

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL

Proyecto de innovación

Evaluación técnica de un concreto hidráulico con adición de fresado para la fabricación de elementos prefabricados

Álvaro Sandoval Reyes
Director General UAERMV

Camilo Enrique Marrugo Martínez
Gerente del Desarrollo, la Calidad y la Innovación

Humberto Ramírez Gómez
Director o Líder del Proyecto

Pedro Antonio Farieta Martínez
Generador o Patrocinador del Proyecto

BOGOTÁ D.C., **2024**

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN:	4
1. JUSTIFICACIÓN	6
2. ALCANCE	7
3. OBJETIVOS	7
3.1. Objetivo General	7
3.2. Objetivos Específicos	7
4. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO	7
4.1. Cemento	8
4.2. Agua	8
4.3. Aire	9
4.4. Agregados o áridos	9
4.5. Fresado	9
5. ANTECEDENTES	10
6. METODOLOGIA	12
6.1. Resistencia a la compresión	13
6.2. Resistencia a la flexión del concreto	13
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	13
7.1. Resistencia a la compresión	13
7.2. Resistencia a la flexión del concreto	15
8. Conclusiones	16
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	16

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Proporciones de las mezclas de fresado tratadas con cemento.	11
---	----

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Emisión de gases de efecto invernadero de las mezclas asfálticas.	4
Figura 2. Efecto del contenido de cemento en la resistencia del concreto.	8
Figura 3. Efecto del contenido de agua en la resistencia del concreto.	9
Figura 4. Resistencia a la compresión a diferentes edades.	11
Figura 5. Resistencia a la compresión de diferentes mezclas a diferentes edades de curado.	12

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vía	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

Figura 6. Resistencia a la compresión por edades.....	14
Figura 7. Módulo de rotura por edades.	15

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

INTRODUCCIÓN:

El uso de materiales reciclados en la construcción de pavimentos ha ganado relevancia en las últimas décadas debido a la creciente necesidad de prácticas sostenibles y eficientes en la ingeniería civil (Euch Khay et al., 2015). Dentro de estas prácticas, la incorporación de material fresado (también conocido como RAP, por sus siglas en inglés: Reclaimed Asphalt Pavement) en las mezclas de concreto hidráulico surge como una alternativa innovadora y ambientalmente responsable. Este enfoque no solo permite reducir la generación de residuos provenientes del mantenimiento y la rehabilitación de carreteras, sino que también promueve el ahorro de recursos naturales y económicos al reemplazar parcialmente los agregados vírgenes en la mezcla, además de evitar la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, dado que es conocido que la extracción de agregados vírgenes es la etapa del ciclo de vida de los concretos que más produce gases de efecto invernadero. En la Figura 1, se ejemplifica la cantidad de CO₂ que puede llegar a generar la producción de materias primas para la fabricación de distintos concretos asfálticos.

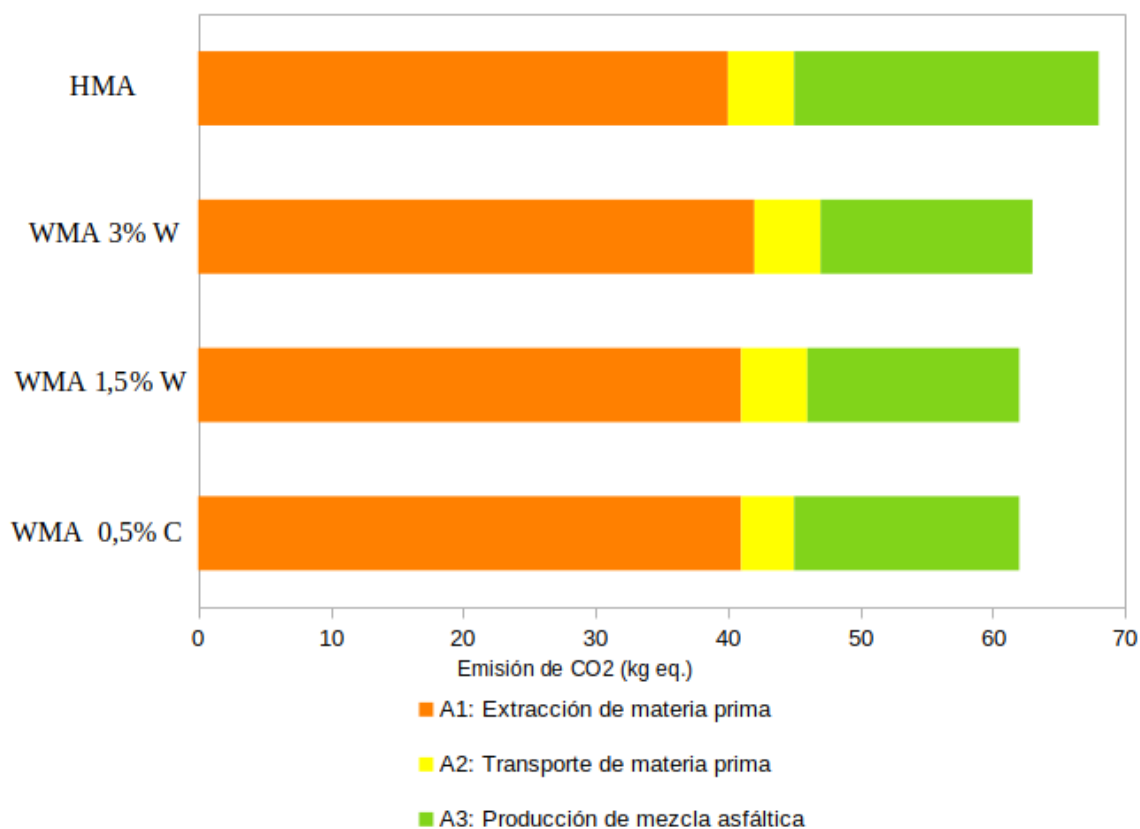


Figura 1. Emisión de gases de efecto invernadero de las mezclas asfálticas.
Adaptado de (Belc et al., 2021).

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

Investigadores como Euch Khay et al. (2015); Santos & Solarte (2017); Abraham & Ransinchung (2018); Divandary & Bashkoul (2018); El Euch Ben Said et al. (2018) encontraron que al agregar entre 20% y 60% de fresado al concreto hidráulico para pavimento rígido, se logra llegar a la resistencia a compresión característica a los 28 días. Particularmente, Santos & Solarte (2017) indican que la inclusión de hasta un 20% de fresado al concreto hidráulico, da cumplimiento a la normatividad del Instituto Nacional de vías (INVIAS) y la Norma Técnica Colombiana (NTC).

El uso de fresado como componente en mezclas de concreto no solo permite reducir la cantidad de residuos de pavimento que se generan en la rehabilitación y demolición de vías, sino que también ofrece un enfoque innovador para disminuir el consumo de agregados pétreos vírgenes, preservando así los recursos naturales. Este enfoque está alineado con los principios de la economía circular y la gestión eficiente de los residuos de construcción.

El material fresado, proveniente de la remoción de carpetas asfálticas en mal estado, presenta características físicas y mecánicas que pueden contribuir al desempeño estructural y durabilidad del concreto hidráulico. Sin embargo, su uso plantea desafíos técnicos relacionados con la compatibilidad entre los materiales, la variabilidad en las propiedades del fresado y su impacto en las propiedades del concreto, tales como la trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad a largo plazo (Aristizábal, 2021; Hormigón al día, 2021; Uygunoğlu et al., 2024).

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y ambiental de la inclusión de fresado en la fabricación de concreto hidráulico, con el fin de promover soluciones sostenibles en la construcción de infraestructuras viales. Para ello, se realizará un análisis experimental que permita identificar las proporciones óptimas para lograr un equilibrio entre sostenibilidad y desempeño. Este enfoque busca sentar las bases para una transición hacia prácticas de construcción más responsables y alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Plan de Desarrollo Distrital y el Plan Nacional de Desarrollo, contribuyendo al desarrollo de infraestructuras más sostenibles y resilientes.

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

1. JUSTIFICACIÓN

El **Plan Distrital de Desarrollo (PDD) “Bogotá Camina Segura” 2024-2028** tiene como objetivo fundamental mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando mayor seguridad, inclusión, libertad, igualdad de oportunidades y un acceso equitativo a bienes y servicios públicos. A través del fortalecimiento del tejido social, la construcción de confianza y el aprovechamiento del potencial de la sociedad y el territorio, el plan impulsa un modelo de desarrollo comprometido con la acción climática y la integración regional (Alcaldía de Bogotá, 2024).

El PDD establece cinco objetivos clave: Bogotá avanza en seguridad, Bogotá confía en su bienestar, Bogotá confía en su potencial, Bogotá ordena su territorio y avanza en su acción climática, y Bogotá confía en su gobierno.

En este contexto, la **Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV)** desempeña un papel crucial dentro del marco del plan "Bogotá Camina Segura" 2024-2027. Su labor se enfoca en transformar la ciudad hacia un modelo basado en el bienestar, la igualdad de oportunidades, la acción climática y la justicia ambiental. La presente investigación se justifica en su capacidad para identificar avances en el desarrollo de infraestructuras más resilientes, sostenibles y seguras, contribuyendo tanto al bienestar social como a la protección del medioambiente, en línea con los compromisos planteados para alcanzar los objetivos establecidos.

1. Alineación con el Plan Distrital de Desarrollo:

El PDD “Bogotá Camina Segura” establece una visión integral y sostenible para la ciudad. La investigación se orienta hacia el cumplimiento de uno de sus principales objetivos estratégicos:

- **Bogotá ordena su territorio y avanza en su acción climática:**
 - **Acción climática y justicia ambiental:** La UAERMV contribuye significativamente mediante la implementación de proyectos sostenibles a partir de la reutilización de materiales y eventual reducción de pasivos ambientales al evitarse la explotación de recursos naturales no renovables, para mejorar la infraestructura verde de la ciudad.
 - **Movilidad sostenible:** La UAERMV prioriza el mantenimiento y desarrollo de una red de movilidad sostenible. Estos esfuerzos incidirán positivamente en las condiciones sanitarias y ambientales, fomentando el uso adecuado del espacio público. A través de la aplicación de nuevas tecnologías y procedimientos innovadores y sostenibles, se busca mejorar la calidad ambiental de la atmósfera de la ciudad, alineándose con las políticas públicas distritales en materia de Ambiente, Gobierno y Planeación.

2. Contribución al Plan Nacional de Desarrollo:

La investigación también responde a los compromisos del **Plan Nacional de Desarrollo**, particularmente en la **meta 4: Transformación Productiva, Internacionalización y Acción Climática**. Se promueve un uso eficiente de los recursos para el desarrollo de ciudades y hábitats resilientes. El principal objetivo de la investigación es la implementación de materiales reciclados en la fabricación de prefabricados de concreto, lo que incluye la conservación y mantenimiento de pavimentos, protegiendo el medioambiente mediante la identificación (Gobierno Nacional de Colombia, 2023).

3. Cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

La investigación contribuye directamente a varios de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, entre ellos:

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura.** Fomenta la innovación y la investigación mediante la identificación de soluciones al impacto ambiental, y el cumplimiento de las metas de infraestructura sostenible mediante procesos industriales limpios.
- **ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles.** Se enfoca en reducir el impacto ambiental negativo, al reducir pasivos ambientales, dada la reducción del uso de agregados vírgenes.
- **ODS 12: Producción y consumo sostenibles.** Es fundamental promover el aprovechamiento de los recursos naturales no renovables, reutilizando materiales que, por sus características, puedan satisfacer las necesidades de forma eficiente y responsable.

En resumen, esta investigación se centra en realizar una mezcla de concreto hidráulico con remplazo parcial y/o total de los agregados vírgenes por fresado, buscando mejorar la calidad ambiental, contribuyendo a la creación de una ciudad más segura y saludable, en consonancia con los objetivos del PDD, el Plan Nacional de Desarrollo y los ODS.

2. ALCANCE

El presente proyecto se centra en evaluar mecánicamente la adición de fresado al concreto hidráulico producido por la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial para la fabricación de elementos prefabricados.

3. OBJETIVOS

La presente investigación, plantea los siguientes objetivos:

3.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica de la inclusión de fresado en el concreto hidráulico.

3.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar el material para ser utilizado en la producción de concreto hidráulico con fresado.
- Fabricar probetas de concreto hidráulico con fresado.
- Realizar ensayos de compresión simple y módulo de rotura.
- Evaluar el desempeño mecánico del concreto hidráulico con diferentes contenidos de fresado, comparándolo con el concreto hidráulico convencional.
- Evaluar la durabilidad del concreto hidráulico con diferentes contenidos de fresado, comparándolo con el concreto hidráulico convencional.
- Determinar el porcentaje óptimo de fresado agregado al concreto hidráulico.

4. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

En este apartado se revisan y analizan las teorías, enfoques y trabajos previos que tienen relación con el tema. Se explorarán los conceptos clave y teorías relevantes relacionados con el concreto hidráulico, proporcionando una visión integral de los enfoques que han sido utilizados para abordar la inclusión de fresado en el concreto hidráulico.

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

El concreto hidráulico es uno de los materiales más relevantes y usados en la industria de la construcción, considerado como la segunda sustancia más consumida sobre la tierra después del agua (Collivignarelli et al., 2020). El concreto hidráulico también conocido como hormigón está constituido por la mezcla de cemento hidráulico, arena, materiales granulares, agua y aire. El cemento es el material ligante, la arena y el cascajo son materiales de relleno, llamados también agregados; el agua es el elemento catalizador que reacciona con el cemento y hace que este desarrolle sus propiedades ligantes (Rochel, 1998).

La mezcla del cemento con el agua se denomina **PASTA**, que al mezclarse con los agregados pétreos proporcionan la resistencia mecánica. Dado que la arena y el cascajo son materiales de relleno, se logra que el concreto sea un material económico. Además, al utilizarse materiales inertes en el concreto, se controlan los cambios volumétricos (Rochel, 1998).

4.1. Cemento

La palabra cemento se emplea para designar a toda sustancia que posea propiedades ligantes, cualquiera que sea su origen. El cemento, tal como se usa en el hormigón, tiene la propiedad de formar una pasta para mezclarse con el agua, dicha pasta se endurece con el tiempo sin que las partículas lleguen a separarse, este proceso de endurecimiento de la pasta se denomina fraguado (Rochel, 1998). La Figura 2 muestra el efecto que tiene el contenido de cemento en la resistencia del concreto.

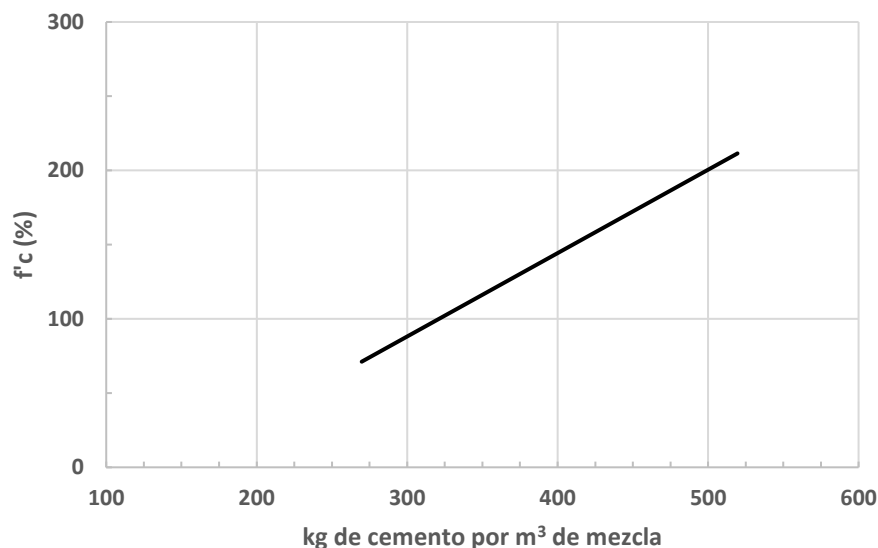


Figura 2. Efecto del contenido de cemento en la resistencia del concreto.

Adaptado de (Rochel, 1998).

4.2. Agua

El agua permite que el cemento pueda fraguar y le proporciona a la mezcla la fluidez necesaria para poderla manejar (Rochel, 1998). La Figura 3 muestra que el agua puede aumentar la resistencia del concreto hasta cierto punto y después de dicho punto, empieza a disminuir la resistencia especificada a la compresión del concreto a los 28 días (f'_c).

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

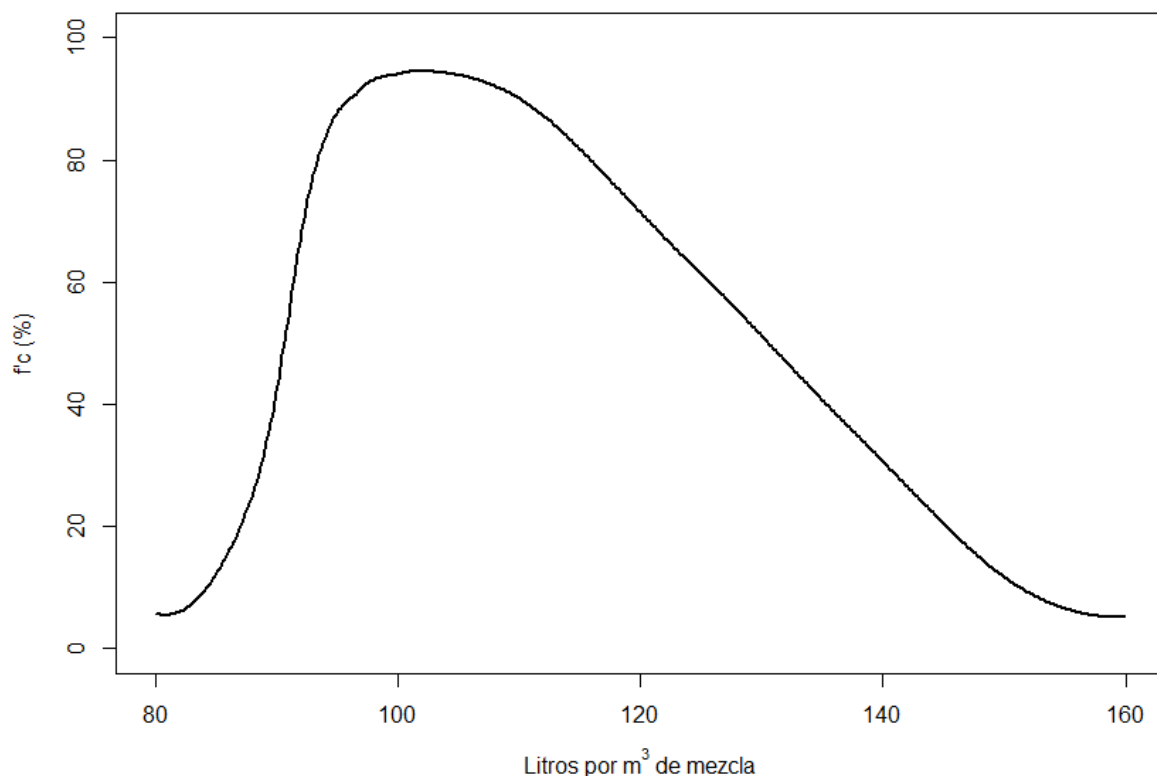


Figura 3. Efecto del contenido de agua en la resistencia del concreto.
Adaptado de (Rochel, 1998).

4.3. Aire

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa (aire naturalmente atrapado), el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado (Sánchez-De Guzmán, 2001).

4.4. Agregados o áridos

Son todos aquellos materiales que, poseyendo una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico, es decir, que son inertes y garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida. Estos materiales pueden ser naturales o artificiales (Sánchez-De Guzmán, 2001).

4.5. Fresado

Una vez los pavimentos flexibles alcanzan un grado de deterioro avanzado, se toman acciones para retirar la carpeta de rodadura (Unidad de Mantenimiento Vial, 2024). El método de demolición es

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

la demolición mecánica o fresado del material, luego de lo anterior, se lleva a una planta en donde se tritura según las necesidades determinadas.

4.6. NTC 4109

Es la Norma Técnica Colombiana que establece la clasificación, características físicas y mecánicas, la designación y los métodos de ensayo para bordillos, cunetas y topellantas de concreto, prefabricados, para uso en redes viales urbanas, carreteras nacionales o en zonas para uso peatonal (ICONTEC, 2018).

4.7. IDU 1000-18

Es una especificación del Instituto de Desarrollo Urbano, que tiene como alcance la descripción de las generalidades para los materiales, el proceso constructivo y los criterios de aceptación para el suministro y colocación de adoquines de arcilla y concreto para superficies de tránsito peatonal y tráfico vehicular; y para la colocación de losetas de concreto peatonal y de acceso vehicular (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018).

5. ANTECEDENTES

Diferentes son los estudios que han sido enfocados al concreto hidráulico. A continuación, se muestran algunas de las investigaciones que se han realizado al respecto.

Algunos departamentos de transporte (DOTs) en los Estados Unidos iniciaron con el uso de concreto reciclado (RCA) como agregados para concreto rígido a finales de la década de 1970, aunque en los EEUU, actualmente los agregados reciclados son raramente utilizados en concreto rígido (Vancura et al., 2009). Un estudio de la Universidad de Minesota, se propuso una revisión el uso del concreto reciclado como árido en losas de pavimento rígido, utilizando una investigación para abordar las preocupaciones que impidieron la adopción a gran escala del concreto reciclado como agregado en losas de pavimento por parte de los DOTs de los Estados Unidos. El documento presenta nuevas oportunidades para la adopción de RCA en pavimentos rígidos, incluyendo su uso en capas inferiores de pavimentos compuestos (Vancura et al., 2009).

Por su parte, el Instituto Superior de Estudios Tecnológicos de Radès, en Tunez realizó un estudio experimental para la formulación y caracterización del RAP o fresado con cemento para ser utilizado como base granular durante la rehabilitación de pavimentos. Se descubrió que el aumento de RAP disminuye la resistencia mecánica, pero que mezclas con un 60% o menos de RAP muestran propiedades aceptables para una capa base. También se realizaron pruebas de contracción sin tracción encontrando que el contenido de RAP no tuvo un impacto significativo en la deformación por contracción. En general, el estudio sugiere que el uso de RAP tratado con cemento puede ser una técnica de reciclaje de pavimentos sostenible y eficaz (Euch Khay et al., 2015). La Figura 4 muestra los resultados que arrojó cada muestra al realizarse el ensayo a compresión simple y, en la Tabla 1 se describe cada uno de los materiales evaluados en la Figura 4.

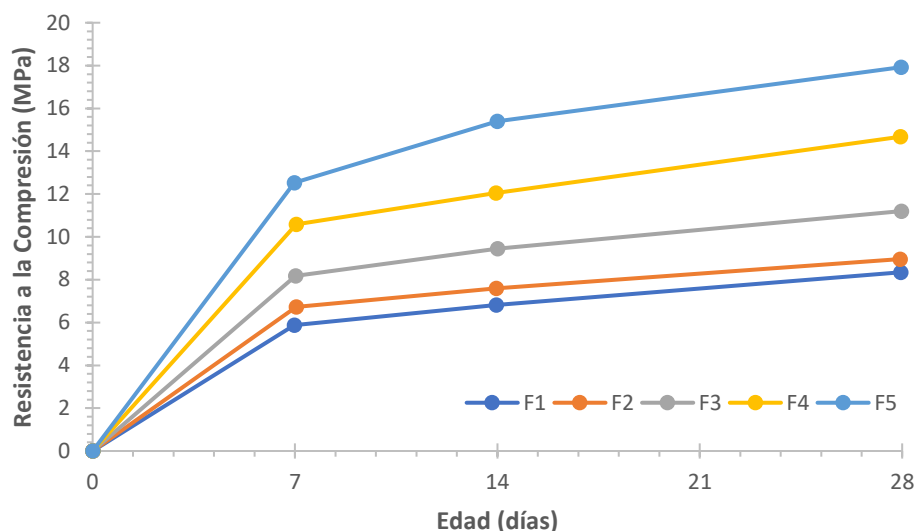


Figura 4. Resistencia a la compresión a diferentes edades.
Adaptado de (Euch Khay et al., 2015).

Tabla 1. Proporciones de las mezclas de fresado tratadas con cemento.

Etiqueta	Fresado (%)	Agregado triturado (%)	Fresado (kg/m ³)	Agregado triturado (kg/m ³)	Cemento (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)
F1	100	0	1960	0	125	130
F2	75	25	1490	497	127	131
F3	50	50	1006	1006	129	133
F4	25	75	510	1530	130	135
F5	0	100	0	2067	132	137

Modificado de (Euch Khay et al., 2015)

En un estudio realizado por la Universidad Pontificia Bolivariana, se buscó obtener las proporciones óptimas de diseño para diferentes mezclas de concreto hidráulico con la inclusión de fresado. Dentro de los resultados de esta investigación se evidenció que, la densidad bulk del fresado es un 12% menor que la de un agregado virgen y que adicionar hasta un 20% de RAP permite cumplir con la normativa INVIAS y NTC (Santos & Solarte, 2017). Además de lo anterior, el Texas A&M Transportation Institute, investigó el reemplazo parcial del agregado virgen por agregado grueso del fresado encontrando que es una opción parcialmente viable para formular mezclas de pavimento rígido. La investigación concluyó que el uso de fresado hasta en un 40% puede ser una alternativa viable para lograr mezclas de concreto hidráulico densas y bien gradadas para su uso en pavimentos rígidos, pero es necesario tener en cuenta la calidad del fresado y el contenido de asfalto para garantizar un buen desempeño y cumplir con las especificaciones de las agencias de transporte de Estados Unidos (Shi et al., 2017).

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

Un estudio realizado en la Facultad de Ingeniería de Ciencias de la Tierra en la Universidad ESPOL de Guayaquil, sobre la incorporación de agregados reciclados, cal hidratada y puzolana volcánica natural dentro de una mezcla de concreto hidráulico, se encontró que el uso de materiales reciclados puede contribuir al incremento en la resistencia a la compresión del concreto de hasta un 34% (Garcia-Troncoso et al., 2021). En la Figura 5 se muestra que el concreto con 50% de agregado reciclado tiene una mayor resistencia a la compresión que el concreto convencional y, se informa que específicamente cuando se añade un 10% de agregado reciclado, la resistencia de la mezcla incrementa un 18% con respecto a una mezcla patrón, pero se indica que el concreto con agregado reciclado + cal + puzolana son la alternativa que otorga mayor resistencia a la compresión con respecto a una muestra patrón, tanto a 7, como 28 días de curado (Garcia-Troncoso et al., 2021).

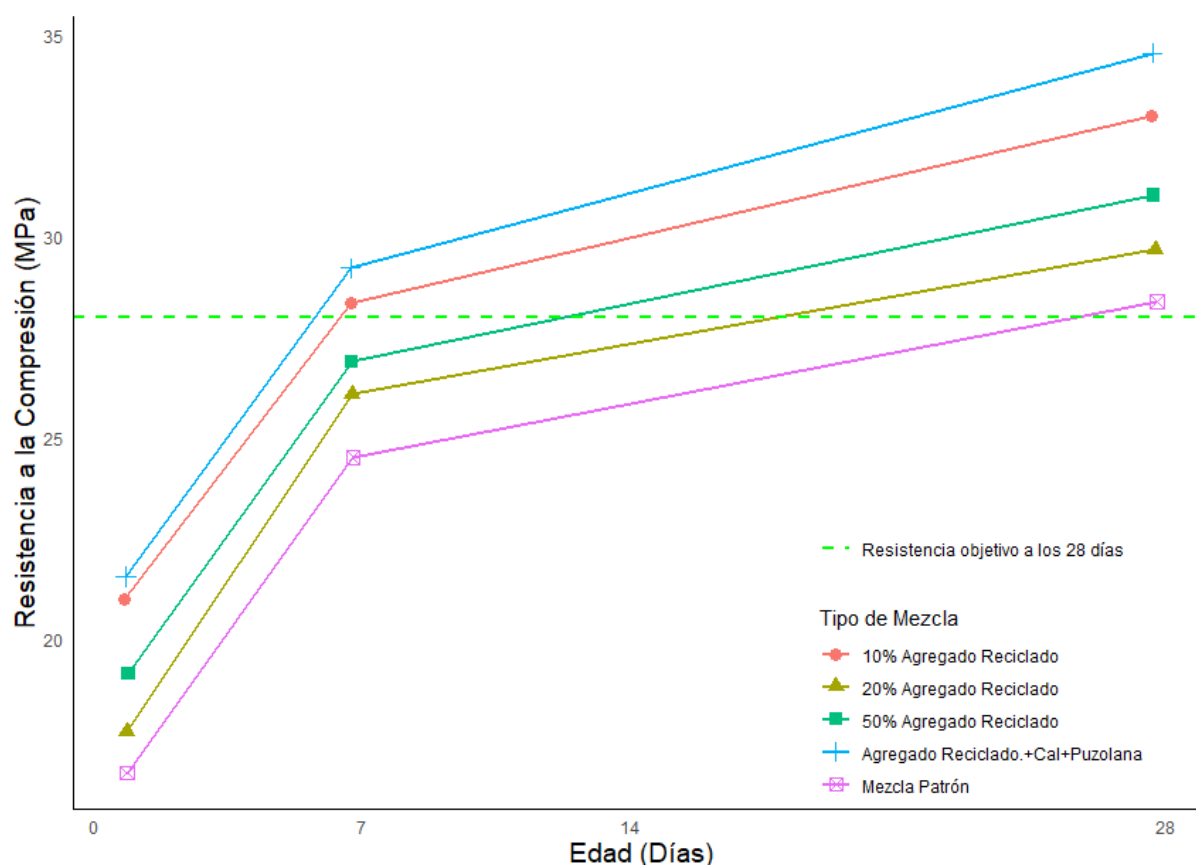


Figura 5. Resistencia a la compresión de diferentes mezclas a diferentes edades de curado.
Adaptado de (Garcia-Troncoso et al., 2021).

6. METODOLOGIA

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

Para el desarrollo del proyecto, se llevarán a cabo ensayos de resistencia a la compresión y módulo de rotura. A continuación, se realiza una breve reseña de cada uno de los ensayos que se realizarán.

6.1. Resistencia a la compresión

De acuerdo con la norma INVIAS INV E-410-13 sobre Resistencia a la compresión de Cilindros de Concreto, se determina la resistencia de especímenes de concreto que han sido curados a edades de 7, 14 y 28 días (INVIAS, 2013a).

6.2. Resistencia a la flexión del concreto

Este apartado se basa en las indicaciones de la norma INVIAS INV E-414-13 sobre Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre. La finalidad de este ensayo es la de determinar el módulo de rotura del concreto, entendiendo que este valor siempre será menor que la resistencia a la compresión (INVIAS, 2013b).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Luego de haber desarrollado lo presentado en la metodología a continuación, se presentan los resultados obtenidos.

7.1. Resistencia a la compresión

Al realizar el ensayo de resistencia a compresión de cilindros de concreto, se halló lo que se observa en la Figura 6.

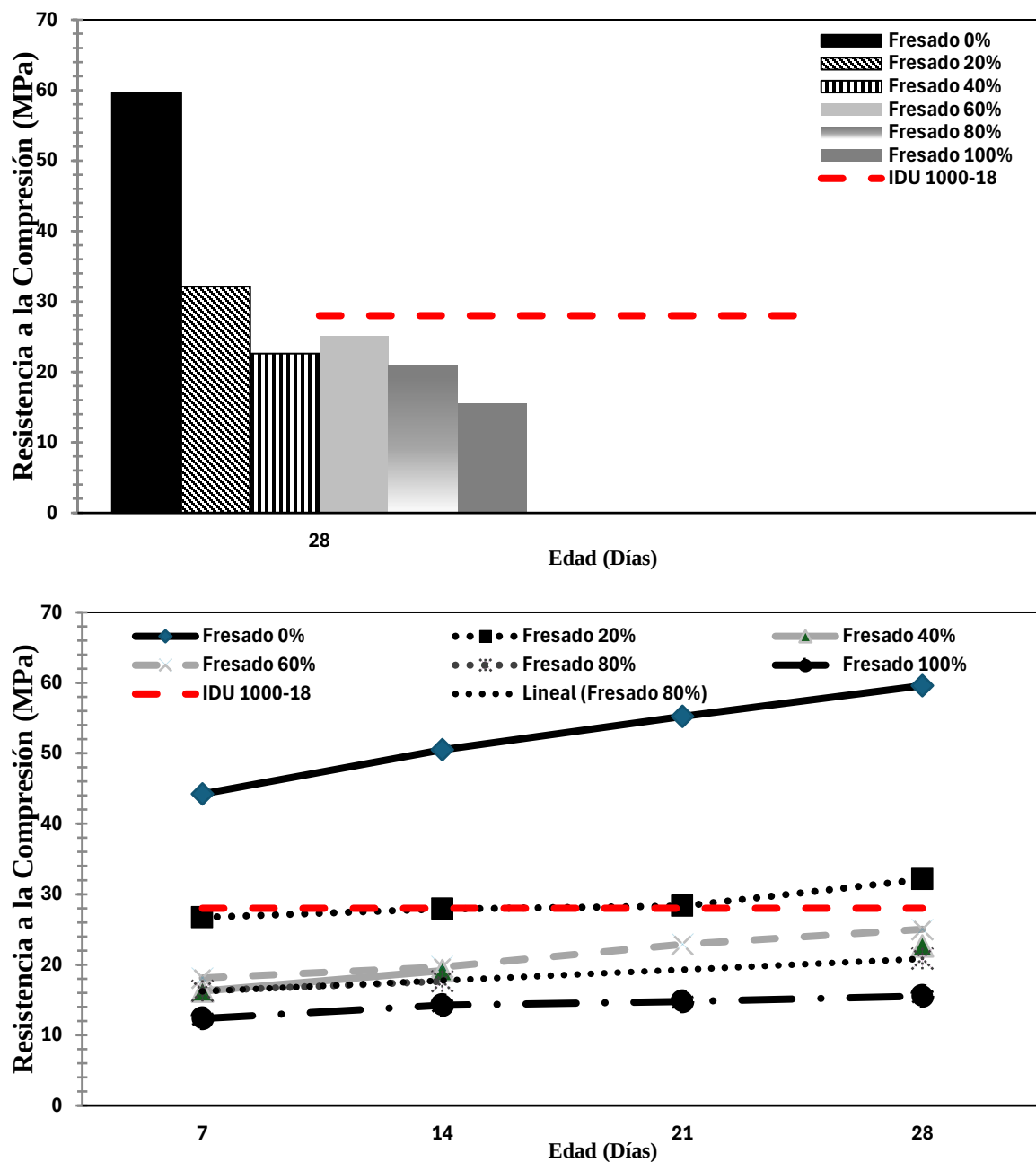


Figura 6. Resistencia a la compresión por edades.

En la Figura 6 se observa que únicamente el concreto hidráulico con la adición del 20% de material fresado cumple con la resistencia a la compresión exigida por la especificación IDU 1000-18 (Instituto de Desarrollo Urbano, 2018). Además, se identifica que el concreto con un 40% de

adición presenta, a los 28 días de curado, una resistencia un 8,7% inferior a la del concreto con el 60% de adición. Por ello, se considera que el 60% podría ser un porcentaje viable, siempre y cuando reciba un tratamiento adicional para cumplir con la especificación IDU 1000-18. En este sentido, se sugiere la incorporación de fibra de vidrio, tal como lo proponen Hoyos et al (2011) en su investigación.

7.2. Resistencia a la flexión del concreto

El ensayo de viga a flexión arrojó los resultados que se muestran en la Figura 7.

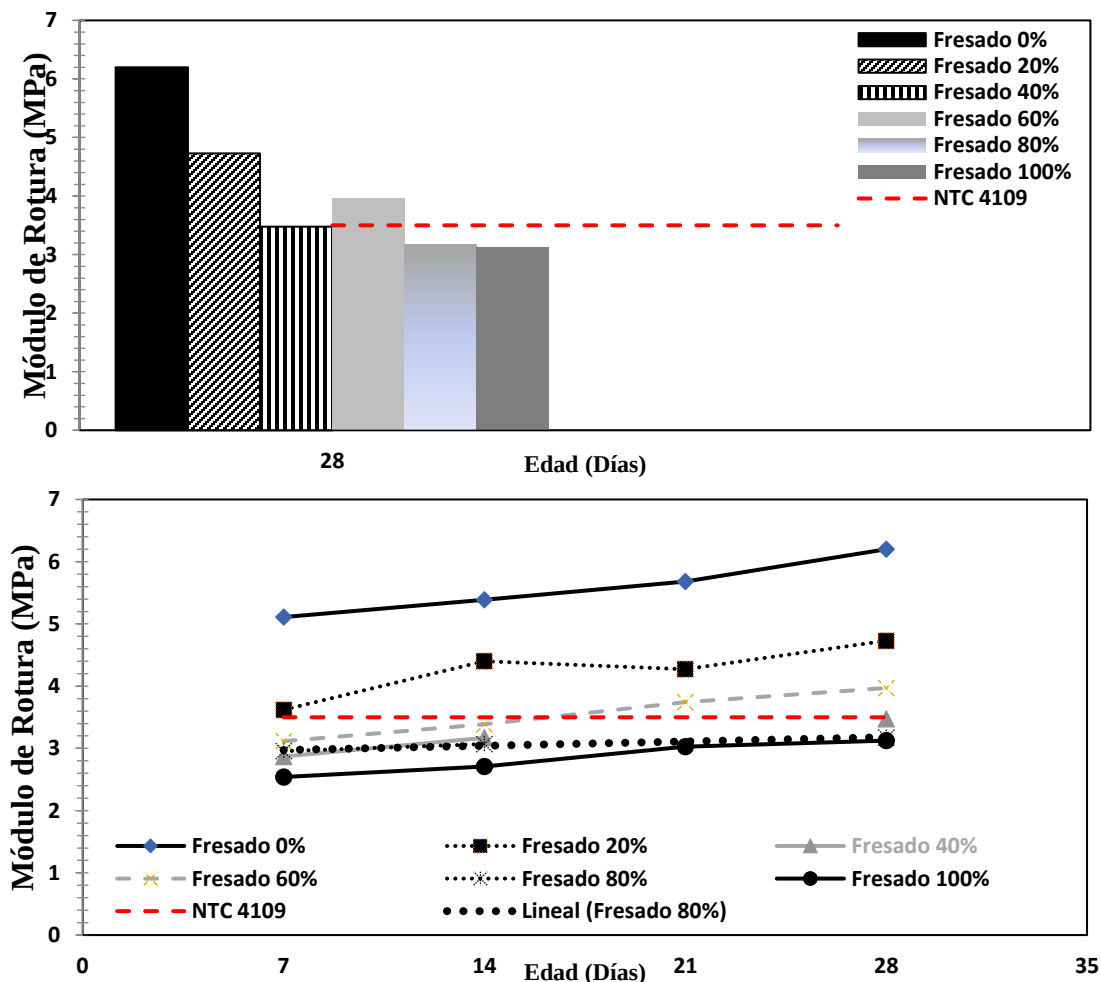


Figura 7. Módulo de rotura por edades.

Para el caso de la resistencia a la flexión, se encuentra que tanto el concreto hidráulico con 20% de fresado, como con 60% cumplen con lo que especifica la NTC 4109, pero si lo que se busca es la reutilización de materiales, se toma el 60% como el porcentaje óptimo para utilizar como agregado al concreto, aunque se recomienda que se le realice un tratamiento a los agregados del fresado, para determinar si es mejor utilizar esta metodología.

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

8. Conclusiones

Este trabajo fue realizado con el fin de evaluar la viabilidad técnica de la inclusión de fresado en el concreto hidráulico. Luego de llevar a cabo el plan experimental, se concluye lo siguiente:

- Se comprobó que es posible y viable técnicamente la utilización de fresado como reemplazo de agregados minerales vírgenes, para realizar concreto.
- La proporción de 20% fresado fue, además de la de 0% fresado, la que cumplió con lo que especifica el IDU 100-18 y la NTC 4109. Sin embargo, dado que la proporción del 60% está muy cercana al cumplimiento de lo que especifican el IDU y la NTC 4109 en cuanto a resistencia a la compresión, se recomienda realizarle un tratamiento de limpieza a los agregados, para lograr el cumplimiento de las especificaciones.
- De igual forma, se recomienda agregar fibra de vidrio al concreto para aumentar su módulo de elasticidad.
- Para garantizar una mayor homogeneidad en el fresado, se recomienda realizar su acopio de manera diferenciada, considerando los niveles de tráfico a los que estuvo expuesto durante su vida útil. Esta clasificación permite tener en cuenta el grado de desgaste acumulado en el material, lo cual es esencial para optimizar su reutilización y caracterización en futuros procesos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abraham, S. M., & Ransinchung, G. D. R. N. (2018). Influence of RAP aggregates on strength, durability and porosity of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 189, 1105–1112.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.069>

Alcaldía de Bogotá. (2024). *Plan Distrital de Desarrollo 2024-2027—Bogotá Camina Segura*.

Aristizábal, A. F. O. (2021). *Evaluación del impacto del uso de RAP en las propiedades de mezclas asfálticas tibias con tecnología de espumado*.

Belc, A. L., Ciutina, A., Buzatu, R., Belc, F., & Costescu, C. (2021). Environmental Impact Assessment of Different Warm Mix Asphalts. *Sustainability*, 13(21), 11869.

<https://doi.org/10.3390/su132111869>

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

Collivignarelli, M. C., Cillari, G., Ricciardi, P., Miino, M. C., Torretta, V., Rada, E. C., & Abbà, A. (2020).

The Production of Sustainable Concrete with the Use of Alternative Aggregates: A Review.

Sustainability, 12(19), 7903. <https://doi.org/10.3390/su12197903>

Divandary, H., & Bashkoul, Y. (2018). Evaluate the use of Recycled Asphalt Pavement (RAP) in the

Construction of Roller Compacted Concrete Pavement (RCC). *Civil Engineering Journal*, 4(5),

1157. <https://doi.org/10.28991/cej-0309164>

El Euch Ben Said, S., El Euch Khay, S., & Loulizi, A. (2018). Experimental Investigation of PCC

Incorporating RAP. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(1), 8.

<https://doi.org/10.1186/s40069-018-0227-x>

Euch Khay, S. E., Euch Ben Said, S. E., Loulizi, A., & Neji, J. (2015). Laboratory Investigation of Cement-

Treated Reclaimed Asphalt Pavement Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(6),

04014192. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001158](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001158)

Garcia-Troncoso, N., Xu, B., & Probst-Pesantez, W. (2021). Development of Concrete Incorporating

Recycled Aggregates, Hydrated Lime and Natural Volcanic Pozzolan. *Infrastructures*, 6(11), 155.

<https://doi.org/10.3390/infrastructures6110155>

Gobierno Nacional de Colombia. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2023-2026—Colombia, Potencia*

Mundial de la Vida.

Hormigón al día. (2021). *Incorporación de RAP en hormigón*.

<https://hormigonaldia.ich.cl/sostenibilidad/incorporacion-de-rap-en-hormigon/>

ICONTEC. (2018). *NTC 4109 Prefabricados de concreto. Bordillos, cunetas y topellantas de concreto*.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2018). *IDU 1000-18 Generalidades para el Espacio Público*.

	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

INVIAS. (2013a). *INV E-410-13 Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto.*

<https://www.zotero.org/pedrofarieta/items/NTX8B5FL/reader>

INVIAS. (2013b). *INV E-414-13 Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simplemente apoyada y cargada en los tercios de la luz libre.*

<https://www.zotero.org/pedrofarieta/items/NTX8B5FL/reader>

Rochel, R. (1998). *Hormigón Reforzado (Tomo I).*

Sánchez-De Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.*

Santos, D. A., & Solarte, N. C. (2017). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico para pavimento rígido con la inclusión de hormigón asfáltico recuperado tipo “RAP”. *Investigacion e Innovación en Ingenierias*, 5(1), 36.

<https://doi.org/10.17081/invinno.5.1.2615>

Shi, X., Mukhopadhyay, A., & Liu, K.-W. (2017). Mix design formulation and evaluation of portland cement concrete paving mixtures containing reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 152, 756–768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.174>

Unidad de Mantenimiento Vial. (2024). *Cartilla de Buenas prácticas en el uso de Fresado Estabilizado.*

Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B., & Çinar Resuloğullari, E. (2024). Durability effect of reclaimed asphalt aggregate on concrete road pavement. *Materiales de Construcción*, 74(353), e338.

<https://doi.org/10.3989/mc.2024.356823>

Vancura, M., Khazanovich, L., & Tompkins, D. (2009). Reappraisal of Recycled Concrete Aggregate as Coarse Aggregate in Concretes for Rigid Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2113(1), 149–155. <https://doi.org/10.3141/2113-18>

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. MOVILIDAD Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial	FORMATO - INFORME DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA LA ADOPCIÓN Y ADAPTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS MISIONALES	
	CÓDIGO: DMIC-FM-002	VERSIÓN: 1
	FECHA DE APLICACIÓN: NOVIEMBRE DE 2023	

CONTROL DE GESTIÓN				
GESTIÓN	NOMBRE	CARGO / ROL	DEPENDENCIA	FIRMA
Elaboró:	Pedro Antonio Farieta Martínez	Contratista	Gerencia para el Desarrollo, la Calidad y la Innovación	
Revisó:	Jorge Alberto Ascencio Castañeda	Contratista	Gerencia para el Desarrollo, la Calidad y la Innovación	
	Humberto Ramírez Gómez	Asesor	Dirección General	
Aprobó:	Camilo Enrique Marrugo Martínez	Gerente	Gerencia para el Desarrollo, la Calidad y la Innovación	

CONTROL DE MODIFICACIONES			
VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
1			
2			
N			