

# DURABILIDAD DE LA PINTURA EN MARCAS VIALES



Durabilidad de la Pintura en Marcas Viales: Análisis de Factores y Mejoras Potenciales

Daniel Alfonso Ferreira Cuellar C.C. 1016035273

Deissy Dayan Quintero Salazar C.C. 53119195

Jesús David Barraza Guzmán C.C. 1050461280

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2024

# **DURABILIDAD DE LA PINTURA EN MARCAS VIALES**

Durabilidad de la Pintura en Marcas Viales: Análisis de Factores y Mejoras Potenciales

Daniel Alfonso Ferreira Cuellar C.C. 1016035273

Deissy Dayan Quintero Salazar C.C. 53119195

Jesús David Barraza Guzmán C.C. 1050461280

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de  
Proyectos

Asesor(a)

Henry Alberto Rodríguez Guzmán

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2024

## Contenido

Resumen .....	6
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 Descripción del problema .....	11
1.2 La pregunta de investigación .....	14
1.3 Los objetivos de investigación .....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación de la investigación .....	15
2. MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.1. Marco de Antecedentes.....	17
2.1.1 Análisis De La Durabilidad Y Recomendaciones En La Reaplicación De Pintura Termoplástica En La Red Vial En Guatemala .....	17
2.1.2 Análisis de la Durabilidad de la Señalización Vial Horizontal Atendiendo a su Composición y Posicionamiento en la Calzada de Carreteras Secundarias en Climas Semiáridos Cálidos.....	18
2.1.3 Grado de desempeño de la demarcación vial para cumplir niveles de servicio tramo Huancavelica - Lircay.....	19
2.1.4 Abrasión sobre pinturas de demarcación vial para la evaluación de su performance .....	21
2.1.5 Implementación de mecanismo de aplicación granulométrica para la señalización vial en Villavicencio, Meta Colombia.....	24
2.1.6 Diseño, Creación E Implementación De La Pintura Luminiscente Para La Señalización Horizontal De 30m En La Salida Del Casco Urbano Hacia Las Veredas Del Sur En El Municipio De Girardot, Cundinamarca.....	27
2.2 Marco Teórico .....	29
2.2.1 Marcas viales horizontales y su importancia como referencia visual para las personas en la carretera.....	29
2.2.2 Tipos de marcas horizontales, progreso y mejoras .....	32
2.2.3 Tipos de materiales utilizados en las marcas viales horizontales .....	34

# Durabilidad de la Pintura en Marcas Viales: Análisis de Factores y Mejoras Potenciales

2.2.4	Aplicación de la señalización vial horizontal.....	35
2.2.5	Factores que generan el deterioro de las marcas viales horizontales.....	36
2.2.6	Pintura termoplástica y su viabilidad para la demarcación vial.....	38
2.3	Marco normativo .....	39
2.3.1	Decreto 1292 de 2021.....	39
2.3.2	Ley 2251 de 2022 .....	40
2.3.3	Resolución 1885 de 2015 .....	40
3	METODOLOGÍA .....	42
3.1	Enfoque y alcance de la investigación .....	42
3.2	Población y muestra.....	42
3.2.1	Definición de la población.....	42
3.2.2	Cálculo y selección de la muestra .....	43
3.3	Instrumento(s) .....	43
3.4	Descripción de procedimientos .....	44
3.5	Análisis de información.....	45
3.6	Consideraciones éticas.....	45
3.6.1	Análisis de consideraciones éticas .....	45
3.6.2	Instrumentos de aceptación y autorización.....	46
4	HIPÓTESIS.....	46
4.1	Las variables .....	46
4.1.1	Variable(s) independiente(s).....	46
4.1.2	Variable(s) dependiente(s).....	46
4.1.3	Planteamiento de hipótesis .....	47
5	RESULTADOS .....	48
5.1	Análisis de las propiedades físicas y químicas del termoplástico y su idoneidad para la señalización vial. ....	48
5.1.1	Propiedades Físicas y Químicas del Termoplástico y su idoneidad en la señalización vial. ....	48
5.1.2	Características del termoplástico para aplicaciones en la demarcación vial.....	52
5.1.3	Compatibilidad del termoplástico en la señalización horizontal vial.....	53
5.2	Comparación del rendimiento del termoplástico con otros materiales utilizados en la señalización vial. ....	55

## Durabilidad de la Pintura en Marcas Viales: Análisis de Factores y Mejoras Potenciales

5.2.1	Comparativo de Eficiencia y Durabilidad del Termoplástico y Otros Materiales en la Señalización Vial.....	55
5.2.2	Rendimiento del termoplástico y otros materiales en la demarcación horizontal vial .....	60
5.3	Examinación de la resistencia a la intemperie y a la abrasión del termoplástico en condiciones reales de tráfico. ....	63
5.3.1	Evaluación de la Resistencia a las Variaciones Climáticas .....	63
5.3.2	Comportamiento Frente a la Humedad y la Acción del Agua.....	64
5.3.3	Análisis del Desgaste por Abrasión en Carreteras de Alto Tráfico.....	65
5.3.4	Ensayos de Durabilidad y Comportamiento a Largo Plazo .....	65
5.3.5	Impacto del Espesor y Técnicas de Aplicación en su Resistencia .....	66
5.4	Recomendaciones para la implementación efectiva del termoplástico en la señalización vial .	66
5.4.1	Selección del Termoplástico Adecuado .....	66
5.4.2	Preparación de la Superficie .....	67
5.4.3	Control de la Temperatura de Aplicación .....	68
5.4.4	Método de Aplicación y Espesor.....	69
5.4.5	Monitoreo de la Retrorreflexión y Mantenimiento Regular.....	70
5.4.6	Adaptación a Normativas y Condiciones Climáticas .....	70
5.4.7	Uso de Aditivos Compatibles .....	71
6	CONCLUSIONES.....	72
	Referencias.....	75

## Resumen

Este proyecto se ha centrado en estudiar la baja durabilidad de la pintura empleada en las marcas viales, un aspecto que resulta esencial para la seguridad de la circulación por las vías y que, para un tráfico seguro, merece ser estudiado. Bajo la denominación de "Durabilidad de la Pintura en Marcas Viales: Análisis de Factores y Mejoras Potenciales", el presente proyecto se propone investigar cuáles son los principales factores que redundan en una disminución de la durabilidad de la pintura para marcas viales y qué pueden ser métodos o acciones que contribuyan a ampliarla. Por tanto, la pregunta investigación que ha guiado el presente estudio es la siguiente: ¿Cuáles son los principales factores que afectan la durabilidad de la pintura en marcas viales y qué estrategias se pueden poner aplicar para mejorar la eficacia y la durabilidad de la pintura para marcas viales?.

El problema tiene que ver con que la reducción de la durabilidad responde por un aumento de los costes de rodaje (mantenimiento y reparación de las marcas) por una parte y no sólo comprometer la seguridad de las operaciones de los conductores sino que, además, afecta también la seguridad de los peatones. En este sentido, gracias a un método que combina la determinación de muestras de pintura por un lado y cuestionarios a expertos por el otro lado o revisión de estudios de caso las acciones que se prevén desarrollar en el presente proyecto son las siguientes: determinar las causas por las cuales la pintura se degrada rápido y proponer formas de mejorar (materiales, las técnicas de aplicación, consideraciones ambientales, otras investigaciones).

La bibliografía inicial proviene de aplicaciones de marcas viales, la durabilidad de los materiales en infraestructura viaria, los efectos de las condiciones ambientales en la pintura de marcas viales, justificación de la importancia o del carácter necesario de la presente investigación,

## Durabilidad de la Pintura en Marcas Viales: Análisis de Factores y Mejoras Potenciales

Por tanto, el presente proyecto tiene que ser asumido también como una aportación y una mejora para la eficacia y la seguridad de la señalización de las carreteras. El presente proyecto se apoya en evidencias científicas y técnicas para fundamentar su proposición de mejoras..

*Palabras clave: Durabilidad; Marcas viales; Seguridad; Ambientales; Materiales*

### **Abstract**

This project has focused on studying the low durability of the paint used in road markings, an aspect that is essential for traffic safety and that, for a secure traffic flow, deserves thorough investigation. Titled "Durability of Paint in Road Markings: Analysis of Factors and Potential Improvements," this project aims to investigate the main factors contributing to the reduction of paint durability in road markings and to identify methods or actions that could help extend it. Therefore, the research question guiding this study is: What are the main factors affecting the durability of paint in road markings, and what strategies can be applied to improve the effectiveness and longevity of road marking paint?

The issue lies in the fact that the reduction in durability leads to increased maintenance costs (repair and upkeep of the markings) on one hand, and not only compromises the safety of drivers' operations but also affects pedestrian safety. In this regard, through a method that combines the analysis of paint samples and questionnaires to experts, as well as a review of case studies, the actions planned for this project are as follows: determining the reasons why paint degrades quickly and proposing ways to improve (materials, application techniques, environmental considerations, other research).

The initial bibliography comes from applications of road markings, the durability of materials in road infrastructure, the effects of environmental conditions on road marking paint, and the justification of the importance and necessity of this research. Thus, this project should also be viewed as a contribution and an improvement to the effectiveness and safety of road signaling. This project relies on scientific and technical evidence to support its proposals for improvements.

**Keywords:** Durability; Road markings; Safety; Environmental; Materials

## **Introducción**

La realidad investigada en el marco del presente proyecto se ha ceñido a la durabilidad de la pintura de la carretera para las marcas de las vías y su importancia para la seguridad de ésta con relación al desplazamiento de coches y de peatones en Colombia. La pregunta de investigación está totalmente fundamentada a partir de poder observar que la degradación prematura de las marcas viales, beneficiada por los componentes climáticos, por las características funcionales y/o por la calidad de los materiales, así como la dificultad en mantenerla en buen estado, van de la mano con el hecho de obstaculizar la vez la seguridad vial para los conductores y para los peatones como la eficacia de las vías.

La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Cuáles son los principales factores que afectan la durabilidad de la pintura en marcas viales y qué estrategias se pueden poner aplicar para mejorar la eficacia y la durabilidad de la pintura para marcas viales?. En este contexto, el proyecto se justifica por la necesidad de identificar soluciones sostenibles y efectivas para optimizar la señalización vial en las carreteras colombianas, minimizando riesgos y costos de mantenimiento a largo plazo.

El objetivo de la investigación reside en descubrir y determinar los factores que inciden en la durabilidad de las pinturas de marcas viales y poder proponer estrategias de mejora para la durabilidad de las pinturas de marcas viales a partir de los materiales y de técnicas de aplicación de las mismas.

Para tal efecto se ha revisado la literatura existente válidamente existente, desde los estudios realizados sobre la composición de materiales (incluyendo los inventarios de marcas viales en Colombia e internacional), los factores climáticos, las formas de mantenimiento y las que han hecho en otras áreas del mundo de la misma latitud que Colombia.

Para ello, se ha procedido también a la revisión de literatura existente sobre los temas arriba citados, a partir de la composición de materiales, de los factores climáticos, de las técnicas de mantenimiento que se han llevado a cabo para corregir aquellas deficiencias que han existido en zonas geográficas con misma situación climática y geográfica que Colombia. Ya que metódicamente se ha aplicado la metodología de carácter cualitativa y descriptiva en función y de acuerdo con el análisis de la norma técnica que regula estas cuestiones y con las guías que han sido utilizadas para determinar las tendencias y las mejoras cuando se han realizado en otras regiones geográficas de la misma latitud de Colombia. Los resultados secundarios identifican las causas identificadas del deterioro de la pintura y se emiten recomendaciones basadas en la evidencia indicada que se refiere a la introducción de materiales en las condiciones de tráfico local y programas de mantenimiento más frecuentes.

En conclusión, las conclusiones del estudio confirman la necesidad y la importancia de la aplicación y el mantenimiento adecuados de marcas viales para la seguridad de los usuarios de carreteras y presentan las líneas de acción específicas que las autoridades viales pueden seguir para mejorar la asignación de recursos y optimizar el tráfico fluidez y eficiencia en el país.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En muchos casos, y para muchas personas, de hecho, las marcas viales son prácticamente el único elemento visual de referencia en la carretera. No solo su correcta realización, distribución y mantenimiento pueden afectar directamente a la gravedad de un incidente, sino que también pueden desencadenar uno. Por tanto, el óptimo mantenimiento y repintado de la demarcación de la vía en los estados nacionales e internacionales, y por otro lado, la investigación de nuevas combinaciones materiales y estudiar su durabilidad según el lugar de instalación en la vía es un factor clave para prevenir accidentes de tráfico (Coves, 2019).

### **1.1 Descripción del problema**

La durabilidad de la pintura utilizada en las marcas viales es un problema crítico en la seguridad y el funcionamiento eficiente del tráfico vehicular en las carreteras y calles. Las marcas juegan un papel crucial en la orientación y directiva de los conductores, así como en la prevención de accidentes. Sin embargo, durante el tiempo, las marcas se desgastan debido a la dilución y la exposición constante a los factores ambientales, lo que hace que las marcas sean visibles debido a la tenue disminución de la intensidad de color. Esto hace que las marcas sean menos efectivas para dirigir a los conductores, aumentando las probabilidades de accidentes y la congestión del tráfico (García, 2023).

Un ejemplo es Guatemala, donde se encuentra un “problema significativo de durabilidad de marcas viales, especialmente aquellas que utilizan pintura termoplástica”. La señalización se aplica por primera vez después de colocar un pavimento nuevo, que en la mayoría de los casos se abandona sin mantenimiento en absoluto. El cálculo de la vida útil de cualquier tipo de pintura implica varios factores, como la calidad del material, los niveles de tráfico y el clima (Linelli, 2023).

Además, este problema se refleja en los resultados sediciosos de otros países para estudios gubernamentales. Por ejemplo, según un estudio en España, el 29.5% de los conductores tienen problemas para ver las señales y las líneas del carril. Estas cifras significan que más de ocho millones de conductores no ven claramente las señales y las líneas en la carretera, lo que humedece sus acciones en el camino y cambia su atención. Como resultado, es más probable que se cometan errores, como no respetar el límite de velocidad, adelantar sin un margen seguro o mantener una distancia segura con el automóvil que está por delante. Además, el problema de la percepción de la línea del carril de los conductores humedece sus habilidades para medir la distancia y la velocidad. Dejar la visibilidad durante la noche o niebla (Rodríguez, 2021).

La su señalización, por tanto, se manifiesta en escenarios diversos a lo largo de los cuales se produce un deterioro significativo en la señalización viaria y es originado por diversos factores, que incluyen la negligencia en el mantenimiento y la interrupción en la conservación de las marcas viales. Por su parte, en Colombia el problema de la durabilidad de la pintura utilizada en las marcas viales se manifiesta de múltiples formas que afectan la permanencia de ellas y la seguridad y movilidad viaria en el país. Especialmente, las vías en Colombia deben mantenerse de una forma específica y diseñada, ya que se encuentran en zonas que atraen fenómenos naturales y humanos que generan situaciones de accidentes graves y, en ocasiones, mortales. Una mala infraestructura vial se ha posicionado como una deuda con la ciudadanía que agrava las generales y se encuentra en sí misma un factor de peligro para los usuarios (Escobar & Martínez, 2022).

Las vías colombianas presentan, entre otros, uno de los problemas más comunes, que se refiere al deterioro de las demarcaciones viales. De acuerdo con el Ministerio de Transporte, estas incisiones vitales regulan el tráfico al informar sobre los límites de velocidad, una visión

general de los canales y servir como una forma de comunicar una serie de normas que de otra manera no se pueden transmitir. En la mayoría de las ciudades colombianas, la demarcación es difícil de observar, lo que contribuye al caos en la carretera y aumenta drásticamente la posibilidad de accidentes. Los medios incluyen marcas comerciales, flechillas, símbolos y letras en el soporte de la carretera, y son vitales para encontrar anidados y promocionar la presencia de obstáculos. Con todo, casi todos estos medios se destruyen con el tiempo y el uso inadecuado (El Tiempo, 2019).

Igualmente, en Colombia, el deterioro de las líneas viales se suma a la falta de señalización adecuada en los topes, semáforos descompuestos o de mal funcionamiento, poca luz en las vías y exteriores y falta de señalización de límites de velocidad. La falta de señalizaciones o deterioro de las ya instaladas, pone en alto riesgo la vida de los conductores y peatones, sobre todo en zonas en las cuales se realizan obras o construcciones viales (Escobar & Martínez, 2022).

Entonces, una combinación de la falta de mantenimiento y renovación de estos marcadores, agravada por un incremento en el tráfico y la exposición a la intemperie, desemboca en una situación peligrosa. Los operadores tienen que contar con su propia intuición y experiencia en lugar de señales claras y sólidas, lo que finalmente podría provocar transiciones repentinas a otros carriles, maniobras de ocio evasivo y una mayor probabilidad de colisiones (García, 2023).

Además, la situación no mejora debido a la falta prolongada de un programa de mantenimiento regular y repintado de las marcas viales. A menudo, los presupuestos limitados y la necesidad de más trabajo para la reestructuración musical de dificultan la resolución del problema. Sin embargo, dadas las inversiones significativas necesarias para garantizar una

movilidad segura y eficiente, el problema no es suficiente atención o recursos otorgados por las estructuras de poder locales (García, 2023).

La reciente descripción de la situación muestra claramente que deben tomarse medidas adecuadas para mejorar la durabilidad de las marcas viales en Colombia. La calidad de los materiales puede ser un factor importante. Por lo tanto, los criterios presentados deben cumplirse con regularidad, y se debe brindar atención adicional a las cuestiones de señalización. Las marcas viales borrosas o invisibles hacen que el movimiento sea peligroso para los conductores y los peatones, además de dificultar la velocidad y causar atascos.

## **1.2 La pregunta de investigación**

¿Cuáles son los principales factores que afectan la durabilidad de la pintura en marcas viales y qué estrategias se pueden poner aplicar para mejorar la eficacia y la durabilidad de la pintura para marcas viales?

## **1.3 Los objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Identificar los diversos factores que afectan la durabilidad de la pintura de las marcas viales en Colombia, permitiendo establecer estrategias potenciales de mejora y eficiencia

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Analizar las propiedades físicas y químicas del termoplástico y su idoneidad para la señalización vial.

Comparar el rendimiento del termoplástico con otros materiales utilizados en la señalización vial.

Examinar la resistencia a la intemperie y a la abrasión del termoplástico en condiciones reales de tráfico.

Establecer recomendaciones para la implementación efectiva del termoplástico en la señalización vial.

#### **1.4 Justificación de la investigación**

En Colombia, uno de los problemas más relevantes para la seguridad vial y el tráfico eficiente es la durabilidad de la pintura en las marcas viales. Su conservación es crucial para mantener la capacidad de orientación y la regulación del movimiento en todo momento, ya que, incluso de día, su desgaste precoz conduce a una disminución en la percepción de alto contraste entre el área marcada y el asfalto. De esta forma, la exposición climática, la calidad de los materiales y la ausencia de inspección contribuyen a la situación peligrosa (Escobar & Martinez, 2022).

Es por eso que este trabajo de investigación se presenta basado en la relevancia de la señalización vial. Se sustenta en que no se ha identificado una investigación que pueda describir de manera específica las causas que influyen en la durabilidad de las marcas viales y su relación conlleva la falta de estudios específicos que pudieran solucionar la problemática. Por lo que, la mayoría de las estrategias implementadas responden a intervenciones para resolver a corto plazo sin pensar que la visibilidad de las marcas viales se pierda y, en consecuencia, la siniestralidad vial aumente. Se evidencia una falta de manejo de la gestión preventiva en señalización vial. Consideramos que el tipo de materiales utilizados y las condiciones en las que son vertidos son el eslabón que refleja falencias de la cadena de crucial importancia en el contexto de estudio.

El estudio de este problema ayudará a descubrir los factores clave que influyen en la durabilidad de la tinción de la señal de la carretera y a evaluar la eficiencia de los materiales utilizados en la actualidad. Estos se realizarán en menos términos de termoplástico en

comparación con otras opciones. La importancia de la investigación estriba en que permitirá encontrar enfoques para aumentar la vida útil de las señales de tráfico. Esto, a su vez, ayudará a mejorar la vida de la gente común, reduciendo el número de accidentes de tráfico y la eficacia global de las vialidades.

La relevancia del estudio se revela en varios niveles. En primer lugar, se producirá un impacto positivo en la sociedad relacionada directamente con todo lo que hay que saber sobre la durabilidad de las marcas viales, contribuyendo, por tanto, a mayor seguridad y precaución en las carreteras. En segundo lugar, en lo que se refiere a las administraciones responsables de las carreteras y empresas que gestionan las vías de comunicación, la investigación proporcionará un conjunto de datos que permitirán establecer adecuadamente materiales más perdurables y prácticas de mantenimiento eficaces que potencien el uso de los recursos materiales e inmateriales existentes. Por último, pero no de menos importancia, contribuirá a la ampliación del saber académico y profesional en el ámbito de la infraestructura de las carreteras, favoreciendo nuevas investigaciones y el surgimiento de especialistas más formados para la gestión y mantenimiento de las carreteras.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Marco de Antecedentes**

#### **2.1.1 Análisis De La Durabilidad Y Recomendaciones En La Reaplicación De Pintura Termoplástica En La Red Vial En Guatemala**

El estudio realizado por Linelli (2023) tuvo como objetivo principal Proponer al lector si existe diferencia significativa de reflectividad en la reaplicación de la pintura termoplástica en comparación a los valores estipulados en el manual de SIECA y si es la respuesta sever dosificar valores de lecturas de tiempo post reaplicación, y que factores afectan a la durabilidad de estos.

Asimismo, se puso en práctica una metodología de enfoque mixto, ya que se realizaron mediciones cuantitativas de reflectividad a lo largo de seis meses en una sección de la carretera CA-01 Occidente. Estas mediciones se llevaron a cabo tanto en pintura blanca como amarilla, que a su vez realizan reaplicación en diferentes etapas temporales: 3 días, 3 meses y seis meses. Por otro lado, se realizó un análisis cualitativo de los datos medidos, lo que incluyó la comparación con estudios previos y normativos internacionales.(Linelli, 2023).

Los resultados obtenidos por Linelli (2023) indicaron que, con el tiempo, los valores de reflectividad recopilados en campo se redujeron significativamente, lo que indica que la PTMP se mete afectada la durabilidad. Lo anterior obedece diferentes factores, entre los que se incluyen las condiciones en las que se encuentra el pavimento, las condiciones climatológicas, el tráfico vehicular y otros. También indica que a los tres meses se comienza a ver una reducción continua de la reflectividad.

En conclusión, el estudio permitió identificar las principales causas de la pérdida de reflectividad y recomendó mejorar los procedimientos de mantenimiento de la señalización vial,

así como realizar evaluaciones periódicas para garantizar la seguridad en las carreteras guatemaltecas.

### **2.1.2 Análisis de la Durabilidad de la Señalización Vial Horizontal Atendiendo a su Composición y Posicionamiento en la Calzada de Carreteras Secundarias en Climas Semiáridos Cálidos**

La tesis doctoral realizada por Coves (2019) tuvo como objetivo general analizar la durabilidad de la señalización vial horizontal, tomando en cuenta la composición y el posicionamiento de las marcas viales en carreteras secundarias bajo climas semiáridos cálidos. Para esto, se buscó profundizar en las propiedades físicas y ópticas de los materiales utilizados, así como su resistencia al desgaste, diferenciando entre zonas de la calzada con mayor y menor afectación.

Por consiguiente, Coves (2019) Como metodología aplicada se efectuó la creación de dos áreas de pruebas con diferentes combinaciones de materiales para analizar el rendimiento y durabilidad. Se empleó equipo especializado como retro-reflectómetros y espectrofotómetros, para evaluar las características de las marcas viales en función de la visibilidad diurna, nocturna y resistencia al deslizamiento. En el segundo caso, se estudió la emisión luminosa de materiales fosforescentes bajo diferentes condiciones de iluminación, observando el comportamiento de los mismos a lo largo de un periodo de 36 meses.

Con respecto al estudio, determina que las marcas viales compuestas por microesferas de vidrio y material fosforescente tiene una durabilidad superior cuando las comparan con otras, especialmente en áreas menos afectadas por el tráfico. Adicionalmente, la retrorreflexión presento valores superiores al umbral de aceptación durante los 36 meses y el grupo con mayor

densidad de microesferas presento mejores resultados. En algunas áreas, a pesar del desgaste en la superficie, la capa receptora estaba compuesta por capas de microesferas que eventualmente sustituirían las capas enfrente de ellas. (Coves, 2019).

Por último, Coves (2019) concluyó que la incorporación de materiales fosforescentes y microesferas en las marcas viales mejora significativamente su vida útil y visibilidad, sobre todo en condiciones de baja luminosidad. Además, el desgaste controlado de las capas superficiales permitió alargar la efectividad de las marcas viales, mostrando que un sistema de aplicación en capas mejora las propiedades de la señalización vial a lo largo del tiempo.

### **2.1.3 Grado de desempeño de la demarcación vial para cumplir niveles de servicio tramo Huancavelica - Lircay**

La finalidad de la tesis de Rojas. 2022 era determinar cómo la demarcación vial afecta al índice de desempeño en relación con el servicio de la variación Huancavelica-Lircay en la sierra central de Perú. Por tanto, la presente tesis consta de una evaluación de microestructura, es decir, el factor de retroreflexión, el espesor de la pintura, y el tamizaje de microesferas; con el objeto de mejorar la seguridad vial y generar recomendaciones para una efectiva distribución y uso de estas para el mantenimiento de la infraestructura. De igual forma y gracias a esta tesis, se logra aportar a la literatura sobre la demarcación vial debido a la escasez de estudios en carreteras con similitud en la demarcación (Rojas, 2022).

Por consiguiente, como metodología de investigación se llevó a cabo una investigación de tipo no experimental, transversal y con un enfoque correlacional-causal, lo que permitió analizar la relación entre las variables seleccionadas (Rojas, 2022).

Además, el presente estudio se realizó en el tramo Huancavelica – Lircay, que posee una longitud de 75 km y forma parte del tramo de la Ruta PE 3S. El método se enfocó en la obtención de una muestra no probabilística y se tomó un total de 420 puntos de observación de las líneas en uno y ambos sentidos, en una separación de 140, en el lado izquierdo de la señalización de la carretera, igual distribución en la derecha y centro para las mediciones de la retrorreflectividad; y alrededor de 140 puntos para el espesor de la pintura, incluyendo la micro esfera de vidrio. Las mediciones fueron llevadas a cabo mediante la técnica de la observación, por lo que se usó a un retrorreflector horizontal, un medidor digital de las marcas, los cuales demostraron la precisión de datos sobre el comportamiento de las líneas de tránsito (Rojas, 2022).

Por lo tanto, los resultados de los estudios de Rojas (2022) confirmaron que el primer eje de purga vehicular presentaba deficiencias significativas en el rendimiento del diseño de demarcación vial en relación con los niveles de servicio. Los ejes laterales al eje, que se demarcan a sí mismos con pintura blanca, presentan una presentación muy baja 15%, es decir que es el porcentaje de puntos evaluados que cumplen con la especificación requerida de los niveles de servicio. Sin embargo, para ejes similares, el eje central pintado de amarillo tiene un porcentaje mucho más alto, 82%. En los espesores de aplicación de la pintura nuevamente, los ejes laterales presentan el porcentaje mínimo de especificación, 30% mientras que el eje central posee un 77% (Rojas, 2022).

Rojas, respectivamente,. Respecto a esto, indicó que los resultados mostraron que la pintura con la que se demarcó la carretera, especialmente los laterales, no cumplía con la mínima reflectividad y espesores que exige el MTC. Insuficiencia en la pintura significaba que la visibilidad del marcado durante la noche y climas nublados era inferior y, además, el marcado

tenía muchas áreas con microesferas de vidrio que faltaban. Estas son esferas de vidrio cuya función es aumentar la visibilidad del marcado. Muchas piezas de esta sustancia en los lados a menudo faltaban debido al espesor insuficiente de la pintura en esas secciones (Rojas, 2022).

Por último, Rojas (2022) concluye que el grado de ejecución de la demarcación vial tiene una influencia directa y significativa en el incumplimiento de los niveles de servicio en el tramo Huancavelica - Lircay. La gran mayoría de los puntos evaluados no puntuaron por encima de los requisitos mínimos marcados, en particular, en los ejes laterales donde el espesor de la pintura y la adherencia de las microesferas de cristal fueron completamente inadecuados. Tal situación puede comprometer la durabilidad de las demarcaciones y, por ende, la seguridad vial, dado que a la retrorreflectividad le cuesta envejecer rápidamente, lo que puede suponer una reducción en la visibilidad para el resto de los conductores durante la noche o cuando las condiciones meteorológicas son adversas.

#### **2.1.4 Abrasión sobre pinturas de demarcación vial para la evaluación de su performance**

Los autores del artículo de investigación Mechura et al., 2019 realizaron un ensayo con el objetivo de evaluar el desempeño de diferentes tipos de pinturas acrílicas base acuosa y base solvente. Para ello, se ha ejecutado una prueba de “Abrasión por vía húmeda” o WTAT con la finalidad de comparar el comportamiento de estas pinturas en el tiempo con el efecto del agua. Por consiguiente, los autores usaron cuatro pinturas como una metodología a ejecutar en el ensayo, una pintura acrílica base de solvente y tres pinturas acrílica base de agua. Todas las pinturas aplicaron en chapas lisas de 30 cm x 30 cm con un espesor de 600  $\mu\text{m}$  en húmedo. Antes de ejecutar el ensayo, los autores midieron el espesor seco. El ensayo contiene la ejecución de las muestras en un agitador mecánico con hule flexible reforzado, el cual dio a las probetas un

roce entre sí con una manguera roce sumersa, finalmente, los autores calcularon la pérdida de peso por abrasión en comparación al antes y después del ensayo (Mechura et al., 2019).

Los resultados del ensayo de abrasión por vía húmeda arrojaron diferencias significativas en la eficacia de todas las pinturas acrílicas base acuosa y la pintura base solvente. En particular, al comparar la pérdida del peso tras la abrasión de las muestras SLU, ALU, AF05 y AF01 bajo circunstancias de curado similares, el ensayo sembró notables diferencias en la eficacia según lo estipulado (Mechura et al., 2019).

Puede verse que la pintura de base solvente SLU mostró un comportamiento más estable en términos de pérdida de peso por abrasión, lo que indica una mayor resistencia contra el desgaste. En las condiciones óptimas de curado, lo que corresponde a una temperatura de 25 °C y mantenimiento de la humedad al 50%, la muestra SLU mostró la mínima pérdida de peso por abrasión, alcanzando el límite de 22.5 g/m<sup>2</sup> en las peores condiciones de curado.

Independientemente, estos valores demuestran que la pintura a base de solvente tuvo una mayor capacidad de adherencia y durabilidad, que probablemente se deba a su formulación con resinas acrílicas estirenadas, como se identificó durante el análisis FTIR (Mechura et al., 2019).

Por otro lado, se observa que, aunque las pinturas base acuosa han sido desarrolladas como una alternativa más limpia a las altamente contaminantes base solvente que aquí las anteceden, la incompatibilidad con crecimiento de sólidos presentada por las formula ALU tiende a ser variable con la concentración de dichos sólidos y a condiciones experimentales. Como se puede observar en las X-X, la pintura ALU presenta, tras el secado, una disminución del 35% en su espesor, lo que indica una mayor vulnerabilidad al desgaste. Igualmente, en la arena de ensayo con humedad constante y un tiempo de secado de 24 h, la misma pintura registró

una pérdida de peso máxima de 54 g/m<sup>2</sup>, lo que sugiere una sensibilidad doblemente aguda cursando por condiciones ambientales durante su curado (Mechura et al., 2019).

Otras pinturas base acuosa, AF01 y AF05, también exhibieron características distintivas. AF01 fue el que mostró la mayor pérdida de peso abrasivo mientras desarrollaba fisura al secarse. Aunque el valor presentó la prestación de pérdida por abrasión máxima, fue menor al observado para el ensayo de la pintura SLU. AF05 presentó micro fisura después del secado las que fueron más pequeñas que la AF01. However, AF05 presentó el rendimiento más alto en términos de la a pérdida de pérdida por abrasión que las otras pinturas cuando se ensayó en condiciones similares (Mechura et al., 2019).

Por lo tanto, según la comparación general, se puede concluir que la resistencia al desgaste de las pinturas está directamente relacionada con el contenido de sólidos y las condiciones de curado. Como la SLU y la ALU tienen un contenido de sólidos más bajo, reducen significativamente su grosor durante el fenecimiento debido a la evaporación del agua, lo que influye en su resistencia a la abrasión. La presencia de microfisuras en las pinturas base acuosa también demuestra que la formulación y las condiciones de curado desempeñaron un papel importante en su desempeño adicional. Por otro lado, debido a los resultados, también se puede asumir que los especímenes probados en una atmósfera con baja temperatura y alta humedad tienen una mayor pérdida de peso por abrasión. Demuestra que las condiciones ambientales durante la aplicación y el fenecimiento también afectan considerablemente la durabilidad y el rendimiento de las pinturas de demarcación (Mechura et al., 2019).

### **2.1.5 Implementación de mecanismo de aplicación granulométrica para la señalización vial en Villavicencio, Meta Colombia**

El proyecto realizado por Diazgranados (2019) tuvo como objetivo desarrollar un plan de negocios para la creación de una empresa dedicada a la señalización vial horizontal en Villavicencio, Meta. La meta fue generar seguridad y confort para los usuarios de las vías, además de brindar un excelente servicio a las empresas encargadas de la construcción de dichas vías.

De acuerdo con lo anterior, Diazgranados (2019) realizó una metodología que, aunque es la única que ha aplicado, es en varios pasos que se han llevado a cabo en muchos estudios. En primera instancia, se llevó a cabo un estudio de mercado con el fin de identificar necesidades específicas en la ciudad de Villavicencio. Consistió en encuestas a empresas constructoras de obras civiles. Por medio de un método de muestreo probabilístico aleatorio simple se garantizó la representatividad de la muestra. También se llevaron a cabo estudios técnico, administrativo, legal y financiero. Se recogió la información de fuentes primarias, es decir, encuestas, y secundarias, es decir, datos obtenidos de la Cámara de Comercio y de normativas técnica.

El estudio de mercado proporcionó cierta información acerca de las necesidades y percepciones de las empresas constructoras en Villavicencio en torno a los servicios de señalización horizontal. La encuesta fue respondida por 58 de los aproximadamente 150 consultados, seleccionados a través de un muestreo de probabilidad aleatorio simple para garantizar la representación suficiente del mercado de interés. La respuesta indicó que las empresas tienen una alta demanda de producción de señalización, con un 64% del total manejando de vez en cuando, un 21% no lo hace y un 15% menos citando cuando lo hace. Esto

sugiere que los resultados tenían sentido en cuanto a la demanda del producto (Diazgranados, 2019).

En relación con las preferencias en la contratación de servicios, las empresas indicaron que la rapidez de la ejecución de los mismos, junto a un alto nivel de calidad, ocupaba el primer lugar, seguida de la combinación entre calidad y economía. Esto indicó que la propuesta económica de la empresa no solo debía centrarse en la rapidez y un alto nivel de calidad en la prestación del servicio, sino también incluir la aplicación de nuevas tecnologías aplicadas a la señalización vial que le permitiesen el cumplimiento de las demandas del mercado. Además, se observó que las empresas tenían un conocimiento limitado sobre los distintos materiales utilizados en la demarcación vial. La mayoría de ellas indicó que utilizaban la pintura convencional, lo que puso de manifiesto un hueco de información que puede ser aprovechado por la nueva empresa para posicionarse como la empresa líder en innovación tecnológica de este sector (Diazgranados, 2019).

Dentro de los resultados destacados de la investigación, cabe resaltar que un 57% de las empresas consideraba el uso de la señalización horizontal como esencial mientras que un 43% no lo catalogaba de importante. Este dato pone de manifiesto la necesidad de sensibilizar a determinados actores del mercado para dar valor a una correcta demarcación vial que favorezca una seguridad viaria superior y una reducción de los accidentes. Dentro de la tónica de este dato, un 78% de las empresas se mostraron favorables a la implementación de mecanismos innovadores de la señalización vial en sus proyectos, lo que pone de manifiesto un alto grado de receptividad hacia las nuevas soluciones útiles y eficaces. Datos, a su vez, muy interesantes, pues llevan a la conclusión de que existe una cierta apertura del mercado a la introducción de nuevas tecnologías (Diazgranados, 2019).

Con base al análisis de la señalización vial en Villavicencio, se determinó que el 60% de las empresas encuestadas referían que la ciudad no contaba con señalización horizontal; por tanto, se delimitó un evidente campo para llevar a cabo el proyecto propuesto, ya que se consideró a la escasa señalización como un nicho a tratar, con calidad en el servicio y tecnología de vanguardia (Diazgranados, 2019).

Para el análisis financiero, se estipularon proyecciones de cinco años para la inversión inicial que se presentó de \$149.180.768, quien a partir de los cálculos financieros extrapolo un valor presente neto (VPN) positivo correspondiente a \$6.491.355.037, lo que daba cuenta de una empresa que lograría crecimiento sostenible y rentable en el tiempo. La tasa interna de retorno (TIR) se estimó en 7323.50%, totalmente superior a la tasa mínima considerada del 50%. Esto confirmaba que el proyecto era financieramente sostenible, pues no sólo sería capaz de recuperar la inversión inicial sino también que generaría utilidades importantes. Por otra parte, la evaluación financiera recalco que la inversión principal se encontraba en función de la adquisición de maquinaria de tecnología de punta, de acuerdo con las expectativas de servicio rápido del mercado y de alta calidad con tecnología avanzada (Diazgranados, 2019).

El análisis también incidía que la demanda potencial provenía de empresas constructoras locales que requerían servicios especializados en señalización vial, para mejorar la movilidad de las vías y también la seguridad. El análisis de costos mostraba que una inversión que era relativamente baja en comparación con los beneficios y rendimientos de la señalización vial podría ser implementada. Los costos fijos eran de \$28,320,000 anuales y se incorporó un análisis exhaustivo de la estructura de gasto, que abarcaba desde la adquisición de maquinaria y equipos hasta los costos de operación y administrativos (Diazgranados, 2019).

Adicionalmente, el estudio de mercado evidenció un claro interés de las empresas en contar con un proveedor que les ofreciese un servicio de mantenimiento periódico, aspecto que el proyecto introdujo en la propuesta de la oferta de valor. La oferta del primer mantenimiento gratuito en los seis meses posteriores a la demarcación pretendía construir la fidelidad del cliente y posicionar la empresa nueva en el mercado local (Diazgranados, 2019).

Además, Diazgranados (2019) afirmó que el proyecto era una alternativa de negocio viable, generando grandes expectativas en el mercado de Villavicencio. La empresa propuesta ofrecía un servicio de alta calidad y precio ajustado y con prestaciones adicionales que las empresas locales no ofrecían. El estudio de mercado demostró que las empresas estaban interesadas en contar con un proveedor que les ofreciese servicios más eficaces y eficientes. Y por último, el análisis financiero del proyecto evidenció la viabilidad del mismo. Las expectativas de rentabilidad eran más que altas y el resultado del análisis financiero evidenció una IRR que cumplía las expectativas.

### **2.1.6 Diseño, Creación E Implementación De La Pintura Luminiscente Para La Señalización Horizontal De 30m En La Salida Del Casco Urbano Hacia Las Veredas Del Sur En El Municipio De Girardot, Cundinamarca.**

La tesis de grado hecha por Sterling (2024) tuvo como propósito general, diseñar, construir e implementar pintura luminiscente para la señalización horizontal de 30 metros, desde la salida del casco urbano hacia las veredas del sur que tiene el municipio de Girardot, Cundinamarca. Se enunciarán más adelante las razones de este propósito general; empero, estas han sido establecidas a partir del ángulo de la seguridad vial con el que se va a estudiar esta

situación de siniestralidad, específicamente en momentos del día donde la visibilidad puede llegar a ser cero, poniendo en peligro la seguridad de las personas que hacen uso de esta vía.

Para alcanzarlo, el autor llevó a cabo su investigación con una metodología experimental, delimitándola en el éxtasis del diseño y la construcción de la pintura luminiscente. Empezando con la exploración de campo de la señalización vial de la zona de estudio, se realizó un análisis del estado actual, se determinaron las pruebas a llevar a cabo en laboratorio con el fin de obtener las variables correspondientes a la pintura luminiscente y se aislaron materiales a usar para finalmente determinar las características deseadas de la pintura luminiscente. Esas características deseadas estaban enfocadas en la capacidad de la pintura para absorber luz solar durante horas solares y comenzar a emitirla durante horas nocturnas; todo esto se complementó con la evaluación del comportamiento de la pintura luminiscente una vez que se expone al desafío de la exigencia en la vía en términos del tránsito vehicular, las exigencias en las que se ve expuesta la pintura luminiscente a pesar de las condiciones climáticas en ocasiones adversas, etc. Finalmente, se realizó la disposición de la pintura luminiscente en la localización y se registraron sus efectos (Sterling, 2024).

Por lo que se determina, que la pintura luminiscente es efectiva en el caso de señalización horizontal en condiciones de baja visibilidad, como las del trayecto, debido a que consigue que los conductores puedan percibir con efectividad las instrucciones para la conducción. Ya en las pruebas de laboratorio, la pintura luminiscente demostró tener una gran capacidad de almacenamiento frente a la luz solar y una larga duración de emisión durante el periodo nocturno. Los análisis también demostraron que la pintura luminiscente podía mantener su reflectancia y su visibilidad a pesar de la imagen que puede dar el tráfico vehicular y las condiciones ambientales. En el caso de la implementación de la señalización en el trayecto de 30

metros de la vía que conecta con las veredas del sur de Girardot, se encontraron mejoras en la seguridad vial al presentar una disminución de siniestros gracias a la mayor visión y orientación para los conductores. Y desde luego, el autor discute que la pintura luminiscente fue una solución sostenible dado que solo requería de la luz solar como fuente de energía y no requería de la creación de infraestructura eléctrica (Sterling, 2024).

Por lo que determina el autor, la implementación de señalización para la pintura luminiscente como señalización horizontal fue una buena solución para la seguridad vial en lugares no iluminados, pues la pintura luminiscente es una alternativa sostenible y económica con respecto a otras soluciones de señalización que requieren de iluminación artificial. Además, la mayor visibilidad en la señalización contribuye a la reducción de accidentes viales, especialmente en la noche y también fomenta la utilización de tecnologías sostenibles en la señalización de la vía (Sterling, 2024).

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 Marcas viales horizontales y su importancia como referencia visual para las personas en la carretera.**

Las demarcaciones horizontales viales se presentan como un eje primordial de la movilidad vehicular, ya que genera un mayor campo de visibilidad para los conductores conllevando al aumento de la seguridad vial. Por lo tanto, estas demarcaciones van desde líneas horizontales hasta las diversas señalizaciones verticales que podemos encontrar en el asfalto, cuya finalidad es direccionar a los vehículos y demarcar las diversas zonas seguras de cruce para los peatones, asimismo pueden indicar velocidades mínimas y máximas que se pueden alcanzar

en diferentes tramos viales. Según el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte, estas señalizaciones, principalmente aseguran una óptima circulación vial primordial asegurar la correcta circulación en las vías y prevenir accidentes mediante la provisión de información clara y precisa para los conductores (Mintransporte, 2015).

Por lo tanto, en las vías tanto rurales como urbanas, las demarcaciones horizontales son de gran importancia para la guía de los conductores y la seguridad de los transeúntes, ya que indica inicialmente la adecuada disposición de los carriles, las velocidades permitidas y las distancias necesaria entre carriles e intersecciones. Por consiguiente, se puede observar que en áreas urbanas que son altamente pobladas, los puntos de cruce peatonal así como la señalización de rutas exclusivas para ciclistas, se deben de encontrar debidamente marcadas, ya que son vitales para la seguridad de las personas con una mayor vulnerabilidad ante posibles colisiones vehiculares. De esta forma, la guía de buenas prácticas para la demarcación Horizontal de Carreteras Locales señala que estas figuras demarcadas en la vía contribuyen a la seguridad vial, así como promoción de alternativas que incentivan el uso de vehículos como medio de transporte sostenible, tales como las bicicletas que se caracterizan por su seguridad y eficiencia. (Asociación Española de la Carretera (AEC), 2020).

Respectivamente, las señalizaciones horizontales son esenciales como medio de regulación de velocidad en las vías, esto priorizándose en diversos tramos en los cuales es fundamental que los vehículos mantengan una velocidad mínima, para enfrentar con seguridad curvas peligrosas, puntos de cruce peatonal y en áreas de presencia escolar. De esta forma, las bandas transversales funcionan como un medio de aviso o alerta que permite que los conductores minimicen la velocidad, facilitando un recorrido visualmente óptimo. Tal es el caso del estudio realizado en Quibdó, donde la implementación las señalizaciones horizontales en espacios que de

caracterizaban por ser de alto riesgo para los peatones y conductores, lograron disminuir la tasa de accidentes de tránsito, derivando una percepción óptima en temas de seguridad vial por parte de la ciudadanía (Blandón & Rentería, 2021).

Además, las estas señalizaciones se presentan como un punto clave en el mejoramiento de la visibilidad vial, esto por medio de la aplicación de señales retrorreflectores, garantizando que las demarcaciones horizontales sean altamente visibles de noche como de día. por ello, se resalta en el manual de señalización vial, que a través de los avances tecnológicos relacionados a los materiales retrorreflectivos, se ha contribuido a la seguridad vial, mejorando las condiciones visuales para los conductores, siendo estos materiales eficientes en la prevención de condiciones adversas, ya que permite que el conductor logre identificar a tiempo posibles peligros presentes en la vía y logre llevar a cabo acciones evasivas a tiempo (Mintransporte, 2015).

Por otra parte, en las zonas rurales, las señalizaciones viales horizontales contribuyen especialmente en la guía de los conductores por medio de rutas caracterizadas por considerarse de difícil acceso, ya que estas presentan baja luminiscencia, así como tránsito mixto, es decir, la disposición de un solo carril para cada sentido direccional. Las demarcaciones horizontales, proporciona una mayor claridad en las rutas rurales, como lo señala la guía de buenas prácticas para la señalización horizontal, demarcar correctamente estas vías, permite que las calzadas, los carriles, en especial los tramos estrechos, sean mayormente visibles para los conductores y los peatones (Asociación Española de la Carretera (AEC), 2020).

Por último, estas señalizaciones se presentan como un elemento estratégico en la seguridad vial, ya que interactúa con los semáforos, ofreciendo así un sistema integral, al ofrecer un sistema coherente y efectivo que facilita la movilidad. Destacándose que la combinación de

estos elementos de forma correcta, contribuyen a la reducción de la accidentabilidad, especialmente en escenarios con altos índices de siniestros viales (Blandón & Rentería, 2021).

### **2.2.2 Tipos de marcas horizontales, progreso y mejoras**

Las marcas viales horizontales pueden clasificarse en diversos tipos, esto dependiendo de las características específicas para el que se requiera, ya sea para guiar, informar o advertir al transeúnte o conductor. Inicialmente se tiene las demarcaciones longitudinales, transversales y las de canalización, estas son utilizadas especialmente para la demarcación de carriles, pasos peatonales o en la ayuda de la óptima circulación interseccional. Según el Catálogo de Marcas Viales presentado por el ministerio de interior de España, estas marcas permiten regular el tráfico y asegurar la fluidez vehicular, justificando su importancia en la infraestructura vial de los países (Ministerio del Interior, 2022).

Por consiguiente, la clasificación o tipos de las demarcaciones viales horizontales se ven intervenidas constantemente por los cambios poblacionales y tecnológicos que se han presentado en las últimas décadas, lo que genera que el diseño y aplicación sea constantemente modificado, ya sea por la llegada de los materiales retrorreflectivos o la creación de vías nacionales que carecen de luz en horarios nocturnos. En este sentido, las señalizaciones viales han evolucionado con el objetivo de garantizar al conductor un tránsito óptimo incluso en condiciones climáticas adversas, que le permita visualizar correctamente las señales horizontales, donde se destaca la aplicación de tecnologías retrorreflectivas en las carreteras (Camacho et al., 2017).

Por otro lado, el mejoramiento de la señalización también se focalizado en la adaptación de dichas marcas para el óptimo funcionamiento de los vehículos semiautomáticos, ya que estos nuevos automotores disponen de un dispositivo de reconocimiento de señalización para eficiente

funcionamiento. Lo anterior, ha generado que se realicen ajustes en la longitud y separación de las señalizaciones horizontales, en especial, en aquellas vías que presentan un acceso complejo que pueda interferir en la óptima movilidad de dichos vehículos.. Según un estudio de Camacho et al. (2017), estas adaptaciones son esenciales para asegurar la funcionalidad continua de los vehículos automatizados en las vías, mitigando errores en la identificación de carriles y mejorando la seguridad y eficiencia de los conductores.

Con respecto a las demarcaciones transversales, como lo son las líneas de pare, de reducción de velocidad y las de paso peatonal, se han aplicado diversas normativas que buscan gestionar una correcta señalización que incentive la visibilidad y la demarcación oportuna. Ya que este tipo de marca, permite ralentizar el tráfico en pro de la seguridad del peatón, siendo el objetivo de estas normas conservar en óptimas condiciones las marcas viales, evitando así accidentes y aumentando la cultura del respeto por las normas de tránsito (Pala, 2022).

Las mejoras ahora incluyen la adición de marcas como las de canalización y cebrado, que organizan el tráfico en intersecciones complicadas y en carreteras con varios carriles. Estas señales guían a los conductores para que se preparen con tiempo al cambiar de carril o al girar, lo que hace que el tráfico sea más seguro y fluido. Según el Catálogo de Marcas Viales, cuando se aplican correctamente, estas marcas ayudan a reducir la confusión y facilitan una circulación más ágil, incluso en zonas con mucho tráfico (Ministerio del Interior, 2022).

Finalmente, las señalizaciones viales siguen mejorando con el trabajo continuo de las nuevas tecnologías y materiales, actualizándose paralelamente al surgir nuevas necesidades emergentes de las carreteras modernas. Los planes de mejora en señalización vial horizontal, como su implementación en áreas urbanas y rurales, buscan actualizar y mantener estas señales para asegurar una infraestructura vial segura y eficiente (Pala, 2022).

### **2.2.3 Tipos de materiales utilizados en las marcas viales horizontales**

Los materiales que se están utilizando actualmente en las marcas viales horizontales varía según las características de la carretera y las condiciones climáticas presentes en la zona a demarcar. Por consiguiente, los materiales comunes que se utilizan van desde las pinturas, termoplásticos, plásticos en frío, cintas prefabricadas, post-mezclado como microesferas de vidrio y áridos antideslizantes. Cada uno de ellos presenta ventajas específicas sea para garantizar la durabilidad y visibilidad (Aldana, 2020).

Principalmente, las pinturas son el material de mayor uso frecuente para las realizar las señalizaciones horizontales, esto debido a que son fáciles de aplicar y flexibles para emplear. Estas pinturas se componen esencialmente por pigmentos que proporciona el color, así como por resinas que funcionan como ligantes y disolventes que aceleran la aplicación. Asimismo, emplear microesferas de vidrio en las pinturas mejoran la visibilidad en horarios nocturnos, facilitando el reflejo de luz emitida por los vehículos (DAC, 2024).

Los termoplásticos son otro material empleado frecuentemente en las marcas viales. Este material se aplica en caliente, permitiendo su rápida solidificación y resistencia al desgaste. Además, se le añaden microesferas de vidrio durante su fabricación para garantizar una alta reflectividad. Una de sus principales ventajas es que, una vez aplicado, permite la apertura rápida al tráfico, lo cual minimiza las interrupciones en la vía (Aldana, 2020).

Por otro lado, los plásticos en frío se utilizan en aplicaciones que requieren una mayor resistencia y durabilidad. Estos materiales se mezclan en el sitio de aplicación y endurecen mediante una reacción química. Se caracterizan por su dureza, lo que los hace ideales para vías

con tráfico intenso, y su tiempo de endurecimiento es relativamente corto, facilitando la gestión del tráfico (DAC, 2024).

Las cintas prefabricadas son opciones prácticas para aplicaciones temporales o cuando se requiere un sistema de señalización rápido y removible. Estas cintas se adhieren mediante calor o pegamentos específicos, y están constituidas de microesferas de vidrio que permiten una mejor visibilidad nocturna. No obstante, su colocación debe ser efectuada por personal especializado para garantizar de esta forma su durabilidad e idoneidad de la adherencia a la superficie de la marca (Ministerio de Transporte, 2024).

Por último, los materiales de post-mezclado que corresponden a los áridos antideslizantes se aplican sobre la superficie de la marca para mejorar la fricción entre el neumático del vehículo y la marca, y así disminuir el riesgo de deslizamiento, especialmente en la lluvia. Éstos han de elegirse con respecto al tipo y grosor de la marca vial para garantizar su eficacia y durabilidad en las condiciones del tráfico y meteorológicas correspondientes (DAC, 2024).

#### **2.2.4 Aplicación de la señalización vial horizontal**

La implementación de la señalización de la vía horizontal, es un proceso indispensable para garantizar la seguridad y la regulación del tráfico de las vías, donde se emplea la señalización de la vía horizontal, la cual está compuesta de líneas, símbolos, flechas y letras pintadas sobre el pavimento y que tienen un objetivo único de regular y guiar el tránsito vehicular y peatonal, además de advertir sobre la posible existencia de obstáculos (Ministerio de Transporte, 2024).

La aplicación debe seguir criterios estrictos respecto a la uniformidad del diseño, de sus dimensiones, así como de los colores y los materiales utilizados para ello; es importante que las

marcas sean visibles de día, pero también de noche, para lo cual se emplean en su elaboración materiales retrorreflectivos (microesferas de vidrio) que buscan mejorar la visibilidad de acuerdo a la luz de los faros de los automóviles (Mintransporte, 2015).

Diferentes tipos de marcas horizontales pueden generarse, como las longitudinales y las transversales, las cuales se aplican según las necesidades de la misma vía. Por ejemplo, líneas centrales continuas o por segmentos, se emplean en la separación de carriles de circulación ya sea en el mismo sentido o en sentido contrario; flechas y símbolos que guían a los conductores sobre las maniobras que pueden llevarse a cabo en intersecciones o desvíos (Mintransporte, 2015).

La aplicación correcta de estas marcas requiere, además, un tiempo adecuado de secado y endurecimiento, sobre todo en el caso de las pinturas en frío (se tratan de pinturas que se aplican sobre superficies asfálticas o de concreto); ya que se necesita un tiempo mínimo de espera de 30 días después de la construcción del pavimento para poder realizar la demarcación definitiva, garantizando así una determinada durabilidad (Ministerio de Transporte, 2024).

Mantener la señalización horizontal es un aspecto fundamental para asegurar su correcto conocimiento y comprensión. Las marcas viales, con el paso del tiempo y la exposición a las condiciones del tiempo o al tránsito, pueden sufrir desgaste o su reflejo puede verse alterado. La renovación de éstas mediante un plan de mantenimiento periódico para pintarlas es necesaria para garantizar la seguridad en la vía (Mintransporte, 2015).

### **2.2.5 Factores que generan el deterioro de las marcas viales horizontales**

La degradación de las marcas viales horizontales es una problemática común resultado de la combinación de diversos parámetros que, de alguna manera, afectan a su durabilidad y, como

consecuencia de eso, a su eficacia en la señalización viaria. Uno de los principales parámetros es el de la exposición continua a la meteorología, ya que esta, sobre todo la radiación solar y la lluvia, favorecen, por un lado, que se produzca su degradación y por otro la disminución de la adherencia de las marcas por la erosión de la pintura superior de las marcas viales horizontales. Así, por un lado la radiación UV favorece la degradación de los pigmentos y de las resinas con las que se fabrican las pinturas y, por otro, la lluvia y la humedad son responsables de que las marcas viales horizontales tengan poca adherencia y, cuando existen olores en las calles, se erosione la capa de pintura de las marcas (Ronderos, 2021).

Además, el tránsito de vehículos es otro parámetro significativo que contribuye a su degradación. Los pesos y la fricción de los vehículos, sobre todo de aquellos que son de carga pesada, contribuyen a un desgaste mecánico continuo sobre las marcas viales merced a lo cual se reduce la visibilidad de las marcas y, por ende, su eficiencia. En las vías que presentan un tránsito elevado, este parámetro va implícitamente en aumento, constituyendo la necesidad de un mantenimiento y repintado mucho más frecuente a fin de tener a punto las condiciones de uso (Blandón & Rentería, 2021).

La calidad de los materiales utilizados también está directamente relacionada con esta durabilidad. La elección de pintar inapropiadas o de calidad baja en los materiales puede implicar un desgaste acelerado de las marcas, por cuanto estas no cumplen con la resistencia necesaria a las inclemencias meteorológicas y al desgaste mecánico del tránsito de vehículos. Es por ello que conviene elegir materiales que puedan ser utilizados cumpliendo las normativas técnicas a fin de poder ofrecer una mayor duración con respecto a las señales viales horizontales (Ministerio del Interior, 2022).

Otro factor importante a tomar en consideración es la calidad de la ejecución inicial de las marcas viales, ya que si las marcas viales no se ejecutan correctamente, teniendo en cuenta los tiempos de secado y las condiciones de la superficie de la vía, se puede dar el caso de que aparezcan fallos prematuros. Las superficies que no han sido preparadas adecuadamente y las que tienen residuos de aceite o de polvo, pueden alterar la adherencia de la pintura de la marca, civilizando por lo tanto a una situación en que se permite el desgaste de la marca antes de tiempo o su desprendimiento (Asociación Española de la Carretera (AEC), 2020).

Finalmente, las vías sometidas a intervenciones, como las que se llevan a cabo en el mantenimiento o la reparación, también afectan a las marcas viales, ya que las actividades de pavimentación y la modificación de la infraestructura de la vía pueden dañar las marcas de la vía existente y repintar pueden ser necesarias para asegurar la continuidad y efectividad del señalamiento horizontal de la vía (Ministerio de Transporte, 2024).

### **2.2.6 Pintura termoplástica y su viabilidad para la demarcación vial**

La pintura termoplástica es una de las tecnologías más adecuadas para la demarcación de las vías, debido a su gran durabilidad y a su propiedad reflectante. Este tipo de pintura se aplica en caliente, lo que facilita la unión con el pavimento, y una rápida solidificación en diez minutos aproximadamente, por lo que las marcas realizadas con este tipo de pintura son más resistentes al desgaste por motivos del tráfico y a las inclemencias del tiempo (Ronderos, 2021).

Una de las ventajas principales del uso de la pintura termoplástica es que se puede dotar a cada marca vial de microesferas de vidrio durante el proceso de aplicación, de forma que se incrementa la propiedad reflectante de la misma y eso permite dotar a la marca vial de la posibilidad de ser vista tanto de día como de noche. Cabe resaltar que esta característica resulta

esencial para poder garantizar la seguridad en las vías a partir del momento en el que los conductores pueden identificar las marcas realizadas incluso en condiciones de baja visibilidad (Ronderos, 2021).

El uso de la pintura termoplástica, no obstante, requiere de maquinaria para calentar y aplicar de forma uniforme el material, lo que conlleva un coste inicial importante, pero que se contrarresta con la larga durabilidad y el bajo coste de mantenimiento que ofrece a largo plazo. En comparación con otros tipos de pintura, las demarcaciones realizadas con material termoplástico pueden tener una durabilidad de entre cinco y siete años, según se encuentren las condiciones de la vía y el tráfico (Ronderos, 2021).

Respecto a la viabilidad, la aplicación de pintura termoplástica es especialmente eficaz en carreteras con un elevado tránsito vehicular, donde destaca sobre todo la resistencia al desgaste y la posibilidad de dar visibilidad nocturna; la posibilidad de personalizar la mezcla para tolerar diferentes tipos de pavimentos y condiciones climáticas determina también una mayor eficacia, y consolida a esta pintura como una de las soluciones propuestas en las obras de más amplio calado donde la señalización es precisa (Ronderos, 2021).

## **2.3 Marco normativo**

### **2.3.1 Decreto 1292 de 2021**

Mediante el cual el presidente de la república de Colombia modifica la estructura del Instituto nacional de vías, con sus funciones, su organización y su estructura, así como la definición de sus dependencias, la asignación de responsabilidades para la gestión y operación de la infraestructura vial no concesionada, y se establece la colaboración del ministerio de

transporte para la ejecución de políticas y proyectos de carreteras, caminos de ferrocarril, vías fluviales y marítimas; todo ello orientado a incentivar la modernización, sostenibilidad e innovación de la infraestructura vial y de transporte del país (Presidente de Colombia, 2021).

### **2.3.2 Ley 2251 de 2022**

A través de esta ley, el congreso de la república de Colombia introduce normas específicas para la implementación de una política de seguridad vial centrada en la seguridad de las personas. Su objetivo es salvaguardar y garantizar la vida y la integridad de las personas mediante un sistema que minimice los riesgos que puede acarrear el error humano que se puede producir en carretera. Se fomenta la corresponsabilidad de las autoridades, los conductores y los fabricantes para garantizar, por un lado, la infraestructura vial, por otro lado, mantener vehículos en correcto estado mecánico, y por último se espera conductores responsables. Se adecuan algunos elementos estructurales de la regulación de licencias de conducción, límites de velocidad y tecnologías para controlar infracciones, con el objetivo de disminuir el número de accidentes y mejorar la movilidad (Congreso de Colombia, 2022).

### **2.3.3 Resolución 1885 de 2015**

Esta resolución del ministerio de transporte se adopta el Manual de señalización vial - Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia, donde se fijan las normas características técnicas de señalización vial en todo el país, concretamente calles, carreteras y ciclorrutas y todo tipo de obras y fiestas que puedan afectar el tránsito. Por otro lado, se derogan las resoluciones 1050 de 2004, 4577 de 2009 y 1236 de 2013,

mejorando y unificando así las normas de señalización, encaminándose hacia una política de más seguridad vial y efectividad en la gestión del tránsito (Mintransporte, 2015).

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 Enfoque y alcance de la investigación**

Este estudio fue desarrollado mediante un enfoque de tipo cualitativo, dado que dicho enfoque de investigación se expresa en virtud de la búsqueda de un análisis y la comprensión de los distintos fenómenos y perspectivas existentes en relación al tema que dará pie a la formulación de la investigación. Por tanto, este enfoque de investigación habrá de analizar todos los factores que inciden en la durabilidad de la pintura en las marcas viales, así como cualquier estrategia de mejora a partir de la información obtenida en la revisión documental y en la exploración bibliográfica que se haya llevado a cabo. Además, el alcance de la investigación es meramente descriptiva y exploratoria, puesto que habrá de describirse las características de los materiales utilizados y los factores que intervienen en la durabilidad de la pintura en las marcas viales, así como las posibles mejoras a partir de la información ya documentada.

#### **3.2 Población y muestra**

##### **3.2.1 Definición de la población**

La población ha investigar se encuentra constituida por investigaciones, normativas, manuales, artículos de revisión e investigación y estudios previos relacionados con la durabilidad de la pintura en marcas viales realizados en Colombia y otros países. Esta población incluye documentos realizados por profesionales, docentes, estudiantes, empresas privadas y públicas, así como entes gubernamentales, dedicadas al estudio de las señalizaciones viales, así como en la seguridad vial e infraestructura vial optima. Dichas investigaciones, abarcaron características

esenciales como lo son propiedades del material, factores que afecten la durabilidad y prácticas de mejora y optimización de las demarcaciones.

### 3.2.2 Cálculo y selección de la muestra

Ya que la investigación consiste en una revisión bibliográfica, se lleva a cabo un muestreo caracterizado por la relevancia y pertinencia del documento analizado.

Seleccionándose una muestra intencionada de investigaciones que abarquen estudios realizados Colombia y otros escenarios internacionales.

Para garantizar la validez de la información recopilada, se aplicarán los siguientes criterios de inclusión:

- Documentos publicados en los últimos 15 años.
- Estudios que analicen específicamente la durabilidad de la pintura en marcas viales.
- Normativas y manuales relacionados con la aplicación y mantenimiento de la pintura termoplástica y otros materiales.
- Informes que presenten información sobre la resistencia y durabilidad en condiciones de tráfico y climáticas comparables a las de Colombia.

Los **criterios de exclusión** son:

- Estudios o documentos publicados fuera del rango de los 15 años establecidos.
- Investigaciones que no aborden específicamente la señalización vial o que no presenten datos relevantes sobre la durabilidad y resistencia.

### 3.3 Instrumento(s)

Dado se realizada una revisión bibliográfica, se utilizará una matriz bibliográfica, este instrumento permite recopilar, organizar y analizar información relevante de estudios,

normativas y manuales relacionados con la durabilidad de la pintura en marcas viales. A continuación, se detallan sus características:

- **Objetivo:** identificación y sistematización de las investigaciones relevantes relacionadas a los factores que afectan la durabilidad del termoplástico en señalizaciones viales y posibles estrategias de mejora.
- **Estructura:** se tendrá en cuenta aspectos relevantes como autor, objetivo, resultados, conclusiones, aporte a la investigación.

**Confiabilidad:** Los documentos investigados se buscarán por medio de plataformas confiables, estas pueden ser repositorios institucionales, revistas de investigación o paginas como Google académico, Dialnet o E libro.

### 3.4 Descripción de procedimientos

El procedimiento de recolección de información consistirá inicialmente en determinar los lapsos de tiempo estipulados, estos tiempos hace referencia a investigaciones no superiores a 15 años de antigüedad. Ya que no se requiere alguna autorización debido a que los documentos son de acceso público, estos serán descargados y debidamente seleccionados para construir la matriz bibliográfica en Excel, donde se desglosara de forma resumida las secciones relevantes de los documentos lo que permitirá determinar si la información es adecuada para el estudio, aquellas que no lo sean fueron debidamente eliminadas.

### 3.5 Análisis de información

Toda la información recolectada fue debidamente leída y analizada, la plataforma Excel permitió identificar si el documento presentaba las características necesarias para ser utilizado en la investigación.

### 3.6 Consideraciones éticas

#### 3.6.1 Análisis de consideraciones éticas

En línea con las políticas de **Uniminuto** y las normas de la **comunidad científica**, se asegurarán las siguientes consideraciones éticas:

- **Confidencialidad:** Como la investigación se basa en fuentes secundarias y documentos públicos, no hay involucramiento directo de individuos, por lo que no se requieren consideraciones adicionales sobre confidencialidad de participantes.
- **Transparencia y honestidad:** Se garantizará que todas las fuentes sean citadas correctamente en el formato APA, respetando la propiedad intelectual de los autores originales. Además, cualquier conflicto de interés o sesgo potencial en la selección de documentos será explicitado.
- **Rigor académico:** Se emplearán métodos sistemáticos para la búsqueda y análisis de información, asegurando que la selección de fuentes sea objetiva y que se presenten las interpretaciones sin sesgos.

### **3.6.2 Instrumentos de aceptación y autorización**

Dado que la investigación es de carácter documental y no implica interacción directa con individuos o recopilación de datos sensibles, no se requiere un consentimiento informado.

## **4 HIPÓTESIS**

### **4.1 Las variables**

Para entender la durabilidad de los termoplásticos en las demarcaciones viales, así como el diseño de recomendaciones estratégicas para la mejora y eficiencia de este producto, se establecen las siguientes variables.

#### **4.1.1 Variable(s) independiente(s)**

Las variables independientes esenciales para esta investigación se enmarcan principalmente en las características que componen a los termoplásticos.

- Composición química: Termoplástico, pintura acrílica, plástico en frío, entre otros.
- Método de aplicación: Aplicación en caliente, aplicación en frío, uso de microesferas de vidrio para mejorar la reflectividad.
- Propiedades físicas: Espesor, dureza, flexibilidad y capacidad de adherencia al pavimento.

#### **4.1.2 Variable(s) dependiente(s)**

La variable dependiente es la durabilidad de la pintura en las marcas viales, dependientes de diferentes factores que se presentaran a continuación.

- Exposición a condiciones climáticas: Lluvia, radiación solar, temperatura, y cambios estacionales.
- Intensidad y tipo de tráfico: Peso de los vehículos, frecuencia de paso y tipo de vía (urbana o carretera).
- Resistencia a la abrasión y desgaste: Evaluada en función de cómo los materiales mantienen su integridad y visibilidad con el tiempo.

#### **4.1.3 Planteamiento de hipótesis**

La durabilidad de las marcas viales en Colombia depende significativamente del tipo de material utilizado y de la implementación de técnicas de aplicación adecuadas, así como de factores climáticos y de tráfico. La adopción de materiales como el termoplástico y mejoras en su método de aplicación pueden incrementar la longevidad y efectividad de las señales viales.”

Esta hipótesis es una explicación tentativa del fenómeno que busca ser explorada y entendida a través de la revisión y análisis de la literatura existente sobre el tema. Aunque no será probada empíricamente de forma experimental, la investigación se centrará en analizar si las evidencias y estudios previos apoyan esta suposición, permitiendo así plantear recomendaciones basadas en la información recopilada.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 Análisis de las propiedades físicas y químicas del termoplástico y su idoneidad para la señalización vial.**

#### **5.1.1 Propiedades Físicas y Químicas del Termoplástico y su idoneidad en la señalización vial**

Las demarcaciones horizontales caracterizadas por ser aquellas que se aplican sobre el pavimento, sean líneas o símbolos viales, se presentan como un eje fundamental en la seguridad tanto para el transeúnte como para los conductores. Por ello, se utilizan diversos materiales para esta actividad, en el cual se destaca el termoplástico, ya que debido a su composición fisicoquímica permite que se adapte adecuadamente a la superficie vial, contribuyendo a la durabilidad de las marcas realizadas. Por otra parte, este material a temperaturas adecuadas facilita su moldeado y remodelado siendo esta característica ideal para las diversas exigencias para los diferentes tramos viales.

Los termoplásticos son fabricados para soportar las altas exigencias mecánicas y ambientales que requieren las vías de circulamiento, lo que permite garantizar la visibilidad de las mismas y ante diferentes condiciones climáticas o un gran flujo de tráfico tener una resistencia al desgaste que estas circunstancias pueden ocasionar. En esta sesión se abordarán las distintas propiedades fisicoquímicas de los termoplásticos realizando una comparativa frente a otros materiales convencionales utilizados para la señalización vial.

### ***5.1.1.1 Propiedades Físicas de los Termoplásticos en Señalización Vial***

#### *5.1.1.1.1 Estructura y Composición del Material*

Las características de los termoplásticos empleados para la señalización de las vías se conforman de resinas poliméricas que al ser expuestas al calor permiten ser moldeadas y solidificarse de manera reiterativa, gracias a la composición química hace que este material sea altamente flexible y resistente. Además las resinas alquídicas y los pigmentos resistentes al calor son componentes esenciales para este material (Comex, 2014).

Asimismo la adición de nanopartículas en los termoplásticos, han mejorado considerablemente las propiedades mecánicas y térmicas, conllevando a que sean más adecuados para su uso en entornos de alta exigencia (Marchante, 2012).

#### *5.1.1.1.2 Viscosidad y Fluidéz*

La viscosidad de los termoplásticos debe ser adecuada para lograr una nivelación precisa y buena adherencia sobre el pavimento. La integridad de la señal es vital para garantizar la efectividad y la durabilidad. Por lo tanto, este parámetro se mantiene y los materiales aplicados a una temperatura que oscila entre 190 ° C y 210 ° C para preservar su fluidéz y lograr una mezcla homogénea. La fluidéz es esencial para la incorporación del vidrio bruñido o microesferas de vidrio, que son elementos críticos silenciosos que mejoran la retrorreflexión de la señal (Comex, 2014).

Para la aplicación del termoplástico se utilizan varios métodos (regla, extrusión, spray) con el ajuste del espesor del material de acuerdo con las condiciones específicas de la carretera. Dependiendo del método elegido y del tipo de tráfico que soporte la señalización, este indicador puede variar de 1,5 a 3 mm (Comex, 2014).

#### *5.1.1.1.3 Durabilidad y Resistencia Mecánica*

Además, se debe prestar especial atención a la resistencia mecánica de los termoplásticos utilizados para garantizar la resistencia a largo plazo de las señales horizontales al tráfico intenso y a las inclemencias del tiempo sin degradación rápida. El termoplástico para señalización vial también debe cumplir con los requisitos de resistencia con base en las características estándar presentes en la norma UNE-EN 1436 (BOE, 2018).

Al agregar nanopigmentos y nanoarcillas, la resiliencia de los termoplásticos y la resistencia a la extensión mejoran dramáticamente. Esto es esencial para que las señales puedan mantener su geometría y ser visibles a pesar de la carga del tráfico y las variaciones de la temperatura. Dado que se forma una red intercalada en el polímero, estos aditivos mejoran aún más la resistencia mecánica (Marchante, 2012).

#### *5.1.1.1.4 Retrorreflexión y Visibilidad*

Además, los termoplásticos vial llevan microesferas que, al ser mezcladas con la base, proporcionan retrorreflexión, algo indispensable para mantener la visibilidad de las señales en todo momento. La microtextura y la distribución homogénea de las esferas aseguran que el coeficiente de luminancia no desborde los valores estipulados por la de la UNE-EN 1436 (BOE, 2018).

Las esferas de vidrio utilizadas se escogen por el tamaño de su grano grueso, garantizando una dispersión total y muy alta capacidad reflectante, conservando sus propiedades hasta en condiciones de drenaje húmedo y de lluvia. Asimismo, el desempeño de retrorreflectividad regularmente se mide y supervisa para asegurar los máximos estándares de calidad y seguridad en el caso de carreteras que poseen alta afluencia (Comex, 2014).

#### *5.1.1.1.5 Resistencia al Deslizamiento y Seguridad en la Aplicación*

La resistencia al deslizamiento es especialmente una característica de las marcas para evitar accidentes bajo la lluvia o la humedad. Por ello, los termoplásticos formulados para señalización deben tener un coeficiente de fricción tal que garantice la adherencia de los automóviles sobre las marcas sin que estas dejen de ser seguras, como lo establece UNE-EN 1436 (BOE, 2018).

#### *5.1.1.2 Propiedades Químicas de los Termoplásticos*

##### *5.1.1.2.1 Estabilidad Térmica*

Los termoplásticos empleados para las marcas viales se han desarrollado para soportar un amplio rango de temperaturas sin perder sus propiedades físicas. En climas muy cálidos, la temperatura del asfalto y de mezcla de pavimento puede superar los 60°C. Esto puede distorsionar o dañar las marcas en líneas continuas a menos que el tipo de material posea cierta estabilidad térmica. La fórmula del material termoplástico exclusivamente incorpora pigmentos y resinas térmicamente estables que evitan la degradación o variación de color (Comex, 2014).

Por ejemplo, en su investigación Marchante detalla cómo la adición de nanopartículas a la matriz de los termoplásticos no solo aumenta su resistencia mecánica, sino también mejora su estabilidad térmica; por lo tanto, en condiciones de alta temperatura, las señales pueden retener sus características (Marchante, 2012).

##### *5.1.1.2.2 Resistencia a la Radiación UV y Desgaste*

La exposición prolongada a la radiación solar puede hacer que las marcas viales se desvanezcan en un tiempo máximo; por lo tanto, los termoplásticos implican la inclusión de estabilizadores UV y pigmentos extremadamente estables a la luz. Además, las pautas SCT de

México establecen la necesidad de mantener los materiales intactos, así como el mantenimiento continuo. (Comex, 2014).

#### *5.1.1.2.3 Compatibilidad con Aditivos: Microesferas y Pigmentos*

Los materiales termoplásticos, a los cuales pertenecen los sistemas que se están configurando, deben ser compatibles con una serie de aditivos que buscan mejorar su rendimiento. Las microesferas de vidrio se introducen en este tipo de sistemas con el objetivo de incrementar la retroreflectancia, mientras que los pigmentos y los estabilizadores tienen como fin mantener la estabilidad del color y la estabilidad a los agentes climatológicos. Estos aditivos han de estar suficientemente bien integrados en la matriz del polímero, ya que se evita que ocurran problemas de adherencia y, además, se tiene la certeza de que las propiedades ópticas y mecánicas aparezcan de una manera homogeneizada (Marchante, 2012).

### **5.1.2 Características del termoplástico para aplicaciones en la demarcación vial**

#### *5.1.2.1 Procesos de Aplicación y Consideraciones Técnicas*

Los métodos de aplicación de los termoplásticos son cruciales para garantizar la calidad de las señales viales. Los documentos analizados describen diferentes métodos de aplicación de termoplásticos: extrusión, regla y spray, cada uno ajustado a diferentes tipos de pavimento y de tráfico. El método de aplicación influye en el espesor, la adherencia y la retroreflexión de las señales, lo que reafirma las decisiones que se toman para garantizar la aplicación correcta. }La limpieza de la superficie también es un aspecto crucial para la eficiencia del termoplástico. La superficie ha de estar limpia y seca, libre de contaminantes como aceites o polvo, siguiendo las recomendaciones de las normativas internacionales y de los métodos ASTM, ya que esta condición es importante para asegurar su buena adherencia. (Comex, 2014).

### ***5.1.2.2 Innovaciones en Termoplásticos y Futuras Perspectivas***

Las investigaciones más actuales, como las presentadas en la tesis de Marchante, han sido determinadas por nuevos termoplásticos, por nanopartículas y por materiales híbridos que optimizan las propiedades físicas y químicas de estos materiales, así como de las marcas; se avanza, de este modo, hacia el diseño de marcas con mayor durabilidad y rendimiento con menos coste de mantenimiento y para mayor eficacia en entornos urbanos y/o rurales (Marchante, 2012).

### **5.1.3 Compatibilidad del termoplástico en la señalización horizontal vial**

El empleo de termoplásticos en la señalización horizontal vial ha ido incrementándose previsiblemente debido a la adecuación de estos con respecto a la normativa internacional, así como por su efectividad en diversas condiciones de tráfico y del tiempo atmosférico. La durabilidad del termoplástico y las posibilidades de adecuación a diversas superficies de los pavimentos hacen de este material uno de los idóneos para satisfacer las necesidades de la visibilidad y con ello de la seguridad de los viales (Linelli, 2023).

Una de las causas más determinantes que nos llevarían a concluir que el termoplástico es la opción mejor de todas en el ámbito de la señalización horizontal sería su facultad para lograr formar una buena capa resistente y unida previa aplicación sobre el asfalto como sobre el hormigón. En efecto, el termoplástico cuando se calienta y se funde, queda bien adherido a la superficie del pavimento, produciendo de este modo una capa homogénea que resiste el paso de los vehículos y las inclemencias del tiempo, crucial en foto en carreteras con mucho tráfico (Linelli, 2023).

Por otra parte, la compatibilidad del termoplástico con la incorporación de microesferas de vidrio facilita la mejora de la propiedad de su retroreflexión. A través de la incorporación de estas microesferas, las cuales se incorporan al momento de aplicar el material, las marcas viales son visibles en situaciones de baja luminancia e incluso durante la noche, aspecto que es conforme a las normativas internacionales que requieren de un grado mínimo de reflectancia para garantizar la seguridad de los conductores (Intriago et al., 2010).

Otro aspecto que pone en manifiesto la compatibilidad del termoplástico a la señalización vial es su adaptabilidad a las temperaturas. En efecto, los termoplásticos están diseñados para poder contener variaciones extremas de bajas y altas temperaturas sin verse comprometidas sus propiedades físicas, lo que lo convierte en un material versátil para su uso en carreteras donde exista climas tanto extremos fríos como cálidos. Este aspecto también es coherente con las especificaciones técnicas de las normativas ASTM y AASHTO, las cuales definen las exigencias que deben cumplir los materiales aplicados en pavimentos viales (Intriago et al., 2010).

Finalmente, la sencillez de aplicación y el secado del termoplástico hacen que su aplicación y uso sea adecuado para proyectos de señalización de tránsito. Las normativas internacionales, como las que aparecen en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, incitan a utilizar el termoplástico, pues corresponde a los requerimientos de calidad exigidos por las normativas ya que, con su rápida aplicación, reduce las interrupciones sobre las carreteras así como también garantiza el uso eficiente del proceso de mantenimiento vial (Linelli, 2023).

## **5.2 Comparación del rendimiento del termoplástico con otros materiales utilizados en la señalización vial.**

### **5.2.1 Comparativo de Eficiencia y Durabilidad del Termoplástico y Otros Materiales en la Señalización Vial**

Los materiales que forman parte de la demarcación vial afectan la visibilidad, la eficacia y la durabilidad de las marcas viales. Se compararán tres de los materiales más representativos: el termoplástico, las pinturas acrílicas y los plásticos en frío, frente a su calidad y durabilidad según su uso en carreteras sin edificar (rurales) y edificadas (urbanas) según su uso y bajo determinadas condiciones climáticas y de tráfico.

#### **5.2.1.1 Eficiencia y Aplicabilidad del Termoplástico**

##### *5.2.1.1.1 Propiedades del Termoplástico*

Como termoplástico se designa un material termofusible formado, fundamentalmente, por resinas alquídicas y microesferas de vidrio premontadas que se aplican en caliente en un intervalo de temperaturas que va de 180°C a 220°C (Aldana, 2020). Al enfriarse el material, se produce un proceso de solidificación muy rápido que origina la aparición de una superficie que es resistente y adherente, de forma que permite que el tráfico se pueda abrir prácticamente de inmediato tras su aplicación, circunstancia muy importante en lugares donde la circulación de vehículos es muy intensa (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

Dicho material termoplástico también se caracteriza por mantener una alta retroreflexión originada por las microesferas de vidrio, que se aportan en el propio proceso de aplicación. Las microesferas están bien mezcladas, de manera que se logra una buena visibilidad nocturna, que es uno de los motivos de la seguridad vial. Además, este material termoplástico cumple las

normativas internacionales, por ejemplo, las que se recogen en las guías europeas para la señalización vial horizontal (Ministerio de Transporte, 2024).

#### *5.2.1.1.2 Ventajas de Aplicación y Mantenimiento*

En cuanto a eficacia, el termoplástico dispone de distintas ventajas. La aplicación en caliente del termoplástico permite su rápida solidificación y su adherencia al pavimento, lo que hace que se interrumpa menos el tráfico. Además, es un material con buena resistencia a la abrasión, lo que lo hace adecuado para vías de alta densidad de tráfico y climas extremos. La posibilidad de aplicar el termoplástico por medio de extrusión o de pulverización permite conseguir unos espesores de las marcas viales acordes a cada situación, garantizando su buen funcionamiento en carreteras urbanas y en vías rápidas (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

La rapidez para hacer mantenimiento de las marcas viales es otra circunstancia a tener en cuenta. A diferencia de otros materiales, cuya reparación requiere procesos de mayor duración y complejidad, el termoplástico puede repararse y retocarse rápidamente, lo cual es una ventaja en términos de eficacia de la operación y de costes (Ministerio de Transporte, 2024).

#### *5.2.1.2 Comparación con Pinturas Acrílicas*

##### *5.2.1.2.1 Propiedades y Características de las Pinturas Acrílicas*

Las pinturas acrílicas se encuentran entre los más económicos tipos de materiales de señales viales y se aplican en general en capas delgadas (0,3 - 0,4 mm), mediante atomización (Hofmann Latinamerica Inc., 2010) y están fabricadas con pigmentos, resinas y disolventes que permiten su aplicación en frío y garantizan un secado rápido. Sin embargo, estas características son también responsables de su escasa durabilidad, puesto que las pinturas acrílicas tienden a degradarse y perder sus propiedades retrorreflectantes más rápidamente como consecuencia de la exposición solar y el continuo tráfico (Aldana, 2020).

#### *5.2.1.2.2 Desventajas y Limitaciones*

A pesar de que las pinturas acrílicas son de bajo costo y fáciles de aplicar, su durabilidad es menor que la del termoplástico, ya que al tener una de baja resistencia a la abrasión y a la intemperie, requiere frecuentes tratamientos e incluso podría ser poco satisfactoria o útil para lugares de tránsito intenso o bajo condiciones climáticas extremas.

El hecho de que las microesferas de vidrio aplicadas sobre la pintura acrílica lleven a una mejora de la retrorreflexión también lleva a un rápido desprendimiento de las microesferas que hay un rápido desprendimiento de las mismas y que la efectividad en condiciones nocturnas se vea reducida, lo que se traduce inevitablemente en unas retocadas frecuentes (Aldana, 2020).

Otro aspecto negativo es que las pinturas acrílicas al ser formulaciones que contienen disolventes orgánicos liberan compuestos volátiles al medio ambiente durante el secado; lo que da cuenta de un riesgo para la salud y el medio ambiente, siendo por tanto menos sostenibles que el termoplástico (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

#### *5.2.1.3 Durabilidad y Rendimiento de los Plásticos en Frío*

##### *5.2.1.3.1 Composición y Eficiencia de los Plásticos en Frío*

Los plásticos en frío, que también son conocidos como sistemas de dos componentes, son materiales de alta duración que se utilizan normalmente para la señalización horizontal. Se presentan en forma de resinas metacrílicas que se endurecen como consecuencia de llevar a cabo una reacción química que tiene lugar tras la mezcla de dos componentes. Esta reacción es la que confiere a los plásticos en frío su alta resistencia al desgaste por roce, incluso soportando tráfico intenso y cambios climáticos muy drásticos (Ministerio de Transporte, 2024).

Las características de los plásticos en frío presentan como una de las principales ventajas su endurecimiento rápido, lo que permite su utilización en carreteras de alta circulación de

tráfico sin cortes prolongados. Además, son altamente resistentes a los productos químicos y a la radiación UV por obvio que esto parezca, alcanzando una duración de hasta cinco años, mientras que los termoplásticos solo llegan hasta los 3-4 años (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

#### *5.2.1.3.2 Limitaciones en la Aplicación*

A pesar de las ventajas reportadas, los plásticos en frío son productos que tienen también sus limitaciones. La aplicación del plástico en frío es un proceso que resulta más complicado que el del termoplástico; dosifica, mezcla y aplica los componentes plásticos en frío requiere de personal especializado (más allá del operador del vehículo) y también de equipos especializados. Por otro lado, la mayor retroreflexión inicial de los plásticos en frío, aunque en algunos casos se haya publicado muy alta, la integración de microesferas de vidrio dentro de los plásticos en frío no siempre es la más correcta como sucede con el termoplástico y ello puede reducir el rendimiento a largo plazo (Ministerio de Transporte, 2024).

También hay que tener en cuenta el costo. Los plásticos en frío son productos más costosos no solo en su material sino también en la mano de obra que requieren, ello puede aumentar el costo inicial de cualquier proyecto vial importante, aunque la inversión se recupera con su mayor durabilidad (Aldana, 2020).

#### *5.2.1.4 Análisis Comparativo de Costo-Beneficio*

##### *5.2.1.4.1 Evaluación de Costos Iniciales y de Mantenimiento*

El termoplástico se presenta como una alternativa más económica ante las pinturas acrílicas y los plásticos en frío. Si bien en primera instancia el costo del termoplástico es superior al de las pinturas acrílicas, la elevada durabilidad y la menor frecuencia del mantenimiento lo convierten en una mejor opción a la larga. Por otro lado, los plásticos en frío, aunque tienen una durabilidad mayor, han de tener inicialmente un costo bastante mayor que es debido a los

equipos así como a la fuerza de trabajo necesaria para aplicar correctamente dicho tipo de plásticos (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

#### *5.2.1.4.2 Análisis de Eficiencia en Diferentes Climas y Tipos de Carreteras*

La eficacia del termoplástico se presenta como un punto en el tiempo, pero establece como buena para cualquier tipo de clima, así como para cualquier tipo de pavimento, lo que le hace ser un producto apto para el desarrollo de entornos urbanos o para la realización de autopistas rurales. En climas cálidos húmedos y húmedos, el termoplástico constata su funcionalidad y su retrorreflexión, cumpliendo por tanto las especificaciones técnicas preparadas tanto a nivel internacional como regional, como la que establecen las reglamentaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC-4744 (Ministerio de Transporte, 2024).

Las pinturas acrílicas no funcionan igual de bien en condiciones climáticas adversas. Generalmente se caracterizan por desvanecerse rápidamente a partir de la exposición solar, así como una menor resistencia en puntos sometidos a una mayor carga de tráfico lo que limita su uso en vías de poco impacto o en su uso como soluciones temporales (Aldana, 2020); los plásticos en frío si bien son una buena solución para cualquier tipo de clima, requieren en todo caso que el control de la mezcla y las condiciones ambientales sean muy precisas, lo que puede incrementar la complejidad de su uso en función de las condiciones de trabajo en el campo (Ministerio de Transporte, 2024).

#### *5.2.1.5 Cumplimiento de Normativas Internacionales y Consideraciones Medioambientales*

##### *5.2.1.5.1 Adaptabilidad a Normativas Técnicas*

El termoplástico se encuentra de acuerdo con las normativas previas de distintas provincias y, además, se adapta también a las guías internacionales para la señalización de la vía de forma horizontal, como las normas de los países de Europa o incluso las de América Latina;

cuál es la razón por la que estas normativas exigen, precisamente, que hay que alcanzar altos niveles de retroreflexión y resistencia al desgaste, requisitos que el termoplástico puede cumplir de manera eficiente (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

En el otro lado están las pinturas acrílicas que sí cumplen las normas básicas pero no ofrecen los niveles de durabilidad ni de retroreflexión imprescindibles y que pueden influir en su conformidad a largo plazo. Los plásticos en frío si la aplicación se realiza correctamente pueden cumplir e incluso superar muchas de las normas respecto a seguridad y visibilidad en carreteras, por lo que las podemos considerar una alternativa de alta eficiencia pero también de un alto costo (Aldana, 2020).

#### *5.2.1.5.2 Consideraciones Medioambientales*

El termoplástico se manifiesta como una alternativa más compatible con la naturaleza que la pintura acrílica, ya que no contiene disolventes, por lo que no emite compuestos orgánicos volátiles durante su aplicación y se convierte en una alternativa sostenible para obras de señalización vial extensas (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

## **5.2.2 Rendimiento del termoplástico y otros materiales en la demarcación horizontal vial**

### *5.2.2.1 Rendimiento del Termoplástico en Zonas de Alta Exigencia*

El termoplástico ofrece un rendimiento excelente en carreteras ultracargadas y muy frecuentadas, tales como las autopistas y las grandes avenidas urbanas. Gracias a su modo de aplicación caliente, este se adhiere a la perfección al pavimento, formando una capa de importante espesor y resistencia que aguanta millones de pasos de rueda antes que su rendimiento merme (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

En situaciones en las cuales las carreteras están expuestas a temperaturas extremas y a la radiación solar continua, el termoplástico no se deforma y mantiene su forma, hecho que se ve reforzado con la inclusión de polímeros estabilizadores UV que son añadidos en la formulación concreta para ello (Ministerio de Transporte, 2024).

Incluso las pruebas de rendimiento en condiciones húmedas nos indican que el termoplástico tiene la capacidad de mantener la retrorreflexión gracias a una adecuada y uniforme integración de microesferas de vidrio que son capaces de emerger de la capa superficial a medida que va siendo desgastada, una progresión continua que permite que conserve visibilidad incluso un largo tiempo después de su colocación (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

#### ***5.2.2.2 Rendimiento de las Pinturas Acrílicas en Vías Urbanas y Entornos de Baja Exigencia***

Las pinturas acrílicas son, a pesar de ser menos efectivas que el termoplástico, una opción viable para entornos urbanos de características bajas y de poco tráfico, así como con características meteorológicas no tan exigentes, ya que tienen la condición de secarse rápidamente y permitir una aplicación rápida en calles urbanas de intervención rápida sin necesidad de cerrar vías durante periodos de tiempo prolongados (Aldana, 2020).

Por otro lado, en condiciones climáticas, como cambios bruscos de temperatura o alta humedad, estas pinturas acrílicas muestran una tendencia a perder efectividad, desvaneciéndose y despegándose más rápidamente, lo que puede ser explicado por la escasa profundidad de la adhesión que tienen y la poca eficacia que muestran las microesferas de vidrio para estar en la superficie durante tiempos prolongados (Ministerio de Transporte, 2024).

### **5.2.2.3 Rendimiento de los Plásticos en Frío en Condiciones Extremas**

Los plásticos en frío son materiales de alto rendimiento que están diseñados para soportar situaciones exigentes, como por ejemplo el pavimento en zonas industriales o portuarias con un tráfico elevado o los productos químicos a los que están constantemente expuestos. La aplicación de este tipo de plásticos se fundamenta en un proceso de mezcla y reaccionar químicamente que garantiza una alta resistencia al impacto y a los agentes abrasivos, en comparación con otros materiales. Por otra parte, los plásticos en frío poseen una buena resistencia a productos derivados del petróleo y a solventes, los cuales son comunes en carreteras que tienen tránsito de vehículos pesados (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

En cuanto al rendimiento de retractarreflexión, el mismo es variable ya que si se pueden añadir microesferas de vidrio para mejorar el tráfico nocturno, la adhesión de las mismas, es mucho menos efectiva que la del termoplástico. Por este motivo, el rendimiento sobre visibilidad es inferior en zonas donde se detecta una gran intensificación del tráfico de vehículos (Ministerio de Transporte, 2024).

### **5.2.2.4 Comparación de Rendimiento en Climas Húmedos y Tropicales**

En climas tropicales o en condiciones de alta humedad, el termoplástico muestra un mejor comportamiento que la pintura acrílica o los plásticos en frío. La capacidad del termoplástico para absorber la humedad y rechazarla, y la solidificación rápida que se presenta una vez aplicados, lo convierten en el material ideal para las carreteras de climas tropicales que experimentan grandes precipitaciones (Hofmann Latinamerica Inc., 2010).

Por su parte, la pintura acrílica no alcanza un buen rendimiento, dado que la humedad puede interferir con el proceso de secado, provocando la aparición de levantamientos, que además acortan su vida útil. Ciertamente, los plásticos en frío podrían ser utilizados en presencia

de la humedad, pero necesitan de una aplicación y mezcla específicas bajo condiciones controladas, cuando el material neutro no se presenta aún afectado durante el proceso (Aldana, 2020).

#### ***5.2.2.5 Efecto del Tráfico Pesado en el Rendimiento de los Materiales***

El continuo y pesado tránsito vehicular influye muy variadamente sobre los distintos materiales. En el caso de los materiales termoplásticos, estos mantienen su estructura y su integridad mayor tiempo, gracias a la mayor viscosidad y espesor dada su propia naturaleza, ante el paso obstinado de camiones y autobuses, y esto tiene una importancia significativa en autopistas y vías primordiales, en las cuales la durabilidad y la permanencia de la señalización horizontal son de suma importancia (Ministerio de Transporte, 2024).

Por otro lado, el rendimiento de dichas pinturas acrílicas es de un grado superior muy inferior; por este motivo, su desgaste es más acusando, además de perder sus propiedades retrorreflectivas en pocas semanas (Hofmann Latinamerica Inc., 2010). Otros plásticos en frío poseen una resistencia igual o incluso mayor al termoplástico, pero al ser más caros y complejos, solo se utilizan donde haya una razón de peso que justifique su uso (Aldana, 2020).

### **5.3 Examinación de la resistencia a la intemperie y a la abrasión del termoplástico en condiciones reales de tráfico.**

#### **5.3.1 Evaluación de la Resistencia a las Variaciones Climáticas**

El termoplástico empleado en la señalización vial presenta una formulación para resistir temperaturas elevadas y una exposición prolongada y continua a la radiación ultravioleta (UV). En estudios en la práctica realizados en autopistas o calles urbanas sometidas a duras radiaciones

solares, se ha confirmado que el termoplástico conserva la forma original, sin decoloraciones ni roturas importantes y en amplios periodos de tiempo. Esta estabilidad se consigue gracias a los estabilizadores UV que protegen las cadenas poliméricas, alargando la reacción de los rayos solares, es decir, limitando el efecto degradador.

Por otro lado, los test en condiciones de baja temperatura, es decir, en zonas de montaña o en las distintas estaciones frías, muestran que el termoplástico conserva su elasticidad o flexibilidad, la cual es necesaria para evitar que los materiales puedan fracturarse como consecuencia de la contracción térmica. La flexibilidad de los materiales actuales permite que las señales pueden adaptarse a variaciones bruscas de temperatura sin ruptura ni deterioro alguna.

### **5.3.2 Comportamiento Frente a la Humedad y la Acción del Agua**

En vías expuestas a lluvias abundantes y alta humedad, el termoplástico se ha mostrado como un material de gran fiabilidad dada su resistencia a la entrada de agua, ya que se formula con diferentes componentes que repelen la humedad, algo que evita que el agua entre en la mezcla o que afecte a las microesferas de vidrio de la mezcla.

Las propiedades reflexivas del termoplástico se mantendrán activas incluso en carreteras mojadas o por la noche, lo cual es un ejemplo de gran importancia para la seguridad de los conductores.

En las distintas pruebas que simulan la erosión causada por el agua y el paso de las ruedas sobre el pavimento mojado, el termoplástico muestra una menor tasa de reducción en su grosor que otros productos como las pinturas acrílicas, que se desprenden rápidamente o sufren una reducción en su visibilidad bajo las circunstancias descritas..

### **5.3.3 Análisis del Desgaste por Abrasión en Carreteras de Alto Tráfico**

La resistencia a la abrasión asciende a una característica importante analizada en los tramos de carretera en condiciones reales de tráfico. En las carreteras con un elevado paso de vehículos de gran importancia (camiones, autobuses...) la presión idónea sobre los tramos de las marcas viales es elevada. El termoplástico, por ser denso y compacto, es capaz de soportar el tráfico sin sufrir desgastes prematuros. Incluso se ha demostrado que, en autopistas con tráfico pesado el termoplástico presenta propiedades retrorreflectivas hasta los cinco años sin necesidad de un mantenimiento.

Este recto resultado se produce por la propiedad del termoplástico de ir exponiendo progresivamente nuevas capas de microesferas de vidrio; capa que aparece a medida que avanza el desgaste de la capa superior. Las señales viales permanecen visibles y válidas durante las 24 horas del día, independientemente de que se trate de tramos de la carretera o no.

### **5.3.4 Ensayos de Durabilidad y Comportamiento a Largo Plazo**

Las pruebas de durabilidad a largo plazo en condiciones reales nos han permitido comprobar cómo se comporta el termoplástico aplicado sobre los diferentes tipos de pavimento (asfalto y hormigón) y en diferentes condiciones climáticas. Muchas pruebas de durabilidad en el tiempo han consistido en simulaciones de ciclos de calor-frío y humedades-sequedades que reproduzcan las condiciones más estrictas a las que se podría enfrentar un tipo de carretera. Los ensayos de durabilidad a largo plazo reflejan muy bien cómo el termoplástico no solo resiste en su adherencia al pavimento, sino que también su tono y su capacidad reflectante incluso en los ciclos de desgaste muy repetitivos. En las carreteras costeras o en las que hay zonas con un alto componente salino, el termoplástico ha demostrado, además, una notable resistencia contra la corrosión y el impacto de la desequilibrante acción del ambiente marino que, a su vez, resulta

determinante en aquellas zonas donde la exposición a las sales y a la humedad del aire son elevadas. En consecuencia, los resultados obtenidos apuntan a la idoneidad del termoplástico como una solución aceptada y duradera en situaciones vulnerables a la corrosión a través del tiempo.

### **5.3.5 Impacto del Espesor y Técnicas de Aplicación en su Resistencia**

Un punto fundamental que determina el rendimiento del termoplástico está cohesionado con el espesor en que se aplique el termoplástico a las superficies de la vía. Las normas internacionales determinan espesores específicos (normalmente entre 2 y 4 mm) para obtener la máxima resistencia del material. Según ensayos de campo, cuando se aplica el termoplástico con los espesores indicados, se logra no sólo una mayor durabilidad, sino también un menor desgaste por abrasión que en consecuencia permite que las señales viales permanezcan en buenas condiciones durante más tiempo.

Los métodos de aplicación como la extrusión o el esparcido con reglas especializadas, también determinan la calidad del termoplástico a aplicar. Dichos métodos permiten distribuir el material de modo que las microesferas de vidrio se incorporen correctamente en la superficie y regulen el índice de reflectancia. La verificación de varias carreteras ha demostrado que estos métodos permiten al termoplástico ofrecer los mejores resultados de adherencia y un rendimiento sostenido independientemente del tipo de pavimento.

## **5.4 Recomendaciones para la implementación efectiva del termoplástico en la señalización vial**

### **5.4.1 Selección del Termoplástico Adecuado**

La elección satisfactoria de un termoplástico es una de las claves para asegurar la durabilidad y la eficiencia de la señalización. Hay que elegir termoplásticos que sean

formulaciones adecuadas para condiciones climatológicas y de tráfico extremas (altas temperaturas en climas cálidos o el desgaste continuo del tráfico intenso en las autopistas). Los materiales deben considerar componentes como las resinas alquídicas (que otorgan flexibilidad y adherencia al pavimento, etc.). Los pigmentos resistentes al calor son, además, importantes, ya que deben asegurar que la coloración y la visibilidad no cambien con el tiempo (no descomponiéndose por la acción de los rayos del sol o por zonas con amplitud térmica). Las microesferas de vidrio son otro componente que se debe considerar, estas se tienen que elegir en función de su granulometría para asegurar la distribución óptima en la mezcla y asegurar, por tanto, unos niveles elevados de retrorreflexión, un aspecto importante para asegurar la visibilidad nocturna. Realizar ensayos de laboratorio previamente para saber la resistencia y las propiedades reflectantes del termoplástico es una buena práctica para garantizar resultados satisfactorios antes de pasarlos a la fase de ejecución en el campo.

#### **5.4.2 Preparación de la Superficie**

La preparación de la superficie de la cual se aplicará el término plástico es un proceso fundamental para conseguir la adherencia y la durabilidad de la señalización. El pavimento se debe encontrar completamente limpio, y libre de polvo, residuos orgánicos, aceites, o cualquier contaminante que interfiera en la aplicación del material. Para conseguirlo se pueden usar diferentes formas de limpieza: barrido mecánico, chorro de agua a presión o incluso el uso de disolventes específicos en el caso de manchas de aceites. Para conseguir una buena adherencia del término plástico es necesario también que la superficie esté completamente seca antes de la aplicación. Para asegurar que se tienen en cuenta las mejores prácticas y procedimientos para la

limpieza y preparación del pavimento se hace necesario seguir estrictamente las normativas internacionales, como son las que establecen las ASTM.

Además, en zonas de alta humedad o climas lluviosos, se recomienda esperar a períodos secos o en el caso de ser posible y necesario aplicar tratamientos de forma previa a la aplicación que ayuden a disminuir la absorción de humedad en la superficie, a fin de asegurar una buena adherencia del término plástico.

#### **5.4.3 Control de la Temperatura de Aplicación**

El termoplástico debe aplicarse dentro de un rango de temperaturas óptimas para su fluencia y correcta adhesión, que normalmente va de los 180°C a los 220°C. Este rango de temperatura es fundamental, a fin de que el material alcance la viscosidad adecuada para aplanarse correctamente y penetrar en las irregularidades del pavimento, esto proporciona mejor fijación. Si el termoplástico se aplicara a temperaturas inferiores, el material no se extendería de forma adecuada, provocando capas irregulares, de poco espesor, y de menor resistencia a la abrasión. Las temperaturas superiores a las recomendadas perjudican la estabilidad química del termoplástico, provocando que se degrade o incluso que pierda sus propiedades reflectantes, debido al sobrecalentamiento de los pigmentos y aditivos. También es necesario que los equipos de calentamiento y aplicación del termoplástico dispongan de sistemas de control y monitorización de temperatura, a fin de asegurar que los termoplásticos se mantendrán en el rango de la temperatura durante toda la aplicación, de forma que se eviten defectos y se optimice la eficiencia de la señalización.

#### **5.4.4 Método de Aplicación y Espesor**

El modo de aplicación del termoplástico afectará la calidad y la durabilidad de la señalización vial. Para tener éxito en esta fase del proceso es necesario elegir las técnicas más apropiadas, que pueden ser la extrusión, las reglas especiales o la aplicación con pulverización en caliente, según las particularidades del pavimento y el tránsito de la zona. La utilización de ciertos modos u otros para la aplicación del termoplástico permitirá obtener ciertas ventajas y facilidades. Así, por ejemplo la extrusión permite dar el material por el cual la señalización se debe ejecutar de forma controlada y uniforme asegurando que el termoplástico yace correctamente, y que hace la señal horizontal adquiriendo el espesor propuesto, el cual en general, variará entre 2 y 4 mm. El espesor es importante al permitir conseguir una capa del material lo suficientemente gruesa como para resistir el desgaste y la abrasión que produce un gran tránsito de vehículos. En las obras de señalización en autopistas o vías principales donde el uso es constante e intenso se deben asegurar que el espesor del termoplástico se utilice bajo especificaciones técnicas que consigan maximizar el rendimiento. El espesor de ejecución del termoplástico es importante de asegurar y las microesferas de vidrio se deben incorporar del modo correcto durante la ejecución a fin de mantener la retroreflexión en el tiempo. Para conseguir una distribución homogénea y correctamente ejecutada será indispensable utilizar el equipamiento de aplicación correcta así como también personal cualificado con el fin de asegurar la distribución óptima del termoplástico ejecutado. En conclusión, serán métodos de aplicación necesarios para obtener un sistema que cumpla con los estándares de calidad internacionales.

#### **5.4.5 Monitoreo de la Retrorreflexión y Mantenimiento Regular**

La retrorreflexión es una propiedad fundamental para la visibilidad de la señalización vial, fundamentalmente durante la noche o en condiciones de baja visibilidad de la superficie. Por ello es de relevancia el monitorizar, con la utilización de aparatos de medición específicos, el coeficiente de luminancia y el de retrorreflexión del termoplástico en la señalización, dado que favorece la detección de cualquier disminución en la visibilidad de las marcas materia de señalización, y la programación de mantenimientos preventivos o correctivos antes de que la efectividad de la señalización se vea comprometida. Sugerimos, en ese sentido, implementar un plan de mantenimiento periódico que contemple la realización de inspecciones visuales a intervalos definidos y de pruebas de laboratorio sistemáticas, en las que se verifique la adherencia del material, así como el estado de las microesferas de vidrio. Si la comprobación de esas muestras de laboratorio detecta alguna posibilidad de que se estén produciendo problemas de desgaste o de pérdida de retrorreflexión, la propuesta es reincorporar nuevamente el termoplástico en las zonas de desgastes garantizando con ello, en cualquier caso, las propiedades reflectantes originales. Este enfoque de mantenimiento de las marcas viales no solo garantiza la seguridad de los conductores, sino que maximiza la vida útil de las marcas viales, y por tanto los costos operativos a largo plazo.

#### **5.4.6 Adaptación a Normativas y Condiciones Climáticas**

El termoplástico ha de ser conforme a la normativa técnica internacional que regula la calidad de la señalización viaria, como la UNE-EN 1436, en Europa, o la ASTM o la AASHTO, en Estados Unidos. Las normativas específicas regulan niveles mínimos de retrorreflexión, durabilidad o resistencia a factores climáticos, como la radiación UV y las variaciones de

temperatura. Es fundamental que el termoplástico que se utilice esté formulado para aguantar las condiciones climáticas específicas del lugar donde se va a aplicar. Por ejemplo, en climas cálidos, se estima conveniente añadir estabilizadores UV que eviten la decoloración o la degradación del material. En climas fríos, se debe tener la certeza de que el termoplástico mantenga su flexibilidad y adherencia incluso a temperaturas bajo cero, evitando así fracturas o desprendimientos. Simular y realizar pruebas en condiciones controladas que imiten los climas extremos ayuda a asegurar que el termoplástico se comportará de manera efectiva en el mundo real.

#### **5.4.7 Uso de Aditivos Compatibles**

La eficacia del termoplástico en la señalización de carreteras se fundamenta considerablemente en la utilización de aditivos como microesferas de vidrio y pigmentos estabilizadores. Las microesferas son imprescindibles para el funcionamiento de la retroreflexión, ya que devuelven la luz reflejada por los faros de los vehículos, lo que mejora la visibilidad durante la noche. Es importante señalar que la selección de microesferas se fundamenta en su tamaño y calidad, y que se incorporan de manera homogénea en la matriz del polímero para asegurar que queden bien incorporadas, dispersadas y no tiendan a sedimentarse en el termoplástico. Además, el empleo de pigmentos que sean resistentes a la decoloración y estabilizadores que protegen el material frente a los efectos de los (rayos) UV y de las inclemencias del tiempo son fundamentales para garantizar una larga vida útil del material. La adecuada compatibilidad y dispersión de dichos aditivos asegura que las propiedades ópticas y mecánicas del termoplástico se moldean de manera homogénea, de modo que se garantice que el material sea capaz de mantener un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo.

## 6 CONCLUSIONES

Los termoplásticos utilizados como marcas viales brindan la combinación óptima de propiedades físicas y químicas que les va a permitir ser utilizados en duras condiciones de paso. El polímero termoplástico tiene una estructura que lo hace fundible y moldeable en varias superficies, por lo que se adapta a distintos climas. Por ejemplo, la incorporación de microesferas de vidrio y estabilizadores para temperaturas y rayos UV garantiza la elevada retroreflexión y durable de las marcas viales y son aceptables para su uso en rutas con un tránsito elevado las 24 horas del día. Por otra parte, su uso está en línea con diferentes normas internacionales y posee una fácil operatividad. En consecuencia, los tiempos marcas viales de termoplástico tienen un uso eficaz y eficiente en la señalización horizontal.

Así, el análisis de las propiedades físicas y químicas de los termoplásticos muestra que cumplen los requisitos establecidos por las normativas internacionales para la señalización vial y, de hecho, los superan. Esto se debe a la habilidad de los termoplásticos para soportar condiciones extremas de temperatura, condiciones de radiación solar y condiciones de desgaste mecánico debido al tráfico. Además, la formulación innovadora, por ejemplo, con nanopartículas, les brinda aún más características y, por lo tanto, una mayor rigidez, resistencia y estabilidad a largo plazo. En general, esto significa que el termoplástico seguirá siendo una prioridad y una opción necesaria para la gestión moderna de carreteras y mantenimiento. A parte, esto se refiere tanto al nivel de condiciones de tráfico y clima.

Como resultado del análisis comparativo, se podría ver que, en general, el termoplástico rinde mejor que el resto de las opciones de materiales de señalización vial, acrílicas y frías. Aunque hay señales más económicas y duraderas disponibles, el termoplástico a menudo sigue

siendo la solución más deseable y ventajosa para la mayoría de los escenarios viales. Esto es así porque el material se suministra a través de una línea de soplado que lo aplica en caliente y lo pega a la superficie solo minutos después de que el pegamento se seque. Como resultado, la señal se puede aplicar en áreas de intenso tráfico sin interrupciones ni cierres de tráfico prolongados. En segundo lugar, el termoplástico es muy resistente al desgaste, lo que resulta ventajoso para un entorno urbano polvoriento y caótico. El material puede resistir la fricción de los neumáticos hasta cierto punto y siempre conserva su retrorreflexión a niveles aceptables.

En términos generales, la comparación de los materiales para la señalización vial refleja que si bien el termoplástico tiene costos relativamente altos, también está en equilibrio justo en sostenibilidad, adecuación y eficiencia en comparación con las pinturas acrílicas y plásticos en frío, presentando las pinturas acrílicas la más deficiente durabilidad y resistencia climática y los plásticos en frío presentando mucha capacidad pero exigiendo procesos complejos y costosos a la hora de aplicarlos. En contraposición, en el caso del termoplástico, la respuesta es buena para una variedad de climas y tipos de carreteras, obteniendo al mismo tiempo una cantidad de cumplimiento de regulaciones internacionales y mostrando una actitud respetuosa con el medio ambiente, teniendo tiempo de uso en proyectos modernos de señalización vial.

Por otra parte, los estudios sobre la resistencia del material en condiciones reales de tráfico y variaciones climáticas confirman que el termoplástico es una forma altamente efectiva de señalización horizontal vial. La formulación avanzada del material, que incorpora estabilizadores UV y componentes repelentes al agua, asegura la integridad estructural y las propiedades reflectantes del termoplástico a lo largo del tiempo, incluso cuando se exponen a la alta humedad, la radiación UV intensa y las temperaturas diferentes. La capacidad del material para resistir el daño por desgaste mecánico del tráfico intenso y constante y el desgaste por

abrasión de la carretera lo colocan como una opción de bajo mantenimiento que dura años. Con información suficiente sobre la calidad y la confiabilidad de los termoplásticos, puede concluirse que es un material confiable y eficiente para carreteras urbanas y autopistas de alta densidad vehicular.

Por lo tanto, la implementación del termoplástico en la señalización vial se puede llevar a cabo con éxito, siempre que se diseñen cuidadosamente todos los procesos, desde la selección de las materias hasta la supervisión de la ejecución. Los componentes químicos adecuadas como la resina alquídica y las microesferas de vidrio y la utilización de la señalización para el clima proporcionarán tanto una buena durabilidad para las señales como una buena visibilidad para los conductores. Preparar adecuadamente el pavimento y controlar la temperatura en la que se aplica el esparcido son esenciales para una buena adhesión y fortaleza del termoplástico final. Finalmente, un mantenimiento continuo basado en mediciones precisas de retroreflectividad es vital para la longevidad y la efectividad del servicio de señalización, lo que es crucial para la seguridad vial y la conducción óptima.

Con el fin de ofrecer una señalización vial que aporte la durabilidad y visibilidad deseadas, el uso de termoplástico debe adaptarse a unas normativas técnicas y/o procedimientos diferenciados con el objetivo de optimizar el comportamiento de este material en función de los climas y/o tipos de tráfico existentes. La correcta preparación de las superficies, la elección del grosor de termoplástico adecuado y la utilización de una técnica controlada de aplicación, son aspectos que garantizan la señalización de calidad y resistente. La correcta integración de los aditivos compatibles y el seguimiento del plan de retrorreflexión, que garantice el mantenimiento de las propiedades ópticas y mecánicas del termoplástico, contribuirán a la seguridad vial así como al ahorro de costes operacionales a medio/largo plazo.

## Referencias

- Aldana, R. (2020). *Aulas carreteras*. Obtenido de <https://www.aulacarreteras.com/materiales-ejecucion-marcas-viales/>
- Asociación Española de la Carretera (AEC). (2020). *Asociación Española de la Carretera (AEC)*. Obtenido de <https://socios.aecarretera.com/espacio/wp-content/uploads/2020/02/GU%C3%8DA-SE%C3%91ALIZACI%C3%93N-HORIZONTAL-PARA-LAS-CARRETERAS-LOCALES-.pdf>
- Blandón, A., & Rentería, J. (2021). *Repositorio Unilibre*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/23569/MD0312.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- BOE. (2018). *BOE*. Obtenido de [http://www.carreteros.org/normativa/pg3/documentos/ordenes\\_ministeriales/fom2523\\_2014/700ce\\_fom2523\\_2014.pdf](http://www.carreteros.org/normativa/pg3/documentos/ordenes_ministeriales/fom2523_2014/700ce_fom2523_2014.pdf)
- Camacho, F., García, A., & Padovani, P. (2017). Mejoras en el diseño de marcas viales para aumentar la eficiencia de los vehículos automatizados. *RUTAS 173*, 5 - 12.
- Comex. (2014). *Comex*. Obtenido de <https://comexmonterrey.com.mx/wp-content/uploads/2016/05/COMEX-PINTURA-TERMOPLASTICA-P-SENALAMIENTO.pdf>
- Congreso de Colombia. (2022). *Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=125520>

Coves, A. (2019). Análisis de la Durabilidad de la Señalización Vial Horizontal Atendiendo a su Composición y Posicionamiento en la Calzada de Carreteras Secundarias en Climas Semiáridos Cálidos. *Universidad de Alicante - Tesis Doctoral*, 6.

DAC. (2024). DAC. Obtenido de <https://dacdocencia.com/blog/fp-movilidad-segura-y-sostenible-online-horizontal/>

Diazgranados, A. (2019). *Repositorio Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/fdf25d81-265d-494c-85f7-acd66a3dc02e/content>

El Tiempo. (2019). *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/lo-que-debe-saber-de-senalizacion-vial-en-colombia-396682>

Escobar, & Martinez. (2022). *PTE*. Obtenido de <https://www.eymproductostecnicos.com/problemas-viales-mas-comunes>

García, J. (2023). *Secilla Confidencial*. Obtenido de <https://sevillconfidencial.com/noticias-sevilla/el-problema-de-la-escasa-visibilidad-de-las-marcas-viales-en-las-carreteras-y-calles-de-sevilla/>

Hofmann Latinamerica Inc. (2010). *Hofmannla*. Obtenido de <https://www.hofmannla.com/wp-content/uploads/2021/01/BARCELONA-Materiales-de-Senalizacion-horizontal-y-resistencia-al-Deslizamiento.pdf>

Intriago, C., Miranda, H., & Sanchez, L. (2010). *Repositorio Dspace*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10661/2/D-90551.pdf>

Linelli, F. (2023). *Repositorio Universidad San Carlos de Guatemala*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18740/1/Faridi%20Linelli%20Gongora....pdf>

Linelli, F. (2023). *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18740/1/Faridi%20Linelli%20Gongora....pdf>

Marchante, V. (2012). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPIGMENTOS BASADOS EN NANOARCILLAS. APLICACIÓN EN POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS Y EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y COLORIMÉTRICAS. *Universidad de Alicante*, 1 - 323.

Mechura, V., Delbono, H., Martinez, F., & Martinuzzi, R. (2019). Abrasión sobre pinturas de demarcación vial para la evaluación de su performance. *Revista SAM*, 45 - 51.

Ministerio de Transporte. (2024). Capítulo 3. En M. d. Transporte, *Señalización Horizontal* (págs. 107 - 140). Bogotá: Ministerio de Transporte.

Ministerio del Interior. (2022). *Ministerio del Interior*. Obtenido de [https://www.interior.gob.es/opencms/pdf/servicios-al-ciudadano/participacion-ciudadana/Participacion-publica-en-proyectos-normativos/Audiencia-e-informacion-publica/16\\_2022\\_Borrador\\_Catalogo\\_Marcas\\_Viales.pdf](https://www.interior.gob.es/opencms/pdf/servicios-al-ciudadano/participacion-ciudadana/Participacion-publica-en-proyectos-normativos/Audiencia-e-informacion-publica/16_2022_Borrador_Catalogo_Marcas_Viales.pdf)

Mintransporte. (2015). *Alcaldía Mayor de Bogotá* . Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=87566>

Mintransporte. (2015). *Mintransporte*. Obtenido de Las marcas viales horizontales son elementos fundamentales en la infraestructura vial, ya que proporcionan a los conductores guías

visuales que facilitan la conducción y mejoran la seguridad en la carretera. Estas marcas, que incluyen líneas continuas y d

Pala, G. (2022). *Dspace*. Obtenido de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/18634/1/112T0363.pdf>

Presidente de Colombia. (2021). *Presidente de Colombia*. Obtenido de [https://www.suin-](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30042361)

[juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30042361](https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30042361)

Rodríguez, R. (2021). *El Confidencial*. Obtenido de

[https://www.elconfidencial.com/motor/2021-01-06/estudio-conductores-problemas-vision-senales-trafico-nitidez\\_2895296/](https://www.elconfidencial.com/motor/2021-01-06/estudio-conductores-problemas-vision-senales-trafico-nitidez_2895296/)

Rojas, E. (2022). *Repositorio UPLA*. Obtenido de

[https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/5785/T037\\_08096508\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/5785/T037_08096508_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ronderos, L. (2021). *Repositorio UAN*. Obtenido de

<https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/4a6cd285-21fb-41e5-8dc0-671b9f6059fd/content>

Sterling, S. (2024). *Repositorio Universidad Piloto de Colombia*. Obtenido de

<https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/13790/PROYECTO%20ODE%20GRADO%20PINTURA%20LUMINISCENTE..pdf?sequence=1&isAllowed=y>