

Ilustración 4

Actividad de fresado en mantenimiento del corredor vial 34

Ilustración 5

Donación de material fresado a comunidades aledañas 35

Ilustración 6

Donación de material fresado a comunidades aledañas 35

Ilustración 7

Acopio de material fresado sin ninguna medida de control 36

RESUMEN

La gestión sostenible de los residuos asfálticos provenientes del mantenimiento y rehabilitación de carreteras representa uno de los principales desafíos para la ingeniería civil contemporánea. En Colombia, el incremento de intervenciones viales ha generado un volumen creciente de fresado asfáltico (RAP, por sus siglas en inglés *Reclaimed Asphalt Pavement*), cuyo aprovechamiento adecuado contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los ODS 9, 11, 12 y 13.

El presente trabajo analiza el aprovechamiento del fresado asfáltico en la rehabilitación de pavimentos como una estrategia sostenible que permite reducir el consumo de recursos naturales, minimizar la generación de residuos y optimizar los procesos constructivos mediante una adecuada gestión de proyectos. Se realiza una revisión bibliográfica y técnica basada en estudios nacionales e internacionales, complementada con el análisis de la Concesión Alto Magdalena (Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar) como caso de estudio representativo del contexto colombiano.

Los resultados muestran que la implementación del RAP puede reducir hasta en un 62 % los costos de producción de mezclas asfálticas y disminuir en un 22 % las emisiones de CO₂ respecto a mezclas convencionales. Se concluye que la incorporación del fresado asfáltico, bajo una gestión técnica y ambiental adecuada, constituye una oportunidad viable y necesaria para promover una infraestructura vial sostenible en Colombia.

Palabras clave: fresado asfáltico, RAP, sostenibilidad vial, gestión de proyectos, reciclaje de pavimentos, ODS.

ABSTRACT

The sustainable management of asphalt waste from road maintenance and rehabilitation is one of the main challenges facing contemporary civil engineering. In Colombia, the increase in road works has generated a growing volume of reclaimed asphalt pavement (RAP), the proper use of which contributes directly to the fulfillment of the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDGs 9, 11, 12, and 13.

This paper analyzes the use of asphalt milling in pavement rehabilitation as a sustainable strategy that reduces the consumption of natural resources, minimizes waste generation, and optimizes construction processes through proper project management. A bibliographic and technical review is carried out based on national and international studies, complemented by the analysis of the Alto Magdalena Concession (Girardot–Honda–Puerto Salgar Road Corridor) as a representative case study of the Colombian context.

The results show that the implementation of RAP can reduce asphalt mix production costs by up to 62% and CO₂ emissions by 22% compared to conventional mixes. It is concluded that the incorporation of asphalt milling, under appropriate technical and environmental management, constitutes a viable and necessary opportunity to promote sustainable road infrastructure.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, Colombia ha experimentado un crecimiento sostenido en la construcción y rehabilitación de su red vial. El desarrollo de proyectos de infraestructura es fundamental para el progreso económico, la movilidad de mercancías y el acceso a servicios esenciales. Sin embargo, este crecimiento trae consigo un incremento considerable en la generación de residuos de construcción, especialmente los provenientes del mantenimiento de pavimentos asfálticos.

El fresado asfáltico, también conocido como pavimento asfáltico recuperado (RAP), surge durante los procesos de rehabilitación vial. Este material, compuesto por agregados pétreos y ligantes envejecidos, representa un recurso valioso que, si se gestiona adecuadamente, puede reincorporarse a los procesos constructivos. En Colombia, a pesar de haberse adoptado la Resolución 3920 de 2024 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) —que adopta la “Cartilla de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso del Material Recuperado de Pavimentos Asfálticos (RAP)”—, donde se afirma que estos residuos “han producido contaminación ambiental por su deficiente disposición final, en lugar de ser reutilizados adecuadamente”.

El aprovechamiento del RAP no solo reduce la presión sobre las canteras y fuentes de materiales vírgenes, sino que también contribuye a la mitigación del cambio climático, al disminuir la huella de carbono asociada a la extracción, transporte y producción de mezclas nuevas. Este enfoque responde a las metas del ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 13 (Acción por el clima).

Por lo tanto, la presente monografía busca analizar la gestión sostenible del fresado asfáltico en Colombia, su potencial de reutilización y los lineamientos necesarios para su implementación efectiva en proyectos de pavimentación y rehabilitación, con especial referencia al caso del Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar (Concesión Alto Magdalena).

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las vías con pavimentos asfálticos representan la mayor parte de la red vial nacional, con el paso del tiempo y la acción del tráfico, el clima y el envejecimiento de los materiales, estas vías requieren mantenimiento y rehabilitación. Las actividades de fresado generan grandes volúmenes de residuos que, si no se gestionan adecuadamente, pueden causar contaminación del suelo y cuerpos de agua, además de ocupar áreas destinadas a disposición temporal.

Aunque la Instituto Nacional de Vías adoptó recientemente la Cartilla de buenas prácticas para el manejo y uso del material recuperado de pavimentos asfálticos (RAP) mediante Resolución 3920 de 2024, aunque no existen cifras oficiales que indique la cantidad de fresado que se recicla, la evidencia académica sugiere que su implementación en Colombia continúa siendo limitada y más frecuente en proyectos con mayores recursos técnicos, lo que indica que aún no se ha desplegado una estrategia plenamente integral que abarque los aspectos técnicos, ambientales y de gestión de proyectos en todos los niveles de intervención vial, lo anterior se respalda en la figura 8.2 de la cartilla de buenas prácticas para el manejo y uso del material recuperado de pavimentos asfálticos (RAP) donde se presenta la distribución de documentos académicos publicados en diferentes países y vemos que Colombia presenta la cantidad más baja en comparación con los demás países referenciados.

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de la problemática descrita, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo puede gestionarse de manera sostenible el fresado asfáltico (RAP) en proyectos de rehabilitación de pavimentos en Colombia, garantizando eficiencia técnica y ambiental en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible?

2. JUSTIFICACION

El aprovechamiento del fresado asfáltico constituye una oportunidad para integrar los principios de sostenibilidad y economía circular en la infraestructura vial colombiana. Desde el punto de vista ambiental, su reincorporación reduce el volumen de residuos dispuestos y disminuye la demanda de materiales vírgenes (Padilla, 2018).

Así mismo, aunque no es el objetivo de esta monografía, desde el enfoque de gestión de proyectos, el uso de RAP permite optimizar recursos, reducir tiempos de transporte y mejorar la eficiencia de las operaciones. Como lo menciona Flores, Rey y Pinzon (2025) se puede observar una disminución de los costos directos de producción equivalentes a un promedio de 58% el valor de una mezcla asfáltica en caliente.

La aplicación de metodologías de gestión como el PMBOK facilita el control de calidad, el seguimiento de costos y la mitigación de riesgos asociados a la variabilidad del material reciclado.

Finalmente, este trabajo contribuye a la formación profesional del ingeniero civil, al fortalecer su capacidad de integrar criterios técnicos, ambientales y de gestión en el desarrollo de infraestructura sostenible.

La innovación consiste en reutilizar el material de fresado generado durante el mantenimiento de carreteras para producir nuevas mezclas asfálticas que permitan obtener beneficios económicos y operativos, disminuir la huella de carbono y promover la infraestructura vial sostenible. (Instituto Mexicano de transporte, 2025).

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Analizar la gestión y aprovechamiento del fresado asfáltico (RAP) en la rehabilitación de pavimentos en Colombia como una estrategia sostenible que contribuya al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

3.2 ESPECÍFICOS

- Indagar la situación actual del manejo y aprovechamiento del fresado asfáltico en Colombia.
- Identificar las principales técnicas y procesos de reincorporación del RAP en nuevas mezclas asfálticas.
- Evaluar los beneficios ambientales derivados del uso de RAP en comparación con materiales vírgenes.
- Analizar la gestión y reutilización del fresado asfáltico en la rehabilitación y mantenimiento del corredor vial de la concesión alto magdalena.

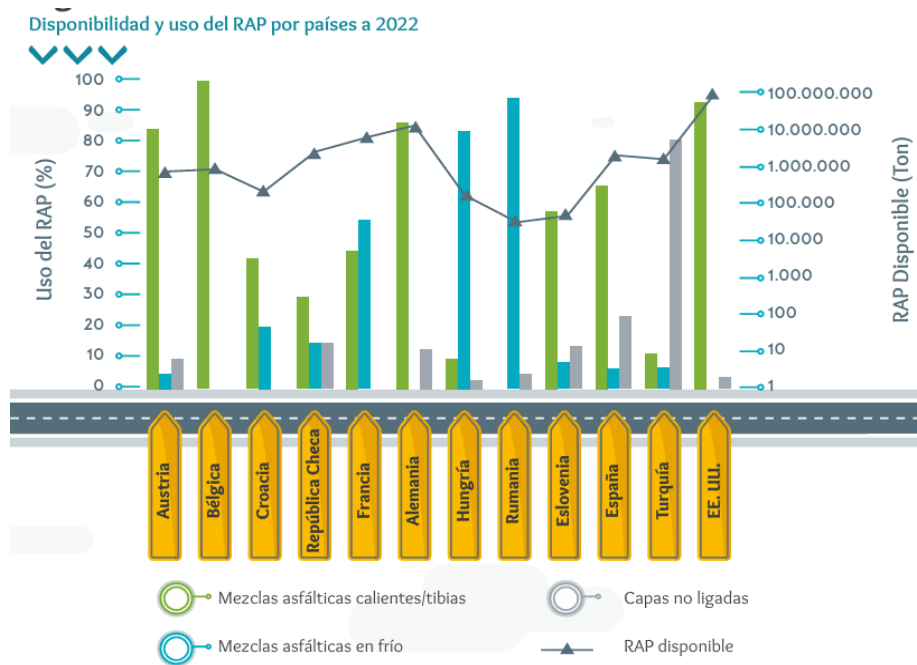
4. MARCO REFRENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

El reciclaje de pavimentos asfálticos ha cobrado gran relevancia a nivel internacional. En Estados Unidos, según la figura 8.1 de la cartilla de buenas prácticas para el manejo y uso del material recuperado de pavimentos asfálticos RAP el cual toma la información de Asociación Nacional de Pavimentos Asfálticos (NAPA) en Estados Unidos más del 93 % del material fresado es reutilizado en nuevas mezclas. y de la Asociación Europea de Pavimentos Asfálticos EAPA, en Europa, países como Bélgica reportan tasas de reutilización cercanas al 100%, gracias a normativas consolidadas y a la implementación de tecnologías de reciclado en frío y caliente.

Ilustración 1

Disponibilidad y uso del RAP por países 2022



Fuente: adaptado de la EAPA (2022) y NAPA.

Nota: Cartilla de buenas prácticas para el manejo y uso del material recuperado de pavimentos asfálticos RAP.

En Colombia, el **INVIAS** ha establecido lineamientos técnicos recientes (Resolución 3920 de 2024), pero su aplicación sigue siendo voluntaria y limitada. La mayoría de las

concesiones 4G apenas están iniciando programas de reaprovechamiento de fresado en capas de base y subbase, aunque no se encuentran registros oficiales.

4.2 MARCO TEORICO

La gestión del fresado asfáltico en pavimento asfáltico recuperado (RAP), parte del entendimiento del ciclo de vida de los materiales de pavimentación y de los impactos ambientales asociados a su extracción, procesamiento y disposición.

El RAP se obtiene mediante procesos de fresado, en los cuales la capa superficial de asfalto deteriorada es removida utilizando fresadoras que muelen el pavimento en partículas de distintos tamaños.

Este material, compuesto por agregados pétreos y ligante asfáltico envejecido, conserva propiedades físicas y químicas que permiten su reutilización total o parcial en nuevas mezclas asfálticas o en capas granulares.

Obtención del material fresado

El proceso de fresado consiste en la remoción mecánica del pavimento mediante tambores con picas metálicas, el material resultante se denomina *fresado* y debe ser caracterizado antes de su reutilización.

Los parámetros fundamentales son:

- **Granulometría:** determina la distribución de tamaños de las partículas.
- **Contenido de ligante:** evalúa el porcentaje de asfalto residual.
- **Tipo de ligante:** puede ser convencional o modificado con polímeros.

Según el Instituto Nacional de Vías [INVIAS] (2024), un fresado adecuado para reutilización debe presentar menos de 5 % de material fino menor a 0.075 mm y un contenido de asfalto superior al 3 %.

Procesos de reciclado de pavimentos

Existen cuatro métodos principales para la reincorporación del RAP:

1. **Reciclado en planta en caliente:** el fresado se calienta y mezcla con agregados vírgenes y nuevo ligante asfáltico. Permite utilizar entre 5% y 50 % de RAP.
2. **Reciclado en planta en frío:** el material se mezcla a temperatura ambiente usando emulsiones o asfalto espumado, pudiendo incorporar hasta el 100 % de RAP en capas de base.

3. **Reciclado in situ en caliente:** se calienta y mezcla el material directamente sobre la vía, reduciendo costos de transporte.
4. **Reciclado in situ en frío:** se mezcla el material existente con emulsiones o estabilizantes sin necesidad de calentar, técnica apropiada para vías rurales o de bajo tránsito.

Cada método ofrece ventajas técnicas y ambientales; sin embargo, la selección depende del tipo de vía, disponibilidad de equipos, clima y presupuesto.

Impactos ambientales del fresado

El manejo inadecuado del fresado puede generar contaminación del suelo y cuerpos de agua debido a los hidrocarburos presentes en el asfalto envejecido, además, el almacenamiento a cielo abierto sin control puede generar partículas en suspensión que afectan la calidad del aire.

Por el contrario, la reutilización del RAP contribuye a:

- Disminuir la extracción de agregados vírgenes.
- Reducir el consumo de combustibles fósiles en plantas de producción.
- Evitar la disposición de residuos de construcción y demolición (RCD).
- Reducir la huella de carbono de los proyectos viales.

El Instituto Mexicano del Transporte (2023) reporta que el uso del 30 % de RAP en mezclas asfálticas reduce las emisiones de CO₂ en aproximadamente un 22 %.

Desempeño de mezclas con RAP

Diversos estudios como Caputo et al. (2023) concluyen que el desempeño mecánico de las mezclas con RAP puede aceptable o acercarse al de las mezclas convencionales, siempre que se cumpla con un control de calidad adecuado. El uso de rejuvenecedores y emulsiones específicas permite restaurar las propiedades reológicas del ligante envejecido, mejorando la durabilidad del pavimento y su resistencia a la deformación plástica y fisuración.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo de esta investigación, se adoptan los siguientes conceptos clave:

- **Fresado asfáltico (RAP):** material granular compuesto por agregados y ligante asfáltico recuperado del mantenimiento de pavimentos.
- **Gestión de residuos:** conjunto de actividades orientadas a la recolección, transporte, tratamiento, reutilización o disposición final de materiales residuales.
- **Economía circular:** modelo productivo basado en la reducción, reutilización y reciclaje de recursos, minimizando el impacto ambiental.
- **Sostenibilidad vial:** principio que busca equilibrar el desarrollo de la infraestructura con la protección ambiental y el bienestar social.
- **Gestión de proyectos:** aplicación de conocimientos, habilidades y herramientas para cumplir con los objetivos de un proyecto (PMBOK, 2021).

4.4 MARCO LEGAL

El marco legal colombiano establece directrices para la gestión y aprovechamiento del fresado asfáltico:

1. **Resolución 3920 de 2024 (INVIAS):** adopta la Cartilla de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso del Material Recuperado (RAP), definiendo requisitos técnicos de calidad, control y trazabilidad.
2. **Resolución 472 de 2017 (Ministerio de Ambiente):** regula la gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD), incluyendo materiales asfálticos.
3. **Resolución N.º 4428 del 28 de octubre de 2011:** donde adopta la Guía para el reciclaje de pavimento asfáltico in situ estabilizado con aditivos bituminosos y/o hidráulicos y la Guía para la estabilización del material producto del reciclaje en frío de pavimentos asfálticos
4. **Decreto 1076 de 2015:** establece disposiciones sobre licencias ambientales para actividades de disposición y aprovechamiento de materiales.
5. **Decreto 507 de 2023:** promueve la economía circular en obras públicas.
6. **Ley 99 de 1993:** crea el Ministerio de Ambiente y establece los principios de desarrollo sostenible.

Este marco normativo constituye la base para la implementación de estrategias sostenibles en el sector vial colombiano.

4.5 MARCO GEOGRAFICO

La presente investigación se ubica en el contexto territorial de Colombia, país que cuenta con una red vial nacional de más de 206.000 kilómetros, de los cuales cerca del 80 % corresponde a pavimentos asfálticos (Ministerio de Transporte, 2024). El país atraviesa un proceso de modernización y rehabilitación de su infraestructura vial, impulsado por los programas de concesiones 4G y 5G, los cuales generan un volumen considerable de materiales fresados durante las actividades de mantenimiento y recuperación de la carpeta asfáltica.

En particular, el estudio toma como referencia el Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar, administrado por la Concesión Alto Magdalena S.A.S., ubicado entre los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Caldas. Este corredor forma parte de la conexión estratégica entre el centro y el norte del país, integrando los municipios de Girardot, Guataquí, Nariño, Honda, La Dorada y Puerto Salgar. La longitud total del proyecto es de aproximadamente 190 kilómetros, e incluye tramos de doble calzada, puentes y obras de mantenimiento periódico.

La zona presenta condiciones topográficas variadas, con presencia de climas cálidos y húmedos, suelos de origen aluvial y montañoso así como un tráfico vehicular mixto compuesto por transporte de carga y automóviles particulares. Estas características influyen directamente en el deterioro de los pavimentos y, por tanto, en la generación de grandes volúmenes de fresado asfáltico (RAP) durante los procesos de mantenimiento.

4.6 MARCO DEMOGRAFICO

Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar, localizado en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Caldas. Esta zona abarca comunidades urbanas y rurales distribuidas en municipios con dinámicas sociales y económicas vinculadas estrechamente al sector transporte, comercio y turismo.

Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2024), la población total estimada en los municipios del corredor asciende a aproximadamente 270.000 habitantes, distribuidos de la siguiente manera.

Tabla 1

Distribución demográfica

Municipio	Departamento	Número de habitantes
Girardot	Cundinamarca	105000
Nariño y Guataqui	Cundinamarca	18000
Honda	Tolima	32000
La Dorada	Caldas	90000
Puerto Salgar	Cundinamarca	25000
Población total estimada		270000

Nota: Elaboración propia (2025)

La población en esta región presenta una estructura mayoritariamente adulta joven (entre 25 y 45 años), con una ligera predominancia del sexo femenino (52 % mujeres y 48 % hombres). En cuanto al nivel educativo, predomina la educación secundaria completa y media técnica, siendo el sector servicios, comercio y transporte los principales empleadores de la zona.

La ubicación estratégica de estos municipios dentro del eje logístico nacional ha promovido el crecimiento del tránsito vehicular y del empleo en obras de infraestructura vial, lo que genera impactos directos sobre las comunidades locales. Estas poblaciones participan de manera activa en las labores de mantenimiento y operación de la concesión vial, así como en actividades de apoyo al transporte y al comercio.

Desde la perspectiva social, el aprovechamiento sostenible del fresado asfáltico (RAP) no solo contribuye a la preservación ambiental, sino que también favorece la generación de empleo local y la formación técnica en procesos de reciclaje de materiales y control de calidad. De esta manera, la gestión adecuada de los residuos viales puede convertirse en un instrumento para mejorar las condiciones socioeconómicas de la

población de influencia, alineándose con los principios del ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico) y del ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles).

5. DELIMITACION

El presente trabajo se delimita espacialmente al territorio comprendido por el Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar, administrado por la Concesión Alto Magdalena S.A.S., ubicado en los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Caldas. Esta zona constituye un escenario representativo para el análisis de la gestión y aprovechamiento del fresado asfáltico (RAP) en Colombia, debido a su alta actividad vial, su diversidad geográfica y la presencia de procesos continuos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

En cuanto a la delimitación temporal, la investigación abarca el período comprendido durante el año 2024, lapso en el que se han desarrollado proyectos de conservación y rehabilitación vial en el corredor, bajo las políticas de sostenibilidad y economía circular impulsadas por el INVIAS, la ANI y el Ministerio de Transporte. Este periodo permite analizar las estrategias recientes de aprovechamiento del fresado asfáltico implementadas en el marco de las concesiones de Cuarta Generación (4G) y su proyección hacia los programas de Quinta Generación (5G).

Asimismo, el estudio se delimita temáticamente al análisis técnico, ambiental y de gestión de proyectos relacionados con la reutilización del fresado asfáltico (RAP) en obras de rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles. No se contemplan en esta investigación los procesos de reciclaje de concreto hidráulico, ni los estudios experimentales de laboratorio, dado que el enfoque es principalmente de compilación documental.

Tabla 2

Delimitación de la investigación

Tipo de delimitación	Descripción
Delimitación espacial	La investigación se desarrolla en el Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar, administrado por la Concesión Alto Magdalena S.A.S., el cual atraviesa los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Caldas. Este corredor constituye un eje vial estratégico que conecta el centro del país con el Magdalena Medio y el norte de Colombia.

Delimitación temporal	El estudio abarca el período comprendido durante el año 2024, correspondiente a la ejecución y seguimiento de las obras de mantenimiento y rehabilitación vial bajo el modelo de concesiones 4G.
Delimitación temática	El trabajo se enfoca en la investigación del aprovechamiento sostenible del fresado asfáltico (RAP) dentro de los proyectos de rehabilitación y mantenimiento de pavimentos flexibles, considerando aspectos técnicos, ambientales y de gestión de proyectos. No incluye ensayos de laboratorio ni reciclaje de concreto hidráulico. Tampoco incluye un valor cuantitativo del ahorro en los costos de fabricación de mezclas asfálticas recuperadas.

Nota: Elaboración propia (2025)

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El estudio se enmarca en una investigación descriptiva, de compilación documental y aplicada con un enfoque cualitativo.

- Descriptiva, porque busca caracterizar la situación actual del manejo y aprovechamiento del fresado asfáltico en Colombia, identificando las técnicas de reciclado más usadas, limitaciones y potencial de uso en proyectos de rehabilitación vial.
- Documental, porque se fundamenta en la revisión y análisis de fuentes secundarias como informes técnicos, normas, artículos científicos, manuales del INVIAS y reportes de sostenibilidad de concesiones viales.
- Enfoque cualitativo, ya que interpreta políticas, criterios técnicos y ambientales con un componente.

6.1 METODO DE INVESTIGACION

Se empleó el método analítico–descriptivo, que permite observar y analizar la situación actual del manejo del fresado asfáltico para explicar sus usos y beneficios en materia de medio ambiente.

Este método se complementó con un breve estudio de caso donde se busca indagar sobre el uso del fresado específicamente en la concesión Alto Magdalena (corredor vías, Girardot – Honda – Puerto Salgar).

El proceso metodológico siguió las siguientes etapas:

1. Revisión bibliográfica y normativa: recopilación de información técnica, ambiental y legal sobre el uso del RAP.
2. Caracterización del contexto nacional: análisis de la situación actual del aprovechamiento del fresado en Colombia y las políticas vigentes del INVIAS y la ANI.
3. Selección del caso de estudio: elección del Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar (Concesión Alto Magdalena) como ejemplo representativo del contexto vial colombiano.
4. Análisis de la información recolectada: interpretación de datos cuantitativos (porcentajes de RAP reutilizado, costos, emisiones) y cualitativos (gestión, prácticas, dificultades).
5. Formulación de lineamientos técnicos y de gestión: desarrollo de una propuesta metodológica para la implementación sostenible del RAP en el proyecto Concesión Alto Magdalena S.A.S.

6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población objeto de estudio corresponde al proyecto de operación, mantenimiento y rehabilitación de pavimentos asfálticos de la Concesión Alto Magdalena en Colombia, ejecutada por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Debido a la naturaleza documental del trabajo, la muestra se conformó por informes y registros técnicos publicados durante el año 2024, seleccionados bajo criterios de relevancia y disponibilidad. Dentro de esta muestra se destacan:

- Informes de gestión ambiental y técnica de la Concesión Alto Magdalena.
- Cartillas y resoluciones del INVIAS (2018–2024) relacionadas con el manejo del RAP.
- Publicaciones académicas y normativas del DANE, IDEAM y Ministerio de Transporte.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

La investigación utilizó técnicas de carácter documental y analítico, tales como:

- Revisión bibliográfica y documental: consulta sistemática de fuentes primarias y secundarias (artículos científicos, informes técnicos, normas, tesis y documentos institucionales).
- Análisis de contenido: identificación de variables clave relacionadas con el uso, manejo y aprovechamiento del fresado asfáltico.
- Sistematización de información: elaboración de cuadros y tablas comparativas que resumen las experiencias nacionales e internacionales.
- Análisis estadístico descriptivo: cálculo de porcentajes y rangos de aprovechamiento del RAP, a partir de datos publicados por organismos oficiales.

Los instrumentos empleados fueron fichas de análisis documental, matrices de datos y registros bibliográficos, lo que permitió organizar la información según categorías técnicas, económicas y ambientales.

6.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo mediante las siguientes fases:

Fase 1 – Planeación: Definición del problema, formulación de los objetivos, delimitación del tema y selección de fuentes de información.

Fase 2 – Recolección de información: Búsqueda y clasificación de documentos técnicos, normativos y científicos sobre la gestión del RAP en Colombia y en el contexto internacional.

Fase 3 – Análisis e interpretación: Procesamiento de la información recolectada, elaboración de cuadros comparativos, análisis de cifras y tendencias, y revisión de las prácticas actuales en concesiones viales.

Fase 4 – Síntesis y propuesta: Redacción del marco teórico y conceptual, interpretación de resultados y formulación de lineamientos de gestión sostenible aplicables a proyectos viales.

Fase 5 – Conclusiones y validación: Integración de los hallazgos, evaluación de la viabilidad técnica y ambiental de la propuesta, y elaboración del documento final bajo normas ICONTEC y APA.

6.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Entre las principales limitaciones encontradas se destacan:

- Escasa disponibilidad de datos consolidados sobre el volumen total de fresado reutilizado en el país.
- Falta de estudios experimentales recientes sobre desempeño del RAP en condiciones locales.
- Dificultad de acceso a información técnica interna de las concesiones viales.
- Carencia de un sistema nacional de indicadores sobre sostenibilidad en pavimentos.

No obstante, estas limitaciones no afectan la validez del estudio, ya que los resultados se sustentan en fuentes verificables y actualizadas, representativas del contexto vial colombiano.

7. RECURSOS

7.1 HUMANO

El desarrollo de la presente monografía requiere de la participación de un equipo humano interdisciplinario, compuesto por profesionales, estudiantes e instructores con formación en el área de la ingeniería civil y la gestión de proyectos. El recurso humano constituye uno de los elementos fundamentales para garantizar la calidad, validez y pertinencia del proceso investigativo.

En primer lugar, los **autores del proyecto, Cristian Alfonso Rodríguez Sánchez y Jorge Mario Leiva Giraldo**, estudiantes de Ingeniería Civil de la **Universidad Piloto de Colombia – Seccional del Alto Magdalena**, son los responsables de la elaboración integral del documento. Su labor abarca la formulación del problema, el desarrollo teórico, la recolección y análisis de información, la redacción de los capítulos y la aplicación de la metodología bajo los lineamientos académicos establecidos por la universidad.

El trabajo cuenta con la **orientación y acompañamiento del tutor, Ingeniero Michael Afranio Diaz**, quien brinda asesoría técnica, metodológica y académica durante todas las etapas del proceso investigativo. Su función consiste en garantizar la coherencia entre los objetivos del trabajo, la estructura metodológica y la calidad de los resultados obtenidos.

De igual forma, se contempla la **colaboración indirecta** de profesionales del sector vial y ambiental, tales como ingenieros residentes, supervisores de concesiones viales y técnicos de laboratorio, quienes proporcionan información de carácter técnico y operativo sobre el manejo del fresado asfáltico en obras de mantenimiento y rehabilitación.

Finalmente, el recurso humano cuenta con el **apoyo institucional** de la Universidad Piloto de Colombia, que suministra la infraestructura académica, las bases de datos, las herramientas informáticas y la orientación docente necesarias para el desarrollo de la investigación.

En conjunto, el recurso humano involucrado combina conocimientos teóricos, experiencia técnica y criterio analítico, lo cual permite abordar el tema del aprovechamiento del fresado asfáltico (RAP) desde una perspectiva integral que articula los aspectos técnicos, ambientales y de gestión de proyectos.

7.2 MATERIAL

En el desarrollo de la presente monografía, los principales materiales y equipos empleados fueron los siguientes:

Equipos y herramientas tecnológicas

- **Computador portátil** con capacidad de procesamiento avanzado, indispensable para la redacción del documento, análisis de información y elaboración de tablas y gráficos estadísticos.
- **Software de oficina Microsoft 365 (Word, Excel y PowerPoint)**, empleado para la estructuración del documento, organización de bases de datos y presentación de resultados.
- **Software AutoCAD Civil 3D y QGIS**, utilizados para la visualización geográfica del corredor vial Girardot–Honda–Puerto Salgar, la elaboración de croquis de localización y la interpretación de planos técnicos.
- **Plataformas de búsqueda académica en línea**, como *Google académico*, *Scielo*, entre otras para la obtención de artículos científicos y publicaciones técnicas sobre reciclaje asfáltico.

Material bibliográfico y documental

La investigación se fundamentó en el análisis de fuentes documentales especializadas y normativas reales, entre las cuales se destacan:

- **Instituto Nacional de Vías – INVIAS.** (2024). *Cartilla de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso del Material Recuperado (RAP)*. Bogotá, Colombia.
- **Ministerio de Transporte de Colombia.** (2023). *Política Nacional de Infraestructura Sostenible y Economía Circular*. Bogotá, Colombia.
- **Agencia Nacional de Infraestructura – ANI.** (2023). *Informe de sostenibilidad: Concesiones 4G y gestión ambiental en proyectos viales*. Bogotá, Colombia.
- **Instituto Mexicano del Transporte – IMT.** (2023). *Evaluación técnica y ambiental del uso del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en mezclas asfálticas*. Querétaro, México.
- **National Asphalt Pavement Association – NAPA.** (2023). *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Asphalt Mixtures: State of Practice*. Maryland, EE. UU.
- **Project Management Institute – PMI.** (2021). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), Séptima edición*. Newtown Square, PA: PMI.

Estos documentos constituyen la base técnica y normativa que orientó el análisis sobre la gestión, el aprovechamiento y los beneficios del fresado asfáltico en el contexto colombiano.

Recursos de apoyo institucional

- **Biblioteca virtual y física de la Universidad Piloto de Colombia – Seccional Alto Magdalena**, donde se consultaron fuentes académicas especializadas en ingeniería civil y sostenibilidad.
- **Repositorio institucional de trabajos de grado**, que permitió revisar antecedentes de investigaciones similares sobre materiales reciclados en infraestructura vial.

Material de consulta técnica y de campo

Aunque la investigación es de carácter documental, se apoyó en **observaciones indirectas y registros técnicos** disponibles en los informes de la **Concesión Alto Magdalena S.A.S. (2024)**, donde se detallan las actividades de mantenimiento y rehabilitación vial.

Estos informes incluyen la descripción de maquinaria especializada para fresado como:

- **Fresadora Wirtgen W150 CF**: utilizada para el retiro de capas de pavimento en mal estado.
- **Compactadores vibratorios HAMM HD90**: para la conformación de capas instaladas.
- **Terminadora de asfalto VOGUELE**, Para la extensión y conformación de las capas de asfalto instaladas

Estos equipos representan tecnologías modernas que permiten optimizar la reutilización del fresado y reducir el consumo de recursos naturales, en coherencia con los principios del desarrollo sostenible y la economía circular.

8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

8.1 Diagnóstico de la situación actual del manejo del RAP en Colombia y el exterior.

Aunque la adopción de la *Cartilla de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso del Material Recuperado de Pavimentos Asfálticos (RAP)* por parte de INVÍAS en 2024 marca un avance normativo, la literatura técnica indica que el uso del RAP en Colombia aún está en fases iniciales y que no existe (o no está consolidada públicamente) una estadística nacional única sobre el porcentaje de fresado reutilizado; diversos estudios y publicaciones disponibles reportan aplicaciones experimentales y porcentajes de mezcla típicos (p.ej. 10–30 %) en casos específicos.

La falta de normativas obligatorias y la ausencia de incentivos económicos son factores que restringen la adopción del reciclaje asfáltico a gran escala. En contraste, países como **Estados Unidos** reportan tasas de reutilización del 93% aproximadamente, gracias a políticas regulatorias estables y tecnologías avanzadas, Asociación Nacional de Pavimentos Asfálticos (NAPA) tomado de la cartilla de buenas prácticas para el manejo y uso de RAP

En Colombia, el Plan Nacional de Infraestructura Sostenible (Ministerio de Transporte, 2023) promueve la adopción de prácticas de economía circular, pero su implementación depende en gran medida de la capacidad técnica de las concesiones y de la disponibilidad de plantas de asfalto con sistemas de reincorporación de RAP.

Diversos estudios técnicos, por ejemplo, del IMT en México e INVÍAS (2024) indican que una insuficiente caracterización previa del material fresado puede comprometer la calidad del producto final de mezcla con RAP. En Colombia, aunque la normativa empieza a incorporar el RAP, no existe hasta la fecha una documentación pública consolidada que permita afirmar qué concesiones han desarrollado protocolos completos de segregación, almacenamiento y control de calidad del material fresado.

8.2 Principales técnicas y procesos de reincorporación del fresado en nuevas mezclas asfálticas, según la *Cartilla de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso del Material Recuperado de Pavimentos Asfálticos (RAP)*

Reciclado en planta en caliente: Uno de los procedimientos más empleados para reincorporar el pavimento asfáltico reciclado (RAP) en la elaboración de nuevas mezclas es el reciclaje en planta en caliente, en este proceso el material recuperado fresado, se combina en una planta de mezclas asfálticas, ya sea de tipo continuo o discontinuo, junto con agregados y ligante asfáltico nuevos. En términos generales, el contenido de RAP en este tipo de mezclas oscila entre el 5 % y el 50 %.

En la elaboración de mezclas asfálticas en caliente dentro de una planta, se pueden aplicar distintos procedimientos operativos. Entre ellos se encuentran: el precalentamiento del material reciclado (RAP) y el supercalentamiento de los agregados vírgenes para permitir la transferencia de calor; el calentamiento simultáneo del RAP y los agregados nuevos hasta alcanzar una misma temperatura; o la incorporación del RAP previamente precalentado durante la etapa de mezclado.

Una vez que tanto los agregados como el RAP alcanzan la temperatura adecuada, se procede a añadir el ligante asfáltico, con o sin la adición de rejuvenecedor, para obtener una mezcla lista para su extendido y compactación. Es importante señalar que, para incorporar RAP en una nueva mezcla asfáltica, se debe aplicar un método de dosificación o diseño de mezcla apropiado, además de mantener controles de seguridad y calidad durante todas las etapas del proceso, desde la producción hasta la colocación en obra.

Reciclado en planta en frío: El reciclaje del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en planta en frío comparte varias etapas con el proceso en caliente, particularmente en lo relacionado con la recuperación, trituración y almacenamiento del material. No obstante, presenta como principal diferencia que, durante las operaciones en planta, ni los agregados vírgenes ni el RAP son sometidos a calentamiento, limitándose únicamente a realizar el mezclado de los componentes.

Debido a que se trata de mezclas en frío, no es posible emplear asfaltos convencionales; por tal motivo, se utilizan emulsiones asfálticas, y de manera habitual se adiciona cal hidratada o cemento Portland como agentes estabilizantes o aglutinantes.

Una característica distintiva de este método es la posibilidad de incorporar hasta un 100 % de RAP en la mezcla. Entre sus ventajas se destaca el mayor control en el diseño y la producción, así como el mejoramiento de la resistencia y el desempeño del material final. Esta tecnología se emplea principalmente para rehabilitar capas estructurales que presentan daños tanto en la base como en la carpeta asfáltica.

Como limitación, las capas producidas mediante este proceso requieren ser protegidas con un tratamiento superficial o una capa de mezcla asfáltica en caliente, a fin de evitar el deterioro causado por la humedad, la abrasión y el tránsito vehicular.

Reciclado in situ en caliente: En este tipo de intervenciones, el procedimiento inicia con el ablandamiento del pavimento existente mediante la aplicación de calor. Posteriormente, se realiza la escarificación o remoción del material, seguido por la mezcla del pavimento retirado con agentes rejuvenecedores, asfalto virgen o una nueva mezcla asfáltica. Finalmente, la mezcla resultante es extendida y compactada para conformar nuevamente la capa superficial.

Para esto se utiliza una serie de equipos especializados. El primer equipo corresponde a una unidad pre calentadora encargada de elevar la temperatura del pavimento existente, seguida de una unidad calentadora y recicladora, la cual incrementa aún más la temperatura del material y lo escarifica mediante un sistema de dientes fijos que, simultáneamente, aplican los agentes recicladores. Este proceso inicial de calentamiento reproduce las condiciones de una planta de producción, aunque las unidades calentadoras aplican calor directo al material con el fin de alcanzar una temperatura adecuada en un tiempo reducido. Dicho efecto permite activar el asfalto residual, pero también puede provocar su sobrecalentamiento o combustión; por ello, resulta indispensable controlar la intensidad del calor, el tiempo de exposición y las condiciones de mezclado, entre otros factores operativos.

Mediante el uso de un barreno, la capa asfáltica envejecida se combina con una nueva mezcla asfáltica, con asfalto virgen o con un agente rejuvenecedor. Posteriormente, tras ser extendida, la mezcla es compactada con un rodillo neumático para alcanzar la densidad requerida y obtener el acabado final.

El método de reciclado in situ en caliente se emplea para la rehabilitación de pavimentos asfálticos que presentan deterioros superficiales leves, tales como descascaramientos, fisuras, surcos menores o exudaciones, siempre que la estructura del pavimento no se encuentre comprometida. Esta técnica se aplica principalmente para recubrir agregados pulidos, reconformar coronas o drenajes, ajustar gradaciones, mejorar la fricción superficial o corregir ondulaciones. La profundidad típica de intervención varía entre 20 mm y 50 mm, siendo 25 mm la más frecuente.

Reciclado in situ en frío: El reciclado en frío y en sitio constituye una técnica empleada para la rehabilitación de pavimentos asfálticos existentes, mediante la reutilización del material previamente colocado. Este proceso consiste en la mezcla del pavimento recuperado con materiales vírgenes, agentes rejuvenecedores, emulsiones asfálticas o asfaltos espumados, sin que sea necesario incrementar la temperatura del material durante la operación.

El reciclado en sitio puede desarrollarse de dos formas principales. La primera corresponde al reciclado de profundidad total, en el cual las capas ligadas (mezcla asfáltica) y no ligadas (bases y subbases) son trituradas y combinadas con asfaltos o emulsiones para conformar una nueva base estabilizada. La segunda modalidad es la de profundidad parcial, que implica la trituración de una sección limitada de la capa asfáltica, generalmente entre 50 mm y 100 mm, con el fin de generar una nueva mezcla. Este último procedimiento resulta especialmente adecuado para vías con bajos volúmenes de tránsito.

El proceso constructivo inicia con el fresado del pavimento existente, seguido de la adición de agentes rejuvenecedores y materiales vírgenes, para posteriormente proceder con la extensión y compactación de la mezcla resultante. En este tipo de reciclado puede

emplearse un solo equipo capaz de ejecutar, en una sola pasada, la rotura, pulverización y adición del agente rejuvenecedor.

Esta técnica se utiliza principalmente para corregir patologías estructurales y funcionales del pavimento, tales como fisuras transversales y longitudinales, ahuellamientos, baches y desgastes superficiales, además de permitir la restauración de la corona y la pendiente transversal de la vía. Entre sus principales ventajas se destacan la conservación del perfil original, la reducción del impacto ambiental al evitar el consumo energético por calentamiento, la disminución de los costos de mantenimiento y la mínima interferencia con el tránsito vehicular. No obstante, se debe considerar que la calidad final del pavimento reciclado en frío puede ser inferior a la obtenida con procesos de reciclado en caliente.

En conclusión, la mayor ventaja del reciclado en sitio radica en la reducción o eliminación del transporte de materiales, lo que representa una alternativa óptima en zonas alejadas donde los costos logísticos son elevados. Este método permite aprovechar al máximo los materiales existentes, reducir los costos de ejecución y mitigar los impactos ambientales asociados a la construcción vial.

8.3 Beneficios ambientales del aprovechamiento del RAP

El manejo inadecuado del fresado puede generar contaminación del suelo y cuerpos de agua debido a los hidrocarburos presentes en el asfalto envejecido, además, el almacenamiento a cielo abierto sin control puede generar partículas en suspensión que afectan la calidad del aire.

Por el contrario, la reutilización del RAP contribuye a:

- Disminuir la extracción de agregados vírgenes.
- Reducir el consumo de combustibles fósiles en plantas de producción.
- Evitar la disposición de residuos de construcción y demolición (RCD).
- Reducir la huella de carbono de los proyectos viales.

El Instituto Mexicano del Transporte (2023) reporta que el uso del 30 % de RAP en mezclas asfálticas reduce las emisiones de CO₂ en aproximadamente un 22 %.

La utilización de pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la elaboración de mezclas asfálticas permite disminuir de manera considerable la demanda de agregados naturales, el consumo de energía durante el proceso de producción, ahorro del agua y las emisiones de gases de efecto invernadero, (Zhao et al., 2021). La magnitud de estos beneficios varía en función del porcentaje de RAP incorporado, la temperatura de producción y las tecnologías aplicadas. En general, se ha comprobado que el empleo de altos contenidos de RAP y la implementación de mezclas producidas a temperaturas reducidas contribuyen a disminuir de forma significativa la huella de carbono, mientras que el uso de tecnologías de mezcla en caliente o tibia favorece una reducción adicional en los requerimientos energéticos y las emisiones asociadas al proceso constructivo.

8.4 Aplicación al caso del corredor vial Girardot–Honda–Puerto Salgar

El Corredor Vial Girardot–Honda–Puerto Salgar, operado por la Concesión Alto Magdalena S.A.S., constituye un escenario ideal para aplicar los principios de gestión sostenible del fresado asfáltico. Este proyecto, con una longitud total de 190 kilómetros, incluye tramos de doble calzada, obras de rehabilitación y mantenimiento periódico.

Ilustración 2

Actividad de fresado en mantenimiento del corredor vial



Nota: Francisco Triana – Inspector de mantenimiento, Concesión Alto Magdalena

Ilustración 3

Actividad de fresado en mantenimiento del corredor



Nota: Francisco Triana – Inspector de mantenimiento, Concesión Alto Magdalena

Ilustración 4

Actividad de fresado en mantenimiento del corredor vial



Nota: Francisco Triana – Inspector de mantenimiento, Concesión Alto Magdalena

Según el Informe Ambiental de la Concesión Alto Magdalena (ANI, 2024), en los trabajos de mantenimiento realizados durante el año 2024 se generaron aproximadamente 3200 m³ de fresado asfáltico, sin embargo, no se encontró información relacionada con la disposición del fresado y no se obtuvo repuesta oficial por parte de la concesión.

No obstante, se logró agendar una entrevista presencial con el ingeniero Jadir López, residente de mantenimiento de la Concesión Alto Magdalena, quien manifestó que no se cuenta con un plan de gestión para el manejo de los residuos de asfalto, en cambio una pequeña parte es donada a las comunidades aledañas, pero la mayor parte

del residuo es recolectada, transportada y acopiada en las plantas de asfalto de los socios constructores, (Ingeniería de vías, pavimentos Colombia, Mario Huertas Cote y Constructora MECO), para posiblemente reciclarlo en planta.

Ilustración 5

Donación de material fresado a comunidades aledañas



Nota: Francisco Triana – Inspector de mantenimiento, Concesión Alto Magdalena

Ilustración 6

Donación de material fresado a comunidades aledañas



Nota: Francisco Triana – Inspector de mantenimiento, Concesión Alto Magdalena

Ilustración 7

Acopio de material fresado sin ninguna medida de control



Nota: Francisco Triana – Inspector de mantenimiento, Concesión Alto Magdalena

La propuesta plantea incrementar este aprovechamiento hasta un **20 %** mediante la implementación de las siguientes estrategias:

- Construcción de un centro de acopio y clasificación en la zona de Cambao, Cundinamarca)
- Establecimiento de convenios con universidades y laboratorios locales para la caracterización del material.
- Inclusión de indicadores ambientales y de economía circular en los informes de gestión de la concesión.

Estas acciones no solo optimizan los recursos y reducen el impacto ambiental, sino que también fortalecen la sostenibilidad operativa del proyecto y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9, 11, 12 y 13.

8.5 Propuesta de lineamientos para la gestión sostenible del RAP

Con base en la revisión bibliográfica y normativa, se proponen los siguientes lineamientos de gestión sostenible aplicables a los proyectos viales colombianos:

1. **Plan de manejo del fresado:** establecer un protocolo que incluya la identificación, cuantificación, transporte y almacenamiento del material recuperado, conforme a la *Cartilla de Buenas Prácticas INVIAS (2024)*.
2. **Clasificación del RAP:** implementar sistemas de separación por tamaño y calidad del material para facilitar su reincorporación según el tipo de mezcla (base, binder o carpeta de rodadura).
3. **Control de calidad:** realizar ensayos de granulometría, contenido de ligante y resistencia Marshall antes de reincorporar el material en planta.
4. **Optimización logística:** diseñar zonas de acopio impermeabilizadas y cercanas a la planta de producción, reduciendo el transporte y las emisiones.
5. **Capacitación técnica:** promover la formación de operarios, técnicos e ingenieros en prácticas de reciclaje asfáltico y sostenibilidad vial.
6. **Gestión de proyectos y sostenibilidad:** incorporar en los planes de ejecución indicadores ambientales y de economía circular, conforme al **PMBOK (2021)** y al **ODS 12 (Producción y consumo responsables)**.

8.6 Impactos esperados

La aplicación de los lineamientos propuestos permitiría alcanzar los siguientes impactos:

- **Ambientales:** reducción del 25 % en la disposición de residuos y del 20 % en las emisiones de CO₂.
- **Económicos:** disminución de costos de mezcla entre 20 % y 30 %.
- **Sociales:** generación de empleo técnico en actividades de reciclaje y operación de planta.
- **Institucionales:** fortalecimiento de la gestión sostenible en las concesiones viales colombianas.

Estos impactos consolidan el papel del ingeniero civil como agente clave en la transición hacia una infraestructura más resiliente y responsable con el medio ambiente.

9. CONCLUSIONES

El análisis evidenció que, pese a los avances normativos del Instituto Nacional de Vías con la Resolución 3920 de 2024, el manejo del fresado asfáltico en Colombia aún carece de una gestión integral, el aprovechamiento del RAP en Colombia es incipiente con reportes anecdóticos que oscilan entre el 10 % y el 30 % que carecen de estadísticas oficiales consolidadas, a diferencia de países como Estados Unidos, donde la reutilización alcanza el 93 % y Bélgica, que reporta casi un 100 % las principales barreras identificadas son la ausencia de normativas de cumplimiento obligatorio, la falta de incentivos económicos y la desigual capacidad técnica entre las concesiones viales. En consecuencia, se evidencia una brecha significativa entre la normativa vigente y su aplicación práctica, lo que limita la adopción de una política nacional de economía circular en el sector vial y restringe el aprovechamiento de un recurso con alto potencial técnico, ambiental y económico.

El estudio permitió determinar que las técnicas de reciclaje en planta —en caliente y en frío— representan las opciones más viables para la reincorporación del fresado en nuevas mezclas asfálticas, dependiendo del tipo de vía y las condiciones operativas. No obstante, la selección del método adecuado exige un control riguroso de la granulometría, el contenido de ligante y el porcentaje de RAP incorporado. La ausencia de procedimientos estandarizados en campo limita la calidad del producto final, por lo que se requiere fortalecer la capacitación técnica y la supervisión de los procesos constructivos para garantizar mezclas sostenibles y de alto desempeño.

Los resultados confirman que el aprovechamiento del RAP contribuye significativamente a la reducción de impactos ambientales, al disminuir el consumo de agregados vírgenes, la emisión de CO₂ y la generación de residuos. Sin embargo, estos beneficios solo se materializan cuando el proceso de reciclaje se acompaña de una gestión ambiental planificada, evitando acopios incontrolados y prácticas que generen contaminación secundaria. En este sentido, el RAP no solo es un residuo aprovechable, sino una herramienta efectiva de mitigación climática.

El estudio del corredor vial Girardot–Honda–Puerto Salgar evidenció que la Concesión Alto Magdalena carece de un plan formal de gestión del fresado asfáltico, lo que refleja una limitada integración de criterios de sostenibilidad en sus procesos de mantenimiento. En el corredor analizado, los 3.200 m³ de fresado generados durante 2024 no cuentan con una estrategia estructurada de aprovechamiento, la práctica actual, basada en la donación de material a comunidades y el acopio en plantas de los socios constructores, demuestra la existencia de oportunidades de mejora significativas. En este contexto, la propuesta de establecer un centro de acopio y clasificación en Cambao, Cundinamarca, junto con convenios de cooperación técnica con universidades y laboratorios regionales, se presenta como una estrategia viable para alcanzar un nivel de aprovechamiento del 20 %. La implementación de estas medidas no solo optimizaría el uso del material recuperado, sino que también fortalecería la gestión ambiental y social

del proyecto, consolidando un modelo replicable de sostenibilidad vial aplicable a otras concesiones del país.

10.RECOMENDACIONES

Consolidar una política nacional de reutilización del fresado asfáltico (RAP) liderada por el INVIAS y la ANI, con lineamientos técnicos unificados que regulen la recolección, almacenamiento, clasificación y control de calidad del material. Esto garantizaría uniformidad en la aplicación del reciclaje vial y reduciría la disposición inadecuada de residuos en los proyectos de infraestructura.

Capacitar al personal técnico, operativo y administrativo de las concesiones viales en el manejo sostenible del RAP, con programas de formación sobre mezclas recicladas, emulsiones, rejuvenecedores y control de calidad. La transferencia de conocimiento es clave para garantizar resultados consistentes y duraderos.

Fortalecer la educación ambiental y la cultura técnica en sostenibilidad vial, incluyendo el tema del reciclaje de pavimentos en los programas académicos de ingeniería civil, como una competencia profesional esencial para la infraestructura del futuro.

Referencias

- Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (2024). *Informe ambiental anual de la Concesión Alto Magdalena S.A.S.* Bogotá, Colombia.
- Caputo, P., Eskandar Fat, S., Porto, M., Loise, V., Abe, A. A., Calandra, P., Venturini, L., & Oliviero Rossi, C. (2023). Effect and mechanism of rejuvenation of field-aged bitumen extracted from reclaimed asphalt pavement. *Transportation Research Procedia*, 69, 863-870. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.246>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2024). *Proyecciones de población municipal 2024*. <https://www.dane.gov.co>
- Flórez, K. D., Rey, K. Y. & Pinzón, D. A. (2025). Evaluación financiera del uso de fresado estabilizado como alternativa de mantenimiento para vías rurales en Bogotá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/95406>
- Instituto Mexicano del Transporte. (2023). *Evaluación técnica y ambiental del uso del pavimento asfáltico recuperado (RAP) en mezclas asfálticas*. Querétaro, México. <https://imt.mx>
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2024). *Cartilla de buenas prácticas para el manejo y uso del material recuperado de pavimentos asfálticos (RAP)*. Bogotá D.C., Colombia: Ministerio de Transporte. <https://www.invias.gov.co>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). *Política Nacional de Infraestructura Sostenible y Economía Circular*. Bogotá, Colombia.
- Padilla, A. (2018). *Análisis de los métodos de reciclaje en caliente y frío aplicados a concreto asfáltico, para la utilización en carpeta de rodadura en vías terciarias entre los años 2011- 2017 en Colombia*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. (2020). *Asphalt Pavement Recycling with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Zhao, Y., Ma, T., Liu, P., & Huang, X.** (2021). Life Cycle Assessment of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Hot Mix Asphalt Production: Environmental and Economic Impacts. *Sustainability*, 13(3), 1382.