

TRABAJO DE GRADO

Evaluación de la sostenibilidad en la construcción de infraestructura vial en el municipio de Neiva

Por

Ginna Lizeth Narváez Veloza

Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil

Asesoras

PhD. Gloria Isabel Carvajal Peláez

PhD. Alejandra Balaguera Quintero



Universidad de Medellín

Facultad de Ingenierías

Maestría en Ingeniería Civil

2023

Resumen

Uno de los sectores que más explota los recursos naturales y a su vez, genera la mayor cantidad de residuos es la construcción y en particular, la construcción de infraestructura vial, que además de ser fundamental para comunicar poblaciones, comercializar productos y mejorar la calidad de vida de los habitantes, impacta directa e indirectamente el medio ambiente debido a la emisión de gases de efecto invernadero, el uso indiscriminado de materiales naturales de único uso y la disposición inadecuada de residuos de demolición y construcción.

El propósito de esta investigación es presentar los resultados de la implementación de una propuesta de indicadores de sostenibilidad ambiental, social y económica, en un proyecto de infraestructura vial ubicado en el municipio de Neiva; para ello se llevaron a cabo tres etapas: a) caracterización de las vías construidas y rehabilitadas en el municipio en el periodo comprendido entre los años 2016 y 2020, b) evaluación y análisis de indicadores de sostenibilidad para infraestructura vial, agrupados en cuatro ejes temáticos: selección del sitio, materiales y recursos, proceso constructivo y operación y mantenimiento, c) implementación de los indicadores propuestos en el caso de estudio: carrera 7ª entre Avenida Circunvalar y Avenida La Toma en la ciudad de Neiva.

Esta propuesta de indicadores permite integrar las tres dimensiones de la sostenibilidad con los procesos inherentes a la construcción de infraestructura vial, contribuir a la mejora de procesos, materiales y tecnologías que minimicen el impacto negativo sobre el medio ambiente.

Palabras clave – Infraestructura vial, pavimentos, indicadores de sostenibilidad.

Tabla de contenido

Resumen.....		2
1	Introducción	5
	1.1 Planteamiento del Problema	6
	1.2 Justificación.....	9
	1.3 Hipótesis.....	11
	1.4 Objetivos	11
2	Estado del Arte y Marco Teórico	12
	2.1 Infraestructura Vial.....	12
	2.2 Pavimentos.....	34
	2.3 Sostenibilidad en Infraestructura Vial.....	68
3	Identificación y Caracterización de la Infraestructura Vial en el Municipio de Neiva	
	85	
	3.1 Identificación de la Infraestructura Vial	85
	3.2 Caracterización de la Infraestructura Vial	89
4	Ejes Temáticos, Variables e Indicadores de Sostenibilidad Aplicables a la	
	Infraestructura Vial.....	116
	4.1 Indicadores de Infraestructura Vial Existentes	116
	4.2 Propuesta de Indicadores en Infraestructura Vial	132
5	Implementación y Validación de Indicadores: Estudio de Caso	162
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	192
	6.1 Conclusiones	192
	6.2 Recomendaciones	194

7	Acrónimos y siglas.....	196
8	Bibliografía	199

1 Introducción

El incremento acelerado de la población del planeta ha generado un aumento en el consumo de los recursos naturales que, a su vez, ha incrementado el deterioro del medio ambiente, debido al uso indiscriminado de materiales naturales de único uso y a la contaminación, generada en gran parte por los residuos de construcción y demolición.

La construcción de infraestructura vial, genera un gran daño, directa e indirectamente, debido a la emisión de gases y la disposición inadecuada de residuos, (Saberian et al., 2019) por tanto, surge la necesidad, de implementar alternativas, que sean viables y sostenibles. De acuerdo con (Saberian et al., 2019), anualmente en EEUU y Australia se están desechando aproximadamente entre 4 y 0,5 millones de toneladas de neumáticos respectivamente; los cuales pueden ser reutilizados por ejemplo en la construcción de pavimentos, rellenos y terraplenes.

Diferentes países como India (Chandra & Behl, 2019) y Estados Unidos (Saberian et al., 2019), han evaluado por medio de investigaciones, diferentes formas de adoptar medidas que permitan regular de manera sostenible el uso de recursos naturales en el sector constructivo.

Debido al gran impacto que causa el subsector de la construcción de vías, se busca implementar un sistema que permita aprovechar los recursos de manera eficiente, utilizando materiales y adoptando procedimientos y procesos que mitiguen el impacto causado al medio ambiente (Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015), en materia de contaminación del suelo, aire, recurso hídrico, paisajismo y ambiente social y económico (Perdomo, 2014).

Actualmente en nuestro país, existen sistemas de certificación, enfocados en medir y valorar la sostenibilidad en la construcción de viviendas; sin embargo, a la fecha, no existen indicadores de sostenibilidad asociados al proceso de diseño, construcción y operación de infraestructura vial. Por ello, se ve la necesidad de buscar una manera en la que, desde la

planeación, diseño constructivo y puesta en marcha de este tipo de construcciones, se minimice el impacto al medio ambiente, buscando formas de utilizar materiales, que eviten el deterioro y la explotación desmedida de productos finitos y reduciendo la generación de desechos contaminantes, al suelo, aire y a los recursos hídricos.

En la presente investigación se propone la implementación de 26 indicadores que midan la sostenibilidad social, ambiental y económica de un proyecto de infraestructura vial; considerando aspectos como las características del área a construir en términos de amenaza y riesgo, protección o restricción, accesibilidad; tipos de materiales y recursos a emplear y disponer, proceso constructivo y actividades de operación y mantenimiento.

1.1 Planteamiento del Problema

El desarrollo económico de toda región está estrechamente relacionado con la integración comercial y la infraestructura, por lo cual, es de suma importancia contar con un sistema de transporte eficiente y en buen estado. En Colombia, el enfoque del desarrollo de la infraestructura de transporte se ha centrado en el avance físico de las obras, sin contar con un análisis integral en aspectos de carácter técnico, ambiental, social, económico y financiero durante la vida útil de los proyectos (Instituto Nacional de Vías, 2020). Así mismo, el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) en su Política de Sostenibilidad para la Infraestructura del Transporte, menciona que las problemáticas del sector se asocian al sobrecosto y retrasos en la ejecución de los proyectos, a la mayor demanda de recursos naturales no renovables, la contaminación del agua y el suelo, entre otros.

En cuanto a la problemática del sector de la construcción de vías relacionada con la demanda, uso y/o afectación de los recursos naturales renovables y no renovables, son claros

ejemplos, el uso desmesurado de materias primas provenientes de fuentes no renovables, la producción e inadecuada disposición de residuos de construcción y la generación de aproximadamente el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Saberian et al., 2019). Por esta razón, surge la necesidad de implementar alternativas que reduzcan el uso de energías fósiles, las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, la contaminación del suelo y el uso de la tierra, permitiendo de esta manera reducir la huella de carbono de los proyectos viales.

Diferentes investigaciones desarrolladas en países como India (Chandra & Behl, 2019) y Estados Unidos (Saberian et al., 2019), han explorado la necesidad de adoptar y regular medidas sostenibles que permitan reducir el uso de los recursos naturales en el sector de la construcción, promoviendo el uso de productos reciclados, como vidrios y neumáticos, como alternativa para evitar la disposición excesiva de estos residuos de construcción en rellenos sanitarios y escombreras (Mohajerani et al., 2020).

Una de las alternativas más viables se propone a través de la reducción de la demanda de materiales de construcción y el aprovechamiento de los residuos generados por las actividades constructivas, tal como lo menciona Saberian et al., (2020) respecto a la construcción de pavimentos a partir de agregados de concreto reciclado provenientes de las actividades de construcción y demolición, vidrio triturado, roca triturada, caucho proveniente de neumáticos, entre otros.

Aunque se tenga la noción que las principales fuentes de contaminación ambiental provienen de la industria y los sistemas de transporte, con el paso de los años se ha podido comprobar que la industria de la construcción impacta negativamente el medio ambiente, toda

vez que aproximadamente el 50% de los recursos utilizados son tomados de materias primas que no han sufrido procesos de transformación para su reutilización (Berrón, 2003).

En Colombia no existen reglamentaciones y/o directrices que permitan medir la sostenibilidad en los proyectos de construcción de vías, aun cuando se cuenta con instrumentos como la Guía de Manejo Ambiental para Proyectos del Subsector Vial donde se establecen directrices y se proponen medidas relacionadas con la gestión ambiental de los proyectos, mediante la promoción de buenas prácticas de ingeniería y la implementación de medidas de manejo ambiental. Sin embargo, dichas directrices se enfocan en la prevención, corrección, mitigación y/o compensación de los impactos que pudiesen materializarse durante la construcción de un proyecto y no se proponen alternativas que permitan prevenir impactos previo inicio de dichas actividades (Instituto Nacional de Vías, 2011).

En cuanto a la construcción sostenible, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio mediante la Resolución 549 del 10 de julio de 2015 (Ministerio de Vivienda, 2015), reglamentó los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, enfocándose principalmente a la construcción de edificaciones, dejando de lado el subsector vial.

Esta misma situación se evidencia en la Resolución 472 del 28 de febrero de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) y en la Resolución 1257 del 23 de noviembre de 2021 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021), donde se reglamenta la gestión integral de residuos generados en las actividades de construcción y demolición, definiendo las directrices para la localización de los sitios de disposición final de este tipo de residuos y medidas generales para la gestión integral de residuos de construcción y demolición, sin profundizar en cuanto a las alternativas de aprovechamiento en los diferentes sectores de la construcción.

Sin embargo, se han evidenciado avances a nivel institucional, como es el caso de la formulación de la Política de Sostenibilidad para la Infraestructura de Transporte a cargo del INVÍAS, donde dentro de sus estrategias se contempla la incorporación de criterios de sostenibilidad en el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura de transporte mediante la definición de nuevos métodos, diseños, tecnologías y materiales sostenibles (Instituto Nacional de Vías, 2020).

Teniendo en cuenta la ausencia de políticas, directrices y métricas que evalúen la sostenibilidad en las obras de infraestructura lineal se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible desarrollar e implementar indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en la infraestructura vial del municipio de Neiva?

1.2 Justificación

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de construir infraestructura vial de manera sostenible, por lo cual se buscan métodos que permitan ejecutar estas obras de forma rápida, efectiva y en armonía con el medio ambiente (Alavedra et al., 1997). Lo anterior, teniendo en cuenta que el aumento de la demanda de recursos no renovables en el corto y mediano plazo, pueden conllevar a una reducción significativa de la oferta de estos recursos a largo plazo, comprometiendo su disponibilidad y/o calidad; adicionalmente la falta de organización en las obras públicas y privadas, el desperdicio de materiales y la ausencia de medidas de control y seguimiento a la generación, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos resultantes, producen un efecto de no retorno al medio ambiente (Berrón, 2003).

De acuerdo con la situación actual enfocada en el sector de la construcción tanto vertical como horizontal, es válido afirmar que es el momento de generar un cambio positivo en cuanto a

la planeación y ejecución de los proyectos, evolucionando la forma de construcción, permitiendo dar un salto en los procesos constructivos, generando un menor impacto ambiental reduciendo el uso de recursos no renovables, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero y la disposición inadecuada de los residuos de construcción.

Por esta razón, se hace necesaria la implementación de indicadores de sostenibilidad que, involucren todas las disciplinas que están ligadas al desarrollo de los proyectos de construcción (Burón & Ibáñez, 2009). Sin embargo, teniendo en cuenta que la construcción abarca tantas ramas y que esto conlleva un estudio exhaustivo, se propone implementar un modelo constructivo sostenible enfocado en la infraestructura vial, ya que en ésta se concentran muchas de las afectaciones al medio ambiente a través del gasto desmesurado de energía de origen fósil, explotación de agregados pétreos de único uso, altos costos de conservación y mantenimiento de las vías construidas, etc. (Saberian et al., 2019).

Es de vital importancia realizar los estudios necesarios para llevar a cabo la formulación de indicadores que permitan la implementación de un modelo constructivo que sea sostenible y que sea efectivo en cada una de sus etapas.

Diferentes investigaciones desarrolladas en torno a este tema, han demostrado la efectividad de la aplicación de alternativas sustentables mediante el uso de agregados reciclados de residuos de construcción y demolición y derivados de neumáticos, demostrando que la durabilidad y la resistencia de los pavimentos no se ven afectadas significativamente, como es el caso de los estudios desarrollados por Arulrajah et al., (2019) en cuanto al uso de agregados derivados de neumáticos, Saberian et al., (2018) respecto al comportamiento de la base y sub-base del pavimento que contiene agregados de hormigón reciclado, caucho granulado grueso y

fino, Saberian et al., (2019) en cuanto al efecto del vidrio triturado en el comportamiento de los materiales de pavimento reciclados, entre otros.

1.3 Hipótesis

Es posible desarrollar e implementar indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en la infraestructura vial urbana del municipio de Neiva.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta de indicadores para la construcción de infraestructura vial sostenible, que pueda ser implementada en el municipio de Neiva.

1.4.2 Objetivos Específicos

Caracterizar los tipos de vías que se han construido en el municipio de Neiva en los últimos cinco años.

Establecer ejes temáticos, variables e indicadores de sostenibilidad aplicables a la infraestructura vial.

Validar los indicadores establecidos con el fin de aplicarlos en la construcción de la vía ubicada sobre la carrera 7ª entre Avenida Circunvalar y Avenida La Toma, en el municipio de Neiva.

2 Estado del Arte y Marco Teórico

2.1 Infraestructura Vial

La infraestructura vial hace referencia a todas aquellas estructuras que se construyen con el fin de comunicar puntos estratégicos a nivel nacional o internacional, generando un transporte de pasajeros y mercancía que está sujeto a diferentes factores (Pérez, 2005).

El diseño y construcción de una red de infraestructura vial aparte de mejorar la movilidad y accesibilidad de los usuarios, genera un impacto social, económico y cultural en el entorno local, regional y global.

2.1.1 Antecedentes

El ser humano, al consolidarse una criatura social, requiere comunicación constante con sus semejantes; sin embargo, dicha comunicación puede tener distintas manifestaciones, es decir, puede realizarse de manera verbal, escrita y visual. Por su parte, los territorios que ahora y desde siglos atrás son el hábitat de dichos humanos, no siempre han estado comunicados entre sí, lo que delimitó el desarrollo y comunicación humana que propendieran al progreso; por ello, surge la infraestructura vial como respuesta a la necesidad social humana de comunicarse, intercambiar saberes, acortar caminos y tiempos, desarrollar y ampliar sus zonas habitacionales y su cultura personal (Blanco, 1987).

Ahora bien, dicho desarrollo surge desde la creación de las ciudades a través de su división y ordenanza, pues si bien ya existían los caminos antes de los grandes asentamientos humanos, conocidos como metrópolis, éstos no eran más que una separación de territorios marcada por el paso del tiempo y la gente, sin un mayor sentido de distancia, que se concentraba en el tiempo que los llevaba transitar de un territorio a otro (Blanco, 1987). Sin embargo, con la construcción de las metrópolis de distintas culturas a nivel global, la arquitectura y la ingeniería

civil comenzaron a ser estudiadas y aplicadas a las nuevas necesidades comunicativas de las mismas, pues al ser ciudades densamente pobladas para la época, requerían del ingreso y salida de un número más alto de mercancías que los pueblos y asentamientos circundantes.

Según lo expuesto por Blanco (1987), la evolución de los caminos, y con ellos de la infraestructura vial, se realizó en paralelo a una de las más grandes invenciones del ser humano: la rueda, cuya creación se atribuye a los sumerios alrededor del año 3.500 A.C en la región que abarcan los ríos Tigris y Éufrates, una región cuyos registros históricos datan una importante exportación de mercancía por vía fluvial y terrestre, que se desarrollaba a amplia escala por gran parte de la antigua Mesopotamia, la primera civilización urbana.

Sin embargo, los materiales de construcción de ruedas de la época, requerían que las superficies por donde éstas se deslizaban fuesen más homogéneas, lo que impulsó entre otros tantos factores, a la creación de las primeras prácticas de construcción que consistían en allanar terrenos, rellenando y aplanando hondonadas; dichas prácticas evolucionaron con el surgimiento de las necesidades pues, con la creación de la rueda y la carreta como medios de transporte, el peso que se concentraba en un solo punto, generaba un desgaste en los caminos que rápidamente creaba baches, considerando que los materiales para su construcción en su mayoría eran rocas y tierra, halladas originalmente en el entorno; razón por la cual se implementaron nuevas técnicas de construcción de caminos y se propusieron distintos materiales para su desarrollo, dando como resultado los primeros ápices de la infraestructura vial (Blanco, 1987).

Dichos métodos eran particulares en cada urbe que construyera los caminos, por ejemplo, el método utilizado en la antigua Mesopotamia requería de cuatro materiales: piedras pequeñas consideradas gravas y cascotes, ladrillo cocido, mortero asfáltico y losas con entalladura; las piedras pequeñas servían como soporte en la base de una zanja que abarcaba un ancho de

alrededor de 3 a 4 m y cerca de 50 cm de profundidad. Posterior a la colocación de este relleno primario, se procedía a cubrir cada espacio con mortero asfáltico, pisado y aplanado, para a continuación colocar dos niveles de ladrillo cocido unido con mortero; finalmente, a nivel de suelo se instalaban losas con entalladura que se encargaban de distribuir el peso y darle una terminación con fricción, que permitiera el desplazamiento aún con lluvia (Blanco, 1987).

Ahora bien, aunque parezcan métodos rudimentarios y carentes de planeación, marcaron el inicio del desarrollo de la infraestructura vial, dando como resultado, por ejemplo, la Carretera Real Persa, la cual estuvo en uso desde el año 3.500 A.C, hasta alrededor del año 300 A.C, abarcando una extensión 2.957 Km, siendo la precursora de las calzadas romanas. Por su parte, las Carreteras Reales Chinas fueron importantes para el sureste de Asia junto con las Calzadas Romanas en Europa, más por su amplitud que por su calidad, pues aunque estaban bien construidas, no duraban mucho por el flujo comercial y humano con propósitos de guerra que tenían con constancia los caminos chinos que abarcaban una extensión de 3.200 Km; lo cual demuestra la importancia de la adaptación de la infraestructura vial a las necesidades de modernización humana que se desarrollaba a paso agigantados (Blanco, 1987).

En la modernidad, las infraestructuras viales podrían compararse con un sistema circulatorio en el cuerpo humano, ya que se encargan de posibilitar el transporte de los elementos necesarios para nutrir las diferentes ciudades y poblaciones. Para entender cómo se desarrolla la infraestructura vial y los impactos negativos que se pueden generar en un territorio, es necesario primero tener en cuenta que la movilidad en el contexto colombiano no siempre fue como se desarrolla hoy en día.

De acuerdo con Pérez (2005, p. 9):

Durante la primera mitad del siglo XX, la movilización por carretera entre los diferentes centros urbanos era una actividad muy compleja, no sólo por el lento desarrollo de las obras sino además por la gran dispersión a lo largo de todo el territorio. Sólo hasta finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, se inicia una nueva etapa en la historia del desarrollo vial del país con la construcción de nuevas redes de transporte y el mejoramiento de las existentes.

Proceso que continúa hasta el día de hoy, donde la ampliación, el mejoramiento y la construcción de nuevas vías se presenta quizás aún con mayor intensidad que hace unas décadas. Es importante tener en cuenta que, para que este proceso se realice de manera correcta, se deben seguir unos lineamientos que están plasmados en los diferentes documentos normativos que se expiden para reglamentar las intervenciones que se realizan en los diferentes territorios, un claro ejemplo es el decreto 2770 de 1953 que regula el ancho de las vías (Gobierno Nacional - República de Colombia, 1953). Asimismo, existen otras reglamentaciones que regulan la responsabilidad de las entidades en la implementación de estos proyectos.

Más adelante, Pérez (2005, p. 14) indicó que:

Otro aspecto que es importante tener en cuenta es el cambio que tuvo la movilización de carga a través de la segunda mitad del siglo XX. Mientras que en los primeros años de ese período el transporte carretero era apenas un complemento del férreo y del fluvial, a medida que fueron pasando los años y que la red vial fue evolucionando, esta forma de transporte pasó a ser la más importante del país.

De tal forma que se hace notable la necesidad de fortalecer y ampliar la infraestructura vial generando así la implementación de proyectos con el fin de mejorar la movilidad y aumentar la accesibilidad, lo que a su vez significa que las exigencias para construir dichos proyectos día

a día son mayores, las normas se vuelven más estrictas y buscan regular de una manera más eficaz el desarrollo vial en el país; claro está que esto representa nuevos retos para la construcción, ya que llegar a un diseño adecuado implica tener en cuenta la topografía tan variada que se presenta en los diferentes territorios y la adaptación de los usuarios al trazado de la vía.

Un aspecto que también hay que considerar dentro del desarrollo vial, es el impacto que estas construcciones representan para la sociedad y el medio ambiente; en cuanto al aspecto social, esta influencia puede ser positiva, ya que la construcción de estos proyectos facilita el acceso de diversas comunidades no solo a una comunicación más efectiva con el resto del territorio, sino que también facilita el acceso a servicios públicos y a un comercio más amplio.

Si se analiza desde un punto de vista ambiental, la construcción de vías genera en la mayoría de los casos un impacto negativo, no solo por la modificación del paisaje y la producción de desechos que son nocivos para el medio ambiente, sino que también porque interrumpe el desarrollo de las relaciones en los ecosistemas, causando así una alteración al orden natural de los territorios.

2.1.2 Clasificación

Al realizar una clasificación de la infraestructura vial, es importante tener en cuenta aspectos que vinculan desde lo administrativo hasta el tipo de terreno donde se construyen las vías; por lo tanto, los conceptos y factores que definen cómo se clasifican, se adaptan al país o región donde se realice este proceso.

2.1.2.1 Competencia Político-Administrativa. En Colombia, el primer criterio de clasificación contempla la competencia político-administrativa, que Rueda (2014, p. 24) hace referencia a la Red Vial Nacional de Carreteras, de acuerdo con “las consideraciones prevalecientes de responsabilidad o competencia político - administrativa en la construcción, conservación, mejoramiento y mantenimiento de las mismas como elementos esenciales en su agrupamiento u ordenamiento”; es decir que estas vías se agrupan dependiendo del sector administrativo al que corresponden y por ello, se generan niveles jerárquicos que no hacen distinción entre las características físicas y geométricas o la cantidad de tráfico que estas vías transporten, sino que se centran únicamente en la responsabilidad que las entidades administrativas tienen sobre ella. Dentro de este grupo se encuentran:

Red de carreteras nacionales: Vías a cargo del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), que están conformadas por autopistas y doble calzadas que se conectan con carreteras de calzada sencilla, de reducido volumen de tránsito (Rueda, 2014).

Red de carreteras departamentales: Vías a cargo de entidades gubernamentales, que están compuestas por carreteras pavimentadas y no pavimentadas, que se conectan con caminos veredales o vecinales (Rueda, 2014).

Vías intermunicipales: Vías a cargo de los municipios que, muchas veces tienen mejores especificaciones que las vías a cargo de los departamentos, debido a la lógica de manejo fiscal (Rueda, 2014).

Vías bajo gestión de distritos especiales: Carreteras de diversas especificaciones, que se proyectan de acuerdo con el tamaño y economía de la población beneficiaria y son administradas por municipios denominados distritos especiales (Rueda, 2014).

2.1.2.2 Funcionalidad. Seguidamente Rueda (2014, p. 28) describe la funcionalidad como, “la función que desempeña la vía, la cual es la de conectar ciertos nodos de diversos niveles de importancia, integrando las diferentes regiones del país a nivel económico, social, cultural y estratégico”; por ello, este criterio se centra en la capacidad que tiene la vía de mover pasajeros y cargas entre diferentes puntos estratégicos generando así un impacto social independientemente de quien tenga jurisdicción sobre ella, dentro de la función, los niveles jerárquicos son primer, segundo y tercer orden dependiendo de la accesibilidad y movilidad que presente la vía, es decir, que los factores más relevantes de este criterio son la velocidad y la capacidad de manejo del tráfico que por ella circula.

El Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2008, p. 29), realiza la siguiente clasificación a nivel funcional de la red vial nacional:

Vías primarias: Definidas como “aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países”. Deben ser pavimentadas.

Vías secundarias: Son “aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria”. Pueden estar pavimentadas o en afirmado.

Vías terciarias: Corresponden a “aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí”. Pueden funcionar en afirmado, pero en

caso de ser pavimentadas, deben ejecutarse de acuerdo con las condiciones geométricas de las vías secundarias.

2.1.2.3 Diseño y/o Sección Transversal. En un tercer momento se encuentra el diseño; esta forma de agrupar las vías se refiere a autopistas, semi-autopistas, vías de dos carriles o vías de un solo carril; dependiendo de la cantidad de tráfico que maneje la vía, es decir, que a partir del flujo vehicular que se presente en la zona, el diseño de la misma y por ende su tamaño, se definen las mejoras que se proyectan dentro de las labores de mantenimiento. De acuerdo con Rueda (2014):

Autopista: Vía multicarril cuyas intersecciones son a desnivel, generalmente, tiene limitación de ingreso directo.

Semi-autopista: Vía multicarril cuyas intersecciones son a desnivel, generalmente, no tiene limitación de ingreso directo.

Vías de dos carriles: Son aquellas que tienen una calzada con dos carriles para distribuir cada sentido de circulación del tráfico.

Vías de un solo carril: Vías unidireccionales que están delimitadas por líneas visibles (continuas o discontinuas).

Además, este factor debe tener en cuenta aspectos como la topografía, ya que un terreno plano, ondulado, montañoso o escarpado, presenta características únicas que afectan el diseño de la vía (Rueda, 2014).

2.1.2.4 Tipo de Terreno. Esta clasificación de acuerdo con Rueda (2014, p. 34) está directamente asociada a la “expresión del relieve o topografía sobre la cual se construyen las vías donde la topografía influye en la explanación, así como en la determinación de la pendiente longitudinal y transversal de la vía”.

Terreno plano: De acuerdo con lo descrito en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, requiere un mínimo movimiento de tierras debido a que presenta pendientes transversales a la vía menores de cinco grados (5°) y pendientes longitudinales menores al tres por ciento (3%) (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Terreno ondulado: De acuerdo con lo descrito en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, requiere un moderado movimiento de tierras debido a que los alineamientos son más o menos rectos y no generan dificultades mayores en el trazado y la explanación. Presentan pendientes transversales a la vía entre seis y trece grados ($6^\circ - 13^\circ$) y pendientes longitudinales entre tres y seis por ciento (3% - 6%) (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Terreno montañoso: De acuerdo con lo descrito en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, requiere grandes movimientos de tierras debido a que presenta dificultades en el trazado y la explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%) y las pendientes transversales a la vía son entre trece y cuarenta grados ($13^\circ - 40^\circ$) (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Terreno escarpado: De acuerdo con lo descrito en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, exige un máximo movimiento de tierras, lo que genera múltiples dificultades en el trazado y la explanación, debido a que los alineamientos se encuentran supeditados a divisorias de aguas. Las pendientes transversales a la vía, superan los cuarenta grados (40°) y sus

pendientes longitudinales son mayores al ocho por ciento (8%) (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

2.1.2.5 Tipo de Superficie. Finalmente se presenta el criterio del tipo de superficie que, como Rueda (2014, p. 36) lo indica, se centra en sí “la superficie o capa de rodadura por la cual circulan los vehículos en una carretera puede estar pavimentada o puede encontrarse sin pavimento”, catalogándose principalmente en vías pavimentadas, en afirmado o en tierra, lo que depende también del flujo vehicular que se presente en la zona, ya que la inversión que se realiza en el proceso de construcción representa un factor importante; es necesario observar la relevancia que éstas poseen en cuanto a la movilidad de la población para así mismo determinar el tipo de rodadura que tendrán, con el fin de facilitar y hacer más efectiva la comunicación entre puntos poblacionales.

Vías pavimentadas: Son aquellas con mayor volumen vehicular y que poseen una superficie de rodadura que favorece la circulación de los usuarios (Rueda, 2014).

Vías en afirmado: Vías de bajo volumen vehicular, que requieren mayor costo de operación debido a que no cuentan con capa de rodadura y deben ser intervenidas constantemente con el fin de mejorar su transitabilidad (Rueda, 2014).

Vías en tierra: Estas vías son intervenidas de manera manual y generalmente permiten únicamente el tránsito de personas y animales (Rueda, 2014).

2.1.3 Geometría

Una vez presentados los diferentes criterios de clasificación de la infraestructura vial colombiana; a continuación, se proceden a exponer en detalle los elementos geométricos que componen sus secciones transversales que, a su vez, reúnen características de seguridad,

comodidad y estética para los usuarios, de acuerdo con lo enunciado en la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura – Subsector Vial (Instituto Nacional de Vías, 2011).

Ancho de la zona o derecho de la vía, el cual, hace alusión a la extensión de terreno que va a ser dispuesto para la construcción de la vía, y que, por tanto, no puede ser empleado para usos privados (Instituto Nacional de Vías, 2011).

Este elemento depende de la categoría de la vía que, en Colombia, están definidas por el Ministerio de Transporte (MT), apoyándose en el INVÍAS, quien suministra toda la información necesaria para caracterizar las vías a construir, haciendo uso de la Red Nacional de Carreteras según el Decreto 1735 de 2001 del MT. El MT fue asignado para esta labor por la Ley 1228 del 16 de julio de 2008, en la cual se indica que “las vías que conforman el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional se denominan arteriales o de primer orden, intermunicipales o de segundo orden y veredales o de tercer orden” (Ministerio de Transporte, 2008, p. 1), cabe resaltar que también existen las denominaciones Vía Troncal y Vía Transversal, que se categorizan en la Red Vial Nacional Primaria de acuerdo con la Resolución 1530 de 2017 (2017, p. 6) como:

Las carreteras con dirección predominante sur - norte, denominadas troncales, que inician su recorrido en las fronteras internacionales y terminan en los puertos del Atlántico o en fronteras internacionales y las carreteras con dirección predominante occidente-oriente que unen las troncales, anteriores entre sí, denominadas transversales, cuyo volumen de tránsito esté justificado, y que comuniquen con los países limítrofes o con los puertos de comercio internacional, respectivamente.

Corona: Según el Glosario del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2013, p. 2) es el “conjunto formado por la calzada y las bermas”, diseñada con los criterios de seguridad,

comodidad y paisajismo. Comprende la distancia horizontal entre el eje y los bordes interiores de las cunetas.

Calzada: De acuerdo con el artículo 2° del Código Nacional de Tránsito - Ley 769 del 2002, se define como “zona de la vía destinada a la circulación de vehículos” (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2002b, p. 4). Las calzadas tienen diseños que dependen de factores como el lugar, el clima, la pendiente, la velocidad de diseño, el volumen de tránsito, entre otros; lo que permite definir la cantidad de capas, espesores y tipos de materiales a emplear en su proceso constructivo, lo que permite garantizar un índice de serviciabilidad alto y una vida útil mucho más larga.

Berma: Definida como la “parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia”, es decir, sirve de apoyo para la seguridad de los conductores al permitirles tener un espacio extra para maniobrar en caso de emergencia y protege las capas del pavimento, aportándoles estabilidad (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2002b).

Separadores: Corresponden a “zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales)” (Instituto Nacional de Vías, 2013, p. 7).

Cunetas: Definidas como “zanjas abiertas en el terreno, revestidas o no, que recogen y canalizan longitudinalmente las aguas superficiales” (Instituto Nacional de Vías, 2011). Existen distintos diseños de cunetas que están directamente relacionados con las condiciones del terreno natural y el caudal de agua a transportar, por ejemplo, cuando se manejan pendientes elevadas en

largos tramos se deben realizar disipadores de energía con alternativas como “bloques de concreto - bloques de roca que sobresalen en el fondo de la cuneta” o “cunetas escalonadas que disipan energía en las caídas de los escalones” (Empresas Públicas de Medellín, 2018, p. 7).

Taludes: Están definidos de acuerdo con el Manual de Estabilidad de Taludes como aquellos terrenos con pendiente, que pueden encontrarse en uno o los dos costados de la vía (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 1998). Respecto a ellos, se deben tener en cuenta aspectos de la zona geográfica como el tipo de roca que los compone (ígneas, sedimentarias y metamórficas) y la ubicación y sentido de las capas (estratificación), con el fin de reducir y mitigar riesgos por derrumbes o fallas.

Andenes y senderos peatonales: Encontrados a los costados de las vías permitiendo el tránsito de los peatones (Ministerio de Ambiente, 2010). Se reglamentan en Colombia según el Decreto 798 de 2010 y son diseñados con el fin de proporcionar la comodidad y seguridad que requieren los usuarios, a través de las siguientes consideraciones: utilizar en su construcción materiales antideslizantes; en el caso de los puentes peatonales, contar con bordillo contenedor en toda su longitud; deben ser inclusivos (diseñados y construidos con cambio de textura en el piso, con el fin de facilitar su detección por parte de invidentes o personas con visión reducida) (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2005).

Línea de chaflanes: De acuerdo con el Glosario del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2013, p. 4) son las “líneas que unen las estacas de chaflán consecutivas, las cuales indican hasta dónde se extiende lateralmente el movimiento de tierras por causa de los cortes o de los terraplenes”, es decir, que, a través de ésta, se identifican las zonas donde se realizará el movimiento de tierras del proyecto.

Bordillos y defensas: Los primeros son elementos estructurales que se ubican en los bordes de la calzada o berma con el fin de orientar el tránsito, encausar el agua y delimitar los andenes y las defensas son estructuras instaladas en la longitud de los bordes de una vía, con el fin de proporcionar un grado de protección a los usuarios contra estructuras potencialmente peligrosas (inmediaciones de puentes, cortes rocosos, peñones, cuerpos de agua profunda, árboles, etc.) (Agudelo, 2002).

2.1.4 Criterios y factores

Un proyecto vial consta de 4 procesos fundamentales: el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento, los cuales traen consigo una serie de criterios y factores que influyen su desarrollo; Agudelo (2002) expuso que los criterios que se deben tener en cuenta dentro del diseño de la infraestructura vial son primero la seguridad, teniendo en cuenta que el diseño debe realizarse de tal manera que el usuario pueda entender la vía con facilidad a través de un diseño uniforme, que busque brindar una mayor capacidad de maniobrar y mejorar la visibilidad del usuario.

Luego se halla la comodidad que va de la mano con la seguridad, ya que un diseño simple con un trazado uniforme y regular, termina por brindar una mayor comodidad en el viaje que realicen los usuarios debido a que la reducción de los cambios de velocidad y las curvaturas uniformes permiten tener un trayecto más fluido y confortable, generando una mayor adaptabilidad por parte de los conductores y permitiendo así que les sea más fácil entender y seguir el trazado de la vía.

Después Agudelo (2002) mencionó dos criterios más, la estética y la elasticidad; la primera hace referencia a cómo la vía se relaciona con el paisaje en el cual se construye, éste representa un factor externo y en cuanto al factor interno, la estética cumple una función de

relación con el conductor haciendo que la vía interactúe de forma más dinámica con él, brindando una mejor visibilidad y comodidad en cuanto a la adaptabilidad con la ruta.

Seguidamente se encuentra el criterio de elasticidad, que cumple una función más a futuro, lo que significa que la vía debe proporcionar la posibilidad de implementar mejoras a futuro, incluyendo ampliaciones y mejoras estructurales, además de permitir la conexión con otras vías facilitando el traslado de pasajeros y de carga, procurando mejorar la movilidad de los mismos.

Además de los anteriores, otros factores que influyen en la etapa de diseño del proyecto vial son: el tipo de terreno, el flujo vehicular, los puntos que comunica, la funcionalidad y el tamaño y la forma de la vía. Posteriormente, se da inicio a la fase de construcción, en la que deben analizarse con claridad dos tipos de factores, en primera instancia, “los factores externos corresponden a las condiciones preexistentes y de los cuales se debe obtener toda la información posible a fin de analizarlos y determinar algunas características importantes de la nueva vía” (Agudelo, 2002, p. 56); haciendo referencia a las condiciones del terreno donde se pretende desarrollar el proyecto, es decir, se debe tener en cuenta la topografía, el flujo vehicular, los usuarios, el desarrollo urbanístico, el impacto social, económico y medio ambiental, incluso el tránsito de ciclistas, procurando que la construcción del proyecto afecte de manera positiva estos factores e intentando no afectar los recursos que se disponen para la construcción y el mantenimiento de la vía.

Seguidamente se halla que los factores internos “son aquellos que son propios a la vía pero que en parte dependen de los externos” (Agudelo, 2002, p. 57), es decir, hacen referencia a asuntos principales como la capacidad de manejo de tránsito de la vía, las velocidades a las que se permite transitar, las restricciones de acceso y las características del tráfico y de los vehículos que transitarán por ella.

2.1.5 Infraestructura Vial y Medio Ambiente

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, respecto al diseño y la construcción de vías, se puede inferir que debido a que en cada una de estas etapas se tiene un contacto directo y permanente con el medio ambiente, resulta indispensable considerarlo desde la planificación de todo proyecto. De esta manera, la toma de decisiones respecto a factores como movimientos de tierra, utilización de materiales, generación de desechos, entre otros, son clave para la disminución y mitigación de los daños que se pueden generar en el espacio de intervención.

Sabiendo que la construcción es una de las actividades que tiene un gran nivel de importancia e impacto en el desarrollo y bienestar de los seres humanos, y que todo el tiempo se están desarrollando diferentes proyectos; la infraestructura vial se transforma en parte fundamental de la conexión entre los diferentes nodos poblacionales, por lo cual, la construcción y mantenimiento de vías permiten el desarrollo cultural, económico y social de los individuos. Por ello, es de vital importancia tener en cuenta que actualmente el transporte terrestre es el medio de comunicación más utilizado y uno de los que mayor impacto social, económico y ambiental ejerce sobre el planeta, lo que implica que la infraestructura necesaria para el transporte de pasajeros y carga a nivel mundial, genera un gran impacto en el sector ambiental, no solo por la utilización de los materiales necesarios para la construcción de carreteras sino también por la modificación del paisaje y la generación de desechos dentro del proceso de ejecución del proyecto, haciendo evidente la necesidad de redimensionar la construcción y el mantenimiento de vías, debido a los altos costos y el uso indiscriminado de materiales que, generalmente son de origen natural, buscando minimizar los impactos que se generan y al mismo tiempo, satisfaciendo la necesidad que implica la intervención.

Al investigar estos aspectos se puede analizar lo expresado por Azarijafari et al., (2016); la inversión para la construcción y mantenimiento de los proyectos de infraestructura vial abarca el mayor porcentaje de financiación de los presupuestos totales tanto para Estados Unidos (en el periodo 2014 - 2030) como Canadá (en el periodo 2014-2024). De igual manera, este tipo de proyecciones se están reflejando en países europeos y en Brasil, lo que implica que el mayor porcentaje del presupuesto nacional se invierte en la infraestructura vial, haciendo visible la necesidad de reducir estos costos, buscando alternativas que permitan resultados de buena calidad con una inversión más reducida y dándole a los entes encargados, la posibilidad de realizar un mejor aprovechamiento de sus presupuestos.

Al analizar el aspecto ambiental, también se consideran los impactos que la construcción y el uso de las vías generan en este ámbito, por ejemplo, el desarrollo de proyectos de construcción de infraestructura vial genera gran cantidad de desechos tóxicos como los gases producidos por la maquinaria que afectan la atmósfera y contribuyen en gran medida al cambio climático que enfrenta el planeta. Según Ossa et al., (2016), la generación de los Residuos de Construcción y Demolición (C&D) son consideradas actividades insostenibles ya que provocan daños irreversibles al medio ambiente, incluyendo también el cambio en el paisaje, que puede incluso afectar a la fauna. De acuerdo con Zapata (2017, p. 16):

Los impactos mencionados pueden generar barreras para las especies de fauna que impiden su movilidad e impiden el ciclo reproductivo normal de las mismas. Lo que tiene una repercusión directa en la cadena trófica y en el funcionamiento natural de los ecosistemas.

Lo que demuestra cómo las intervenciones en proyectos viales, tienden a interrumpir el equilibrio sistémico de la naturaleza, provocando un impacto negativo en las relaciones de producción o cadenas alimenticias presentes en la naturaleza.

Las cifras que se presentan enseguida dan fe de cómo la construcción afecta al medio ambiente, ya que anualmente se producen 534, 531 y 20 millones de toneladas de residuos por parte de la industria de la construcción en Estados Unidos, la Unión Europea y Australia respectivamente. Uno de los subsectores de la construcción que mayor impacto y contaminación le generan al medio ambiente son las industrias relacionadas con la infraestructura vial; las cuales aportan alrededor del 30% de emisiones de gases en todo el mundo (Saberian et al., 2019), lo que muestra la necesidad de generar una transformación en cómo se dan los procesos de construcción e implementación de los proyectos viales, provocando un impacto menor al medio ambiente y a la vez, ofreciendo los beneficios de dichas construcciones, comunicando los diferentes centros urbanos y rurales entre sí.

2.1.6 Marco Normativo

Dentro de las entidades que regulan y supervisan el desarrollo de la infraestructura vial a nivel mundial se resalta la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO), que se consolida como autoridad por sus publicaciones normativas tales como: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Política para el Diseño Geométrico de Carreteras y Calles) (American Association of State Highway and Transportation Officials., 2001), Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing (Especificaciones Estándar para los Materiales usados en el Transporte y Métodos de Muestreo y Prueba) (American Association of State Highway and Transportation Officials., 2001) y AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (Especificaciones en Diseño de Puentes).

Dentro de las publicaciones anteriormente nombradas se resalta el texto titulado Política para el Diseño Geométrico de Carreteras y Calles, también llamado el “Libro Verde”, que es utilizado como un estándar normativo internacional (Ochoa, 2009), en el que se señala que:

El propósito de esta política es guiar al diseñador mediante la referencia de un rango de valores recomendados para las dimensiones críticas. No se intenta que sea un manual detallado de diseño que permita sobreponer la necesidad de la aplicación de los principios legítimos del conocimiento de los profesionales del diseño. Se permite suficiente flexibilidad para alentar diseños independientes adaptados a situaciones particulares. (Ochoa, 2009, p. 12)

Sin embargo, a nivel latino iberoamericano se aplica el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales expuesto por Leclair (2004), quien hace un estudio del tránsito urbano, las tasas de mortalidad en vías y de la necesidad del desarrollo de las vías internacionales con estudios de caso específico, estableciendo que:

1. El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, que deben evitarse los cambios abruptos en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio. La administración de los accesos a las carreteras, particularmente en las intersecciones, es a menudo esencial para la segura y eficiente operación de dichas carreteras, sobre todo cuando enfrentan condiciones de altos volúmenes de tránsito.
2. En el diseño debe prestarse la debida atención a las necesidades de los peatones, de los ciclistas y de los motociclistas que circulan por las carreteras de Centroamérica en volúmenes significativos, particularmente de los primeros.

3. Es necesario incorporar en el diseño de las carreteras una zona contigua a la pista de rodamiento, en donde la combinación de la pendiente, la superficie y la falta de obstáculos permita la recuperación del control de un vehículo salido de su curso. (Leclair, 2004, p. 21)

Junto a lo anteriormente expuesto, se presentan algunas definiciones como: sub tramos, amplitud y categorización de vías, volúmenes de tránsito, tasa de tránsito promedio anual, complemento del diseño geométrico, factores medio ambientales, entre otras, considerando que estos conceptos se deben tener en cuenta en toda construcción vial.

En Colombia, el INVÍAS es quien hace una apropiación de la normativa internacional, generando adecuaciones según la densidad poblacional del territorio donde se construyen las vías, sus condiciones climáticas, el tránsito diario y el tipo de vehículos que las recorren.

Por ello, se han generado una serie de reglamentaciones:

Manual de diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito – INVÍAS (Instituto Nacional de Vías et al., 2008).

Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP14) – INVÍAS (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Manual de drenaje para carreteras – INVÍAS (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras – INVÍAS (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022).

Manual de diseño geométrico de carreteras – INVÍAS (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito – INVÍAS (Instituto Nacional de Vías & Ministerio de Transporte, 1998).

Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles – INVÍAS (Universidad Nacional de Colombia & Instituto Nacional de Vías, 2006a).

Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos – INVÍAS (Universidad Nacional de Colombia & Instituto Nacional de Vías, 2006b).

La infraestructura vial en Colombia se regula por medio de diferentes leyes, decretos y resoluciones que categorizan la formulación de las vías:

En primer lugar, se halla el decreto 2770 de 1953 que, fija el ancho de las zonas férreas del Valle del río Magdalena, los espacios de carretera y los divide en primera, segunda y tercera categoría; instauro procesos normativos, los cuales, se asocian con la vigencia y transformación de los aspectos sociales, económicos y ambientales (Gobierno Nacional - República de Colombia, 1953).

A partir de diversas modificaciones que ha sufrido la infraestructura vial del país, se reestructura el INVÍAS en el decreto 2056 de 2003, el cual tiene como objeto la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura colombiana (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2003).

Tiempo después surge la ley 1682 de 2013 en la que se adoptan los principios y políticas generales de la infraestructura del transporte, proponiendo principios específicos como accesibilidad, calidad de servicio, conectividad, eficiencia, adaptación y mitigación al cambio climático, estudios y diseños de las vías, seguridad y sostenibilidad ambiental, para así dar validez a los procesos de la misma; además propone quiénes son los responsables de la planeación de los proyectos de infraestructura del transporte (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2013b).

Ahora bien, a través del decreto 736 de 2014, se garantiza la posibilidad de implementar la intermodalidad y multimodalidad de la infraestructura de transporte, además de establecer el fortalecimiento y la eficiencia en lo que hace referencia a los nodos de transporte, los corredores logísticos, las vocaciones de carga y la logística de la reducción de costos, tiempo estipulado para su creación y sostenibilidad teniendo en cuenta los cambios climáticos y la vulnerabilidad de la zona (Ministerio de Transporte, 2014).

Cabe recalcar que la labor del INVÍAS ha llevado al desarrollo de las consiguientes resoluciones que demarcan y pautan el desarrollo de la infraestructura vial en Colombia:

Resolución No. 3482 del 15 de agosto de 2007, “Por la cual se adopta el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito” (Ministerio de Transporte, 2007, p. 1).

Resolución No. 743 del 04 de marzo de 2009, “Por la cual se actualiza la Guía Metodológica para el Diseño de Obras de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos de Carreteras” (Ministerio de Transporte, 2009a, p. 1).

Resolución No. 744 del 04 de marzo de 2009, “Por la cual se actualiza el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras” (Ministerio de Transporte, 2009b, p. 1).

Resolución No. 803 del 06 de marzo de 2009, “Por la cual se adopta el Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto para Vías con Bajos, Medios y Altos Volúmenes de Tránsito” (Ministerio de Transporte, 2009c, p. 1).

Resolución No. 7106 del 02 de diciembre de 2009, “Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura – Subsector Vial – como instrumento de autogestión y autorregulación” (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2009, p. 1).

Resolución No. 2566 del 16 de junio de 2010, “Por la cual se adopta el Manual de Interventoría en el Instituto Nacional de Vías” (Instituto Nacional de Vías, 2010, p. 1).

Resolución No. 024 del 07 de enero de 2011, “Por la cual se adopta el Manual de Drenaje para Carreteras” (Ministerio de Transporte, 2011, p. 1).

Resolución No. 1049 del 11 de abril de 2013, “Por la cual se adopta el Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras” (Ministerio de Transporte, 2013, p. 1).

Resolución No. 108 del 26 de enero de 2015, “Por la cual se actualiza el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes y se adopta como Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14” (Ministerio de Transporte, 2015, p. 1)

Resolución No. 1524 del 06 de mayo de 2022, “por la cual se adoptan y actualizan las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional” (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2022, p. 1).

2.2 Pavimentos

De acuerdo con Gutiérrez & Arboleda (2015, p. 17) se puede definir a los pavimentos como:

Capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales; así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

Según Gutiérrez & Arboleda (2015), las capas que conforman los pavimentos son:

Terreno natural: Es el área de superficie donde se realiza la construcción de la vía; soporta la carga generada por el pavimento y sus usuarios.

Cuerpo del terraplén: Es el volumen de material utilizado para dar la altura necesaria para construir las obras de drenaje.

Capa de subrasante: Es aquella donde reposa la capa de pavimento y se encarga de diferentes funciones: a) recibir, resistir y transmitir las cargas del tránsito a las capas inferiores, b) prevenir la contaminación de la capa de pavimento con el resto de capas, c) evitar que se propaguen imperfecciones en la capa de pavimento, garantizando espesores constantes.

Rodadura: Es la capa superior del pavimento, que recibe de manera directa las cargas del tráfico y que cubre las capas subyacentes.

De manera práctica, los pavimentos se dividen en tres grandes grupos: flexibles, rígidos y articulados. Los pavimentos se diferencian por los materiales que lo componen y por la manera en que se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones, generadas por el tráfico, en las capas inferiores de su estructura (Gutiérrez & Arboleda, 2015).

De acuerdo con Papagiannakis & Masad (2008), todos los pavimentos deben diseñarse considerando los siguientes factores externos:

Tráfico y cargas, en éstas se incluyen las axiales, el número de repeticiones de las cargas, el área de contacto de los neumáticos y la velocidad de los vehículos. De igual manera, se deben analizar las cargas que le aportan los vehículos al pavimento y la manera en la que se comportan dependiendo el tipo de material empleado como rodadura.

Factores ambientales, como la temperatura y la precipitación, que afectan el módulo de elasticidad de varias de sus capas.

En pavimentos flexibles las propiedades de elasticidad y viscoelasticidad se pueden ver afectadas significativamente por el cambio de la temperatura; cuando ésta es baja, el asfalto se torna rígido y es más vulnerable a agrietarse.

En pavimentos rígidos, cuando se presentan altas temperaturas durante el día, la losa de pavimento presenta curvatura, haciendo que pierda el contacto con la subbase y, durante la noche cuando la temperatura es menor, se curva en sentido contrario, es decir que, los bordes y las esquinas de la losa pierden el contacto con la subbase, afectando la eficiencia de la transferencia de cargas y permitiendo la apertura a grietas.

Numerosos estudios han evaluado los impactos ambientales de los pavimentos en asfalto contra los pavimentos rígidos, demostrando que los primeros consumen para su producción aproximadamente un 40% más de energía que los pavimentos en hormigón. A pesar de lo anterior, los pavimentos flexibles tienen un valor agregado por la implementación de materiales y tecnologías bajas en carbono (pavimentos de asfalto recuperado, pavimentos reciclados en frío, pavimentos permeables, entre otros) (Han et al., 2023).

La precipitación de lluvia y nieve afecta la cantidad de agua superficial que se infiltra a la subbase y a la localización de agua subterránea (Nivel freático).

Criterios de falla, las propiedades de los materiales deben ser especificados para determinar el motivo de falla que podría afectar el pavimento.

En pavimentos flexibles generalmente los criterios de falla que se consideran son: ruptura por fatiga, deformación, grietas por bajas temperaturas y ahuellamiento del pavimento.

En pavimentos rígidos mayormente el criterio de falla es la fatiga, aunque también se tienen en cuenta la erosión y el daño a la losa superficial presentado por presiones de aguas subterráneas.

2.2.1 *Pavimento Rígido*

Según lo indicado en la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento, “consiste generalmente en una subrasante preparada subyacente a una capa de subbase y losa de pavimento. La capa de subbase puede no ser necesaria entre la subrasante y la losa de pavimento, cuando se presentan bajos volúmenes de tránsito” (American Association of State Highway and Transportation Officials., 1993, p. 41). A partir de esta definición, se entiende que este tipo de pavimento, se compone de capas, las cuales, se precisan dependiendo del volumen de vehículos que transitarán por la vía a construir.

Las variables consideradas para diseñar y calcular las capas del pavimento rígido según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras son:

Tránsito y el período de diseño: Para ello, se realiza la recolección de datos del tipo de vehículos que transitan junto con su frecuencia y se proyecta el tiempo de durabilidad de la carretera, lo que se relaciona directamente con la clasificación de la vía y su nivel de importancia (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Subrasante: Corresponde al tipo de suelo que se encuentra en la zona de construcción de la vía, al cual, se le debe realizar un estudio geotécnico para que, en caso de presentar materiales inadecuados, se efectúe una sustitución parcial o total, hasta lograr su mejoramiento (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Material de soporte para el pavimento: De acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, se puede utilizar suelo natural o materiales granulares crudos o mejorados, de espesores variables. El espesor de la estructura varía según la capacidad de soporte del terreno natural o suelo de subrasante (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Características del concreto para pavimentos: Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, asociadas a la calidad de los concretos y van directamente relacionada con su resistencia a la flexión (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

La capa superficial del pavimento rígido está constituida por concreto hidráulico, que de acuerdo con la cartilla guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito y vías locales para la ciudad de Bogotá D.C, presentan un grave problema asociado a “la fuerte susceptibilidad a cambios climáticos que pueden llegar a producir rupturas debido a su fragilidad, especialmente por el fenómeno del alabeo” (Universidad Nacional de Colombia et al., 2013, p. 20).

Juntas: De acuerdo con el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, se realizan con el fin de dar un espacio permisivo a los movimientos de contracción y dilatación del concreto, a razón de los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral: Considerando el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, existen dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de pasadores de carga (dovelas) en las juntas transversales y los confinamientos laterales del pavimento, como son las bermas, los bordillos y los andenes (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

Según el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2008), los pavimentos rígidos contienen las siguientes capas (ver figura 1):

Subrasante: Debe estar libre de materia orgánica o de arcilla, el proceso de compactación debe alcanzar mínimo un 95% del Proctor Modificado. Además, debe cumplir con las siguientes condiciones: a) el número promedio diario de vehículos pesados que pasan por la vía debe ser

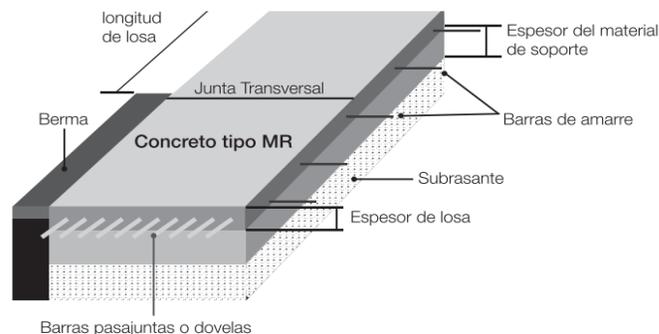
inferior a 125 unidades, b) el índice de plasticidad del suelo no debe ser superior al 6% y c) el material que pasa el tamiz No. 200, debe ser menor al 40%.

Base: Proporciona soporte uniforme y constante al apoyo de las losas de concreto, controla las variaciones volumétricas de la subrasante y aumenta la capacidad de soporte de la fundación. De acuerdo con los artículos asociados a esta capa granular, según las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, existen dos tipos: Base granular (Artículo 330-22) y Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural (Artículo 350-22) (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Losa en concreto: El material empelado debe atender los esfuerzos de compresión, tracción por flexión y abrasión. Esta capa debe cumplir las especificaciones dispuestas en los artículos 500-22 y 640-22 (acero de dovelas y barras de anclaje) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Figura 1

Esquema representativo de un pavimento en concreto



Nota. La figura muestra la composición de un pavimento rígido. Tomado del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras *Fig. 4.1.* (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2008).

De acuerdo con el artículo 500-22 (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022), los pavimentos en concreto se dividen en los siguientes tipos:

Pavimento de concreto convencional con juntas.

Pavimento con juntas y losas reforzadas.

Sobrelosas sobre pavimento de concreto, adheridas.

Sobrelosas sobre pavimento de concreto, no adheridas.

Sobrelosas sobre pavimento asfáltico, adheridas.

Sobrelosas sobre pavimento asfáltico, no adheridas.

Sobrelosas sobre pavimento compuesto, adheridas.

Sobrelosas sobre pavimento compuesto, no adheridas.

Pavimento continuamente reforzado (con limitaciones).

El INVÍAS y la Universidad Nacional de Colombia hicieron una recopilación bibliográfica de los tipos de daños que se presentan durante la operación de los pavimentos rígidos y flexibles con el fin de presentar una guía para su inspección visual.

Respecto a los daños que puede presentar un pavimento rígido se agrupan: a) grietas, b) deterioro de juntas, c) deterioro superficial y d) otros deterioros.

- a) Las grietas son aquellas fracturas o discontinuidades que afectan la losa en concreto; pueden ser fisuras (si su ancho es menor a 3 mm), grietas de esquina (describe un ángulo mayor a 45° respecto a la dirección del tránsito), grietas longitudinales (paralelas al eje de la calzada), grietas transversales (perpendiculares al eje de circulación de la vía), grietas en los extremos de los pasadores (cercanas al extremo de las dovelas o pasadores), grietas en bloque o fracturación múltiple (unión de

- grietas longitudinales y transversales que forman bloques a lo largo de la placa) y grietas en pozos o sumideros.
- b) Los daños en juntas se clasifican en: separación de juntas longitudinales (abertura en la junta longitudinal del pavimento) y deterioro del sello (desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas).
 - c) Los deterioros superficiales se dividen en: desportillamiento de juntas (desintegración de las aristas de una junta), descascaramiento (rotura de la superficie de la losa hasta un espesor de 5 a 15 mm), desintegración (losa con pequeñas cavidades por pérdida de finos), baches (desintegración de la losa, formando una cavidad de bordes irregulares), pulimento (pérdida de textura superficial que evita la fricción entre el pavimento y los neumáticos), escalonamiento de juntas longitudinales (desnivel de la losa en su junta con respecto a la losa contigua), levantamiento localizado (sobreelevación abrupta de la rodadura), parches (mantenimiento del pavimento original) y hundimiento o asentamiento (depresión de la losa en un área específica).
 - d) En otros tipos de deterioro se presentan: fisuración por retracción o tipo malla (fisuras limitadas sobre la losa), fisuras ligeras de aparición temprana, fisuración por durabilidad (grietas finas, cercanas entre sí), bombeo sobre la junta transversal o longitudinal, ondulaciones (mala nivelación de la losa) y separación entre la berma y el pavimento (Universidad Nacional de Colombia & Instituto Nacional de Vías, 2006b).

2.2.2 Pavimento Flexible

Según lo indicado en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, (1993, p. 36), “los pavimentos flexibles generalmente consisten en una subrasante preparada subyacente a

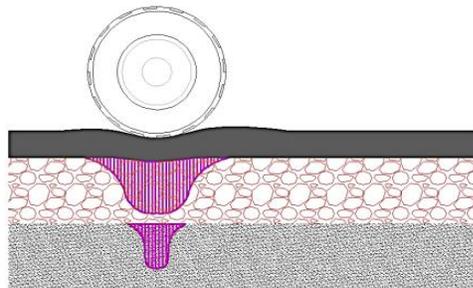
capas de subbase, base y la superficie del pavimento. En algunos casos, la subbase y/o la base se estabilizarán para maximizar el uso de materiales locales”.

El pavimento flexible tiene como principal característica la mayor tolerancia a la deformación. La capa superficial está constituida por materiales visco-elásticos (concretos asfálticos) cuyo objetivo es amortiguar y disminuir los esfuerzos y deformaciones que se dirigen a los materiales granulares (ver figura 2). De acuerdo con la Cartilla guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito y vías locales para la ciudad de Bogotá D.C, las ventajas principales son su facilidad de adaptación a los cambios climáticos y su capacidad de deformabilidad asociada a su naturaleza dúctil (Universidad Nacional de Colombia et al., 2013).

El pavimento flexible se degrada por factores ambientales y por las cargas debidas al tránsito, según lo observado en la figura 2. Frente a esto, se deben disipar los esfuerzos inducidos por el tránsito, garantizando niveles de esfuerzo y/o deformación en el suelo de soporte, que no superen los admisibles (Universidad Nacional de Colombia et al., 2013).

Figura 2

Deformaciones de una estructura de pavimento flexible



Nota. La figura presenta el tipo de deformaciones que sufre un pavimento flexible ante la presencia de cargas. Tomado de *Fig. 2.2.* (Universidad Nacional de Colombia et al., 2013).

De acuerdo con los apuntes de la materia de pavimentos de la Universidad Nacional Autónoma de México (1992), en el diseño de pavimentos flexibles se deben considerar los siguientes seis factores:

Resistencia estructural: Teniendo en cuenta que, desde una mirada estructural, los esfuerzos son la principal causa de falla de un pavimento flexible, es primordial analizar la resistencia de los materiales que lo constituyen, ya que el tipo de suelo y su tratamiento, los efectos de la intemperie, la variación del contenido de agua y el tipo de carga y la velocidad con que se aplica, afectan la capacidad de soporte y transmisión de cargas desde la capa superior hasta la subrasante.

Deformabilidad: Las deformaciones están asociadas a un estado de falla que puede provocar que el pavimento deje de cumplir sus funciones. Las cargas del tránsito generan dos tipos de deformaciones, las elásticas (de recuperación instantánea, que producen falla por fatiga) y las plásticas (que permanecen luego de terminar la causa deformadora).

Durabilidad: Asociada a factores económicos y sociales como el tránsito y el presupuesto disponible para satisfacer la necesidad.

Costo: Un diseño adecuado debe representar un equilibrio entre el cumplimiento de los requisitos de resistencia, estabilidad y costo. Los pavimentos flexibles requieren menor inversión inicial, pero tienen altos costos de conservación.

Requerimientos de conservación: Ligados a factores climáticos, flujo del tránsito, comportamiento de las diferentes capas que componen el pavimento, condiciones de drenaje y subdrenaje y a la degradación estructural de los materiales constituidos por carga repetida.

Comodidad: El proyectista debe considerar que la estética y la velocidad generan un efecto en las reacciones psicológicas del usuario.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base. (Gutiérrez & Arboleda, 2015, p. 21)

Considerando lo indicado por Gutiérrez & Arboleda (2015), los pavimentos flexibles se componen de las siguientes capas (ver figura 3):

Subrasante: Terreno natural que sirve de soporte a las capas de pavimento; debe cumplir con características estructurales que garanticen que los materiales seleccionados que se colocan sobre ella, se acomoden de manera uniforme generando una resistencia homogénea, de modo que se eviten fallas en la capa de rodadura. En algunos casos se debe mejorar, estabilizar y compactar con el fin de obtener la calidad adecuada.

Subbase: Absorbe deformaciones perjudiciales en la subrasante y puede actuar como dren para evitar la llegada de agua que se infiltra por las capas superiores a la subrasante. Su función es mayormente económica debido que corresponde a un material de bajo costo que permite utilizar espesores pequeños que transmiten los esfuerzos transmitidos hacia la subrasante.

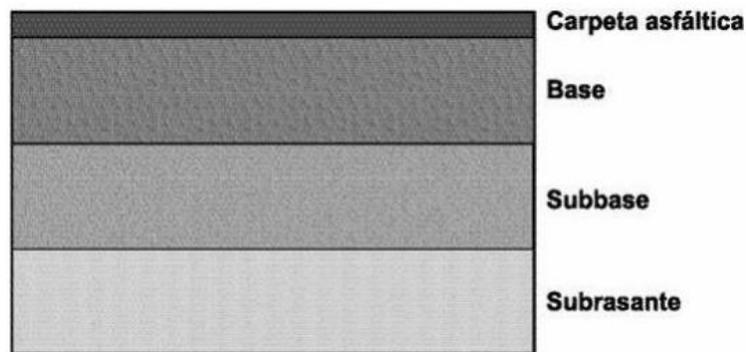
Base: Proporciona un elemento resistente que transmite los esfuerzos producidos por el tránsito hacia la subbase y la subrasante, en una intensidad adecuada. También puede cumplir la función de drenaje al igual que la subbase.

Carpeta asfáltica: Diseñada para proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tráfico e impedir en lo posible, el paso del agua a las capas inferiores. Es la última capa del pavimento que, aparte de impermeabilizarlo y protegerlo, presenta dos características importantes: suavidad para que los

vehículos transiten de manera cómoda y rugosidad, para garantizar seguridad. Esta capa tiene como función principal atenuar los esfuerzos y deformaciones inducidos a la estructura del pavimento y debe cumplir las especificaciones dispuestas en el capítulo 4 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022 (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Figura 3

Esquema representativo de un pavimento flexible



Nota. La figura presenta la estructura de un pavimento flexible. Tomado de *Fig. 1.* (Gutiérrez & Arboleda, 2015).

De acuerdo con la guía para la inspección visual propuesta por el INVÍAS y la Universidad Nacional de Colombia, los tipos de daños que se presentan durante la operación de los pavimentos flexibles son: a) fisuras, b) deformaciones, c) pérdida de capas estructurales, d) daños superficiales y e) otros daños.

- a) Las fisuras pueden ser longitudinales y transversales, en juntas de construcción, por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto (aparecen cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de rígido), fisuras en medialuna (de forma parabólica asociadas a movimientos de la banca), fisuras de borde (ubicadas al borde de la calzada), fisuras en bloque (en áreas no cargadas), piel de cocodrilo (serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, que generalmente aparecen en las

- zonas de carga), fisuras por deslizamiento de capas (debidas a la acción de arranque o frenado de los vehículos) y fisuras incipientes (contiguas y cerradas que no se interceptan).
- b) Las deformaciones contienen ondulación (ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito), abultamiento, hundimiento y ahuellamiento.
 - c) La pérdida de las capas estructurales contiene descascaramiento, baches y parches.
 - d) Los daños superficiales incluyen el desgaste superficial (por la acción del tránsito y agentes erosivos y abrasivos), la pérdida de agregado, el pulimento del agregado, cabezas duras (presencia de agregados fuera del mortero arena-asfalto), exudación (afloramiento del ligante asfáltico, que afecta la resistencia al deslizamiento) y surcos (franjas longitudinales que aparecen donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica).
 - e) Finalmente, en otros daños se agrupan el corrimiento vertical de la berma (elevación entre la calzada y la berma), separación de la berma, afloramiento de finos y afloramiento de agua (líquido sobre la superficie del pavimento sin presencia de lluvia) (Universidad Nacional de Colombia & Instituto Nacional de Vías, 2006a).

2.2.3 Pavimento Articulado

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura de elementos prefabricados denominados adoquines de concreto, que siguen algún patrón modular, empalmados entre sí, sin emplear materiales cementantes para fijarlos (Universidad Nacional de Colombia et al., 2013); su origen se encuentra asociado a los antiguos empedrados.

De acuerdo con Sánchez Castillo (2003), en el diseño de pavimentos articulados, intervienen parámetros como el espesor de los adoquines en concreto, el tráfico, el clima, la subrasante y los materiales granulares no tratados. Este tipo de pavimentos se disponen en el artículo 510-22 (Pavimento de adoquines de concreto) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Los elementos que componen un pavimento articulado, según Sánchez Castillo (2003) son (ver figura 4):

Subbase: Capa que puede o no ser instalada sobre la subrasante, dependiendo de la capacidad portante de la subrasante.

Base: Instalada debajo de la capa de arena, es la encargada de proporcionar la capacidad estructural y el apoyo estable, uniforme y permanente al pavimento.

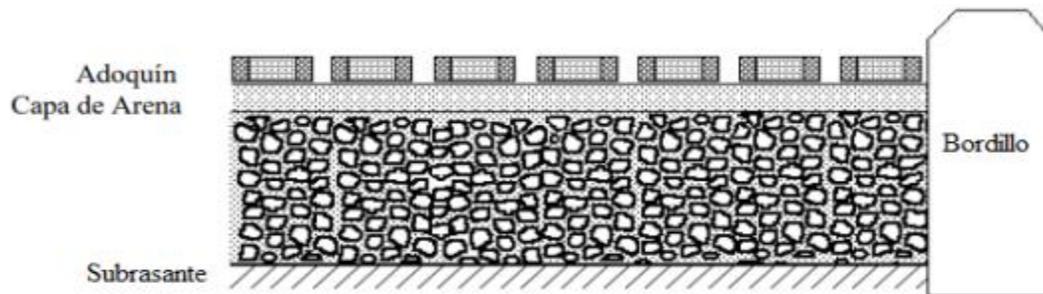
Capa de arena: Arena gruesa de granulometría uniforme donde reposan los adoquines, facilitando su instalación, infiltración y flujo libre de agua. Debe ser de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y cualquier sustancia contaminante. Para su uso, se deben considerar las disposiciones del numeral 510.2.2 del artículo 510-22 (Pavimento de adoquines de concreto) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Sello de arena: Capa de arena fina que se instala con el fin de llenar las juntas entre los adoquines, de acuerdo con las consideraciones del numeral 510.2.3 del artículo 510-22 (Pavimento de adoquines de concreto) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Se encarga de garantizar el buen comportamiento a flexión y la capacidad portante de la superficie del pavimento (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Capa de rodadura en adoquines de concreto: Encargada de recibir directamente las cargas y resistir el desgaste provocado por la abrasión del tráfico y la agresión del clima. Está compuesta por elementos macizos, prefabricados, de espesor uniforme e iguales entre sí, que se sellan y apoyan sobre arena, de manera que actúan de manera conjunta como un material homogéneo y flexible, que combina la durabilidad del concreto con la flexibilidad del asfalto. Los adoquines deben cumplir los requisitos establecidos en las disposiciones del numeral 510.2.1 del artículo 510-22 (Pavimento de adoquines de concreto) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Figura 4

Estructura del pavimento articulado



Nota. La figura muestra la estructura de un pavimento articulado. Tomado de Fig. 3.

(Navas Baquero & Rincón Torres, 2020).

2.2.4 Materiales Convencionales

Los materiales considerados convencionales están constituidos por todos aquellos utilizados de manera tradicional en la construcción de infraestructura vial, los cuales, representan un gasto presupuestal elevado y un impacto negativo significativo al medio ambiente. Estos materiales dependen del tipo de pavimento a emplear en la vía; a continuación, se describen sus principales características:

Pavimentos rígidos: De acuerdo con lo descrito en el numeral 2.2.1 del presente documento, los pavimentos rígidos generalmente se componen de una capa de base granular (estabilizada o no) y una losa en concreto.

2.2.4.1 Base Granular. De acuerdo con la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, consiste en una o más capas de material granular compactado, que se ubica entre la subrasante y la rodadura en concreto, con el fin de cumplir las siguientes funciones: a) proporcionar un soporte uniforme, estable y permanente, b) aumentar el módulo de reacción del sistema, c) minimizar los efectos de los cambios de temperatura, d) evitar el bombeo del material fino sobre las juntas y los bordes de la losa rígida, e) proporcionar un zona de trabajo para la construcción de la rodadura (American Association of State Highway and Transportation Officials., 1993).

Considerando lo expresado en la tabla 330 - 1 del artículo 330-22 (Base granular) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022), existen tres tipos de base granular (A, B y C), que dependen del nivel de tránsito (NT) del proyecto y varían en la calidad de los agregados (NT3, NT2 y NT1, respectivamente).

Es importante tener en cuenta que el NT3 corresponde a las vías con un tránsito de diseño superior a $5,0 \times 10^6$ ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño, el NT2 corresponde a las vías con un tránsito de diseño que fluctúa entre $0,5 \times 10^6$ y $5,0 \times 10^6$ ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño y el NT1 corresponde a las vías con un tránsito de diseño inferior a $0,5 \times 10^6$ ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

De acuerdo con las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, los agregados que componen una base granular,

Deben satisfacer los requisitos de calidad indicados en la tabla 330 – 2 y se deben ajustar a alguna de las franjas granulométricas presentadas en la tabla 330 – 3; salvo que los documentos del proyecto indiquen otra cosa, para NT3, se deben usar bases granulares de gradación gruesa. Cuando los materiales de base no cumplan los requisitos de la Tabla 330 — 2, estos pueden ser tratados con cemento para mejorar sus propiedades”, de acuerdo con lo establecido en el artículo 350-22 (Materiales granulares tratados con cemento como capa estructural). (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022, pp. 320–322).

En una base granular, los agregados gruesos que son retenidos en el tamiz No. 4 (4,75 mm), deben ser resistentes, durables y estar constituidos por fragmentos de roca o grava, debido a que pueden quebrarse o degradarse con los ciclos de humedecimiento y secado. En cuanto a los agregados finos (aquellos que pasan por el tamiz No. 4), deben estar compuestos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por el tamiz No. 200 (0,075 mm); la relación del material que pasa el tamiz No. 200 y el que pasa el No. 40, no debe ser superior a dos tercios ($2/3$) del espesor de capa compactada y su tamaño máximo nominal, no debe exceder un tercio ($1/3$) del mismo espesor, de acuerdo con lo descrito en el artículo 330 (base granular) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Una vez instalada en la vía, a la base granular se le deben realizar los ensayos dispuestos en las tablas 330 - 4 y 330 - 5 del artículo 330-22, con el fin de verificar su calidad y conservación y efectuar control de recibo en la obra. “La capa de base granular terminada, debe presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones”,

según lo descrito en el artículo 330 (base granular) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022, p. 329).

2.2.4.2 Losa en Concreto. Capa de rodadura en concreto hidráulico que se construye de acuerdo con los lineamientos, cotas, secciones, espesores y demás parámetros indicados en su diseño y en los documentos del proyecto. En pavimentos rígidos, se regula a través del artículo 500-22 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

La losa en concreto se compone de los siguientes materiales:

Concreto: Mezcla homogénea de cemento hidráulico (regido por el numeral 630.2.1.1 del artículo 630-22 – concreto estructural), adiciones suplementarias (descritas en el numeral 630.2.1.2 del artículo 630-22), agregados gruesos (de tamaño retenido en el tamiz No. 4, regidos por el numeral 630.2.1.3 del artículo 630-22), agregados finos (reglamentados en el numeral 630.2.1.3.1 del artículo 630-22), agua (de acuerdo con lo establecido en el numeral 630.2.1.4 del artículo 630-22) y adiciones o aditivos complementarios (estipulados en el numeral 630.2.1.5 del artículo 630-22) (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Acero: Material encargado de atender las fuerzas de tracción que el concreto no puede resistir por sí solo y de restringir la aparición y desarrollo de grietas en el pavimento que, pueden afectar su resistencia. Las barras de acero a emplear deben cumplir la NTC 161. Este material está regido por el numeral 630.2.2 del artículo 630 (Concreto estructural) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

En los documentos del proyecto se debe indicar si para la construcción de la losa en concreto, se debe instalar acero para los elementos de amarre o transferencia en las juntas o como refuerzo de las losas. Si se deben instalar sistemas de transferencia, se deben colocar

pasadores (resistentes a la corrosión del ambiente) para garantizar la distribución efectiva de carga entre losas adyacentes. Si se deben instalar barras de amarre, se deben colocar en las juntas o en los sitios donde se muestren en los documentos del proyecto, con el fin de evitar desplazamiento de las losas y abertura de sus juntas. Si se debe colocar refuerzo en las losas, se instalan una o dos parrillas de acero con el fin de controlar la aparición de grietas, de acuerdo con lo enunciado en el artículo 630 (Concreto estructural) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Materiales de separación: Elementos de separación entre las losas y su capa de apoyo, cuyo objetivo es “evitar la adherencia o el reflejo de fisuras de la base en las losas de concreto, o barreras de vapor para impedir la migración de vapor de agua o fluidos que puedan ser perjudiciales al concreto o al acero”, considerando el artículo 500 (Pavimento de concreto hidráulico) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022, p. 713).

Estos materiales pueden ser: plásticos, membranas, antiadherentes, emulsiones, mezclas asfálticas, papel, barreras de vapor, entre otros.

Productos para juntas: De acuerdo con el numeral 500.2.5 del artículo 500 (Pavimento de concreto hidráulico) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, existen 4 tipos de materiales que se pueden instalar entre las juntas de las losas: a) material de sello (sellos elastoméricos, sellos asfálticos aplicados en caliente y sellos preformados), b) tirilla o cordón de respaldo, c) material preformado para juntas de expansión, d) resina polimérica y material para reparación parcial de pavimentos (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Pavimentos flexibles: Tal y como se describió en el numeral 2.2.2, este tipo de pavimentos generalmente se componen de una serie de capas subyacentes de subbase, base (descrita en la sección 2.2.4.1) y rodadura en asfalto.

2.2.4.3 Subbase Granular. De acuerdo con el artículo 320 (subbase granular) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022, p. 308), “se denomina subbase granular a la capa o capas granulares localizadas entre la subrasante y la base granular o la capa estabilizada, en todo tipo de pavimento, sin perjuicio de los documentos le señalen otra utilización”. Según la tabla 320 - 1 del mismo documento, existen tres tipos de subbase granular (A, B y C), que dependen del nivel de tránsito (NT) del proyecto y varían en la calidad de los agregados (NT3, NT2 y NT1, respectivamente).

Los agregados que componen una subbase granular deben cumplir los requisitos dispuestos en las tablas 320 - 2 y 320 - 3 del artículo 320-22, generando un material con curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, con el fin de garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por el mismo artículo y, evitar segregaciones. Es importante tener en cuenta que el artículo 320 (subbase granular) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022, p. 310) establece que:

La relación entre el porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) y el porcentaje que pasa el tamiz de 0,425 mm (nro. 40), no debe exceder de dos tercios ($2/3$) del espesor de la capa compactada, y el tamaño máximo nominal no debe exceder un tercio ($1/3$) del mismo espesor.

Una vez instalada en la vía, a la subbase se le deben realizar los ensayos dispuestos en las tablas 320 - 4 y 320 - 5 del artículo 320-22, con el fin de verificar su calidad y conservación y

efectuar control de recibo en la obra. La capa de subbase granular terminada, debe garantizar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones ni segregaciones (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

2.2.4.4 Mezcla Asfáltica. Entre los materiales convencionales destinados a la construcción de vías se encuentra el asfalto, obtenido de la destilación del petróleo; proceso que genera un impacto negativo al medio ambiente y cuyo residuo es mezclado con materiales alcalinos como cal y arena, generando finalmente un revestimiento utilizado para la pavimentación de vías y calles, cuya apariencia debe ser mejorada cada cierto tiempo debido a que presenta bajas cualidades de resistencia y flexibilidad según lo expuesto por la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento (American Association of State Highway and Transportation Officials., 1993).

La mezcla asfáltica está compuesta por:

Agregados pétreos y llenante mineral: Regidos por el numeral 400.2.1 del artículo 400 (pavimentos asfálticos) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. El agregado grueso corresponde a la porción retenida en el tamiz No. 4; mientras que el agregado fino se compone de la porción comprendida entre los tamices No. 4 y No. 200. El llenante mineral es la porción que pasa el tamiz No. 200 y se incorpora a la mezcla por separado (2022).

Productos asfálticos: Entre los cuales se encuentran: a) cementos asfálticos (regidos por el artículo 410-22), b) emulsiones asfálticas (dispuestas en el artículo 411-22), c) cementos asfálticos modificados con grano de caucho reciclado (descritos en el artículo 413-22), d) cementos asfálticos modificados con polímeros (reglamentados en el artículo 414-22), e) emulsiones asfálticas modificadas con polímeros (de acuerdo con lo expuesto en el artículo 415-

22) y f) asfalto líquido (regido por el artículo 416-22) (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Aditivos mejoradores de adherencia: Dispuesto en el artículo 412 (Suministro de aditivo mejorador de adherencia) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022).

Es importante tener en cuenta que antes de la instalación de la mezcla asfáltica, se debe realizar la aplicación uniforme de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido, artículos 420-22 (riego de imprimación) y 421-22 (riego de liga) sobre la superficie de la base granular terminada, una capa asfáltica o un tratamiento bituminoso, con el fin “de impermeabilizar, cubrir, ligar las partículas sueltas y proveer adhesión entre la capa existente y la capa asfáltica siguiente”, según lo descrito en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022, p. 455).

Las mezclas asfálticas se clasifican en:

Mezcla asfáltica en frío: Dispuesta en el artículo 440-22, en función del tipo de granulometría: Mezcla Densa (MDF) y Mezcla Abierta (MAF) (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Mezcla asfáltica en caliente: De gradación continua, conocida como concreto asfáltico y regida a través del artículo 450-22, en función del tipo de granulometría: Mezcla Densa (MDC), Mezcla Semidensa (MSC), Mezcla Gruesa (MGC) y Mezcla de Alto Módulo (MAM) (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Mezcla abierta en caliente: Dispuesta en el artículo 451-22 y clasificada de acuerdo con las gradaciones de sus agregados (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Mezcla discontinua en caliente: Conocida como microaglomerado en caliente, que se coloca en caliente sobre un pavimento existente a través de las disposiciones encontradas en el artículo 452-22 (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Mezcla drenante: Preparada e instalada en caliente, de acuerdo con las especificaciones dispuestas en el artículo 453-22 (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

Pavimentos articulados: Descritos en el numeral 2.2.3 del presente documento, se componen de los siguientes materiales convencionales:

2.2.4.5 Adoquines. Elementos rectangulares en concreto que generalmente tienen las siguientes medidas: 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 8 cm de espesor, aunque ésta última puede variar siempre y cuando cumpla con los requisitos de calidad dispuestos en la tabla 510 – 1 del artículo 510-22 del (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

2.2.4.6 Arena. En los pavimentos articulados se contemplan dos tipos de arena: a) arena para la capa de soporte, que debe atender las consideraciones dispuestas en las tablas 510 – 2 y 510 – 3 del artículo 510-22 y, b) arena para el sello, que se rige por las tablas 510 – 3 y 510 – 4 (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

2.2.5 *Materiales No Convencionales*

Diariamente se propende por utilizar materiales reciclados para hacer que la construcción sea más limpia, sostenible y beneficie aspectos económicos y ambientales. Según Saberian et al., (2018), la utilización de ciertos materiales reciclados se considera como una solución al impacto ambiental y al uso indiscriminado de los recursos naturales que se usan en la construcción de pavimentos.

Entre los materiales no convencionales planteados como alternativa de reemplazo de los agregados naturales utilizados tradicionalmente se encuentran: Agregados de Concreto Reciclado

(RCA), llantas, Vidrio Triturado (CG), Mampostería Triturada Reciclada (RCM), yeso fosforado, entre otros. Mohajerani et al. (2020), resaltan el gran impacto que causan los desechos de neumáticos al medio ambiente, teniendo en cuenta que, debido a sus componentes, tienen un proceso de descomposición supremamente lento que genera contaminación en los suelos, el agua y el aire.

Cada año en Estados Unidos y Australia, se desechan aproximadamente 4 y 0,5 millones de toneladas de neumáticos respectivamente. Recientemente, las llantas se están utilizando en proyectos de construcción; por un lado, en la parte de infraestructura vial para terraplenes, estabilización de taludes y construcción de pavimentos y, por otro, como relleno ligero para muros y material de drenaje de lixiviados (Saberian et al., 2019).

Adicionalmente, los lugares destinados a la acumulación de residuos quedan totalmente contaminados y estériles. De acuerdo con la investigación de Arulrajah et al., (2020), son muchos los desechos de construcción que se disponen en lugares sin los respectivos permisos ambientales y en la mayoría de los casos, el almacenamiento de los mismos se realiza en lugares cerrados en donde se generan emisiones de gases. En otros casos, se realiza la combustión de desechos generando vapores tóxicos que contienen sustancias como monóxido de carbono, dióxidos, cloruros, hidrocarburos, entre otros; que son sumamente peligrosos para la salud de los seres vivos.

Por ello, en algunos países europeos se estudian actualmente las aplicaciones geotécnicas de neumáticos en actividades constructivas tales como estabilización de suelos, agregados para subbase y base de pavimentos, materiales de relleno, capas de sub-balastro ferroviario, sistemas de aislamiento sísmico, mantenimiento ferroviario y terraplenes (Mohajerani et al., 2020).

Ahora bien, no solo los neumáticos pueden ser considerados materiales no convencionales idóneos, si de utilidad y aprovechamiento se trata, en la fabricación del vidrio, es necesario el uso de recursos naturales y sus residuos también son uno de los grandes desechos que generan contaminación. Anualmente se desechan 15, 10 y 1 millón de toneladas de vidrios en la Unión Europea, Estados Unidos y Australia, respectivamente según lo exponen (Saberian et al., (2019); quienes han investigado la aplicabilidad del vidrio triturado mezclado con otros materiales reutilizados, para usarse como subbase y base granulares.

Asimismo, en países europeos se está investigando el uso de agregados de mampostería triturada para su aplicación en subbase de pavimentos. En algunos de estos países se permite utilizar hasta un 30% de mampostería triturada en mezclas para subbase, sin embargo, en Australia solo se permite hasta un 20% (Azam & Cameron, 2013).

Además de lo anteriormente expuesto, según Li et al., (2018), cada año se desechan alrededor de 8,7 millones de toneladas de hormigón triturado en Australia; que representan el 80% de los desechos industriales. Esta estadística indica que el reciclar este tipo de material puede ayudar a minimizar la huella de carbono hasta en un 65%, reduciendo de manera trascendental la explotación de recursos naturales.

Considerando que el pavimento flexible consiste en la aplicación de capas de asfalto sobre capas granulares conocidas como base y subbase y, que éstas tienen como función, soportar las cargas del tráfico y resistir la deformación permanente; es importante resaltar que este tipo de deformación de las capas granulares es muy baja durante cada ciclo de carga, sin embargo, el acopio de éstas puede formar una gran cantidad de surcos que deterioran el pavimento y que a largo plazo pueden generar problemas de conducción, maniobrabilidad y

accidentes. Por lo cual es muy importante utilizar materiales granulares muy fuertes, que puedan sostener todas las deformaciones permanentes que se generen (Saberian et al., 2018).

Frente a lo anterior, a continuación, se procede a exponer algunos materiales no convencionales de posible uso en el desarrollo de infraestructura vial sostenible, mediante la evidencia de los estudios y experimentaciones realizadas en los últimos años.

2.2.5.1 Agregados de Hormigón Reciclado con Agregados Derivados de Llantas. Se

realizaron ensayos de laboratorio para determinar la viabilidad técnica de usar mezclas de Agregados de Hormigón Reciclado (RCA) con 3 tamaños diferentes de Agregados Derivados de Llantas (TDA) (pequeño – entre 1 y 3 mm -, mediano – entre 2 y 4 mm – y grande – entre 8 y 15 mm -). Entre los ensayos realizados se encuentran: distribución de tamaño de las partículas (granulometría), PH, índice de plasticidad, contenido orgánico, abrasión en máquina de Los Ángeles, densidad, absorción de agua, índice de descamación, compactación modificada, relación de carga de California (CBR), permeabilidad, deformación permanente y pruebas de carga triaxial repetida (Arulrajah et al., 2019).

Luego de realizar las experimentaciones surgieron los siguientes resultados: en cuanto a las curvas de gradación de las mezclas evaluadas, se observó que el RCA mezclado con 1%, 2% y 3% de TDA, se encuentra dentro de los límites reglamentados para la utilización de materiales de subbase en Australia; exponiendo que dicha mezcla tiene una menor rotura de partículas en comparación con la rotura de las mezclas conformadas únicamente por RCA; demostrando con ello la versatilidad y utilidad que se puede obtener de materiales reciclados y dando un uso importante a una cantidad considerable de desechos que se generan a nivel mundial (Arulrajah et al., 2019).

En cuanto a la densidad seca máxima se logró comprobar que se redujo al agregar derivados de llantas, pero el contenido de humedad óptimo permaneció generalmente constante. Tanto las mezclas realizadas con Agregados de Hormigón Reciclado como las formadas con TDA, permanecieron en un rango de densidad seca máxima entre el 96% y 100%. Por otro lado, se demostró que los tamaños más grandes de los agregados derivados de llantas cuentan con una mejor abrasión en las mezclas, respecto a los otros tamaños (Arulrajah et al., 2019).

Por su parte, Park (2003) muestra que las condiciones de estabilidad y resistencia del RCA en condiciones secas, son mejores que las de la grava y la roca triturada; de igual manera, la deflexión del RCA es similar a la de la roca triturada, con lo cual se puede disponer del RCA, ayudando a la minimización del impacto al medio ambiente, ya que aporta valores similares o superiores a los agregados comúnmente utilizados en las capas granulares de los pavimentos.

Asimismo, todos los valores de CBR de las mezclas cumplieron con los requisitos mínimos de la autoridad vial local de Australia.

Respecto a los resultados de deformación permanente de las muestras, se observó un comportamiento estable durante las tres fases de carga. La deformación permanente máxima fue de 2,5%, la cual está por debajo del límite de falla recomendado por Austroads, según Arulrajah et al., (2019).

Ahora bien, además de lo anteriormente expuesto, Arulrajah et al., (2019) indicaron que el Módulo Resiliente (MR) se midió bajo 65 combinaciones diferentes de confinamiento y tensiones axiales; la poca absorción de las muestras y la dinámica propia de la carga, provocaron la cohesión adicional de la fuerza de succión a un contenido de humedad más alto. En general hubo un aumento en los valores de MR en mezclas con RCA, los cuales se obtuvieron con un nivel de carga más alto.

De acuerdo con los resultados mencionados anteriormente y a lo planteado por Saberian et al., (2018), los TDA se pueden implementar en actividades de pavimento, reduciendo considerablemente el desecho de neumáticos y orientándolos a la industria de la construcción, ya que éstos ofrecen resistencia al impacto, agregando mayor rendimiento a la fatiga de la base y subbase de los pavimentos. La incorporación de este material no convencional en la aplicación de proyectos de infraestructura vial, resalta la importancia y necesidad que varios países le han dado al cuidado y preservación del medio ambiente, al estudiar las aplicaciones para base y subbase granulares, que tienen muchos de los desechos generados a diario, minimizando en gran medida la huella de carbono generada por este subsector de la construcción (Mohajerani et al., 2020).

Con base en lo anterior, Mohajerani et al., (2020), demostraron a través de estudios en modelado de elementos finitos que, en promedio, las mezclas para subbase que contienen material de neumáticos triturados reducen la aceleración horizontal del suelo en un 60-70% y la aceleración vertical del suelo en un 80-90%. De igual manera, concluyeron que el uso de llantas enteras en terraplenes ayuda a la reducción del asentamiento vertical de la deformación horizontal y aumenta la capacidad de resistencia del suelo.

Sin embargo, de acuerdo con los estudios realizados por Ossa et al., (2016), el uso de únicamente RCA no es viable, debido a su susceptibilidad a la humedad, que puede generar daños por deformaciones plásticas; por lo que es necesario mezclarlo con otros elementos reciclados, para asegurar su uso y posibilitar mejores resultados.

2.2.5.2 Vidrio Triturado con Neumático Granulado que contiene Agregados de Hormigón

Reciclado y Roca Triturada. Saberian et al., (2019) han realizado un estudio para analizar el comportamiento del vidrio triturado sobre las propiedades geotécnicas de neumáticos granulados junto con hormigón reciclado y roca triturada.

En este estudio se utilizó Vidrio Triturado (CG), Neumático Granulado (R), Roca Triturada (CR) y Agregados de Hormigón Reciclado (RCA) para la realización de ensayos de densidad, humedad, compactación, Módulo Resiliente, compresión y CBR.

De acuerdo con los resultados obtenidos, Saberian et al., (2019), exponen que el CG, en las cantidades utilizadas, se considera como un material poco permeable, ya que se deja manejar con diferentes contenidos de agua sin alterar los resultados cuando se compacta. Adicionalmente las partículas finas del vidrio triturado ayudan a llenar vacíos de los otros agregados utilizados. Por otro lado, se pudo concluir que todas las mezclas cumplieron con el valor mínimo del CBR para bases granulares (80%), establecida por la legislación australiana.

En cuanto a las relaciones carga/desplazamiento de las mezclas de CR y RCA, a medida que se incrementó el contenido de CG, la carga de compresión máxima aumentó.

Saberian et al., (2019) expusieron lo siguiente frente a los resultados de prueba de compresión no confinada; el uso del 1% de R, disminuyó de forma considerable los valores para la mezcla con CR, pero no afectó de forma significativa la mezcla con RCA; de igual manera la aplicación de mayor porcentaje de CG, incrementó la resistencia a la compresión.

Ahora bien, respecto a la prueba de MR, Saberian et al., (2019) concluyeron que, al incrementar el contenido de CG, el MR de las mezclas aumentó, generando un mayor efecto en aquellas que contenían RCA; lo que se atribuye a la disminución de la porosidad de los agregados al adicionarse CG.

Del trabajo realizado por Saberian et al., (2019), se puede concluir que el vidrio es un material que se puede incluir en pequeñas proporciones a las mezclas de base y subbase granulares, ya que, reduce la porosidad de la mezcla y al unirse con RCA y R, se genera mayor resistencia y rigidez en los materiales granulares para uso en infraestructura vial.

Además de lo anteriormente expuesto, Saberian et al., (2019) concluyeron que los datos obtenidos, demuestran viabilidad para aceptar el MR y la deformación permanente generada por la unión de CR y RCA junto con caucho y CG para aplicaciones de base y subbase granulares, indicando que se debe en próximas investigaciones, evaluar la gradación de las muestras antes y después de la compactación y valorar los efectos de altas cantidades de CG en las propiedades geotécnicas de la mezcla obtenida.

Por otra parte, de acuerdo con Li et al., (2018), el uso de R en proporciones apropiadas, provee una buena resistencia en suelos saturados, mayor fortaleza al impacto, posibilitando deformaciones significativas sin disgregar los agregados con los cuales es mezclado. Adicionalmente, al agregar mayor porcentaje de neumático reciclado se evidenció una disminución de la resistencia a la flexión y a la compresión; pero se notó un aumento de la deformación y la deflexión máxima; lo cual, a la larga, resulta beneficioso aplicando las cantidades adecuadas.

2.2.5.3 Agregados de Hormigón Reciclado con Mampostería Triturada Reciclada.

De acuerdo con Azam & Cameron (2013), en estudios anteriores se determinó que la Mampostería Reciclada (RCM) junto con la Roca Triturada (CR), cumplen con los criterios mínimos de la legislación australiana para su utilización como material de subbase de pavimentos; de lo cual se concluyó que el Agregado de Arcilla Reciclada (RCM) debe mezclarse con otros agregados reciclados para facilitar su manejo, rendimiento y posterior uso como subbase, en proporciones iguales o inferiores al 25%.

En su estudio, Azam & Cameron (2013) mezclaron Agregados de Hormigón Reciclado (RCA) junto con RCM (una mezcla denominada RCO, que estuvo conformada por 20% de RCM y 80% de RCA y la otra mezcla, denominada ARR, que consistió en la combinación premezclada de RCA y RCM), que generaron dos productos a los que se le realizaron ensayos de distribución del tamaño de las partículas (granulometría), gravedad específica, absorción de agua, abrasión en la máquina de los Ángeles, límites de Atterberg, compactación modificada, contenido de cal libre e hidráulica conductiva.

Azam & Cameron (2013) compararon cada mezcla según la distribución de los tamaños de sus partículas, con las especificaciones técnicas del material de subbase granular reglamentado (DTEI 2001), obteniendo que la granulometría de ambos productos cumplía con la legislación australiana.

Según Azam & Cameron (2013), la abrasión de ambos productos cumplió la especificación del Departamento de Transporte, Energía e Infraestructura de Australia Meridional (DTEI-SA) para materiales de subbase. En cuanto a las pruebas de tensión-deformación, se observó que con un 80% de contenido de humedad óptimo, la mezcla ARR tenía dos veces más resistencia que la mezcla de RCO.

Los valores del ángulo de fricción para las dos mezclas alcanzaron la especificación DTEI-SA para material de base (45°), a excepción del valor del ángulo de fricción para la mezcla de RCO preparada al 77% de contenido de humedad óptimo, que fue solo 1° menor que la especificación. La cohesión máxima permitida de 150 kPa para la base granular se cumplió en las dos mezclas. El ensayo de resistencia al cizallamiento en las dos mezclas mostró que es inversamente proporcional al contenido de humedad relativa. Los promedios de las pruebas de succión matricial y humedad del suelo indican en la mezcla de ARR que cuando las succiones matriciales bajan, el contenido de humedad aumenta, pero posteriormente las succiones matriciales incrementan contiguamente.

Ahora bien, según lo expuesto por Azam & Cameron (2013) con la mezcla RCO, se apreciaron grandes pérdidas de succión matricial para dos de las tres muestras objetos de este estudio, sin embargo, el contenido de humedad no se vio muy perjudicado por el cizallamiento de las muestras.

De la investigación realizada por Azam & Cameron (2013), se concluye que la mezcla de RCM con RCA, puede ser utilizada de manera efectiva para la subbase de pavimentos, en proporciones de 20% y 80% respectivamente.

2.2.5.4 Reciclaje de Pavimentos. Como alternativa para mejorar el estado de las vías con pavimento flexible existente, la investigación de Chandra & Behl (2019) consideró el reciclaje en frío in situ incorporando betún espumado.

Chandra & Behl (2019) utilizaron el aglutinante VG-30 (betún espumado) y pavimento reciclado pulverizado para la mezcla y posterior obtención de un nuevo asfalto. Luego se utilizó la maquinaria correspondiente para compactar la capa asfáltica aplicada y finalmente realizar un

proceso de curado que fue ejecutado en un periodo entre 48-72 horas, en el cual se aplicó agua en intervalos de 6-7 horas.

Según Chandra & Behl (2019), evidentemente el reciclaje del pavimento existente minimizó el uso de maquinaria, tiempo y materiales, lo cual resulta beneficioso a largo plazo en cuanto a los costos y el uso de componentes extraídos de la naturaleza. La aplicación del betún espumado posibilitó el uso del 80% de pavimento en frío, lo que, a su vez, redujo el uso de betún tradicional en un 60%.

Otra de las ventajas de la aplicación de este método de investigación, es la reducción de emisión de 40 toneladas de CO₂ (dióxido de carbono) por kilómetro, lo cual beneficia al medio ambiente.

En Colombia, a partir de la actualización de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras en mayo de 2022; se incluyeron 2 artículos asociados a este tipo de materiales no convencionales:

Artículo 461-22 - Reciclado de pavimento asfáltico in situ empleando ligantes bituminosos:

Consiste en el acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, la eventual adición de nuevos materiales pétreos, agua, mejoradores de adherencia, controladores de rotura, puzolanas y otros elementos de aporte, así como la incorporación de emulsión asfáltica o cemento asfáltico espumado y la mezcla, la extensión, la compactación y el curado de los materiales tratados, de acuerdo con los documentos del proyecto. (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022, p. 636)

Artículo 462-22 – Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente:

Consiste en el acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, siempre y cuando estos no hayan sido rechazados a causa de la baja calidad de sus componentes o de la mezcla misma, la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos de adición y con material bituminosos de adición y, de ser necesario, agentes rejuvenecedores y/o aditivos. (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022, p. 656)

Los tipos de mezclas asfálticas que se elaboran a través del reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente se disponen en el artículo 450-22 (Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (2022).

Con base en los resultados descritos, es posible establecer que la reutilización de materiales de desecho tales como vidrio, neumáticos, residuos de demolición y mampostería e incluso asfalto reciclado, pueden servir como material de reemplazo en los procesos de construcción de infraestructura vial, representando un paso trascendental en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en el uso indiscriminado de recursos naturales.

A continuación, se presenta en la tabla 1 los materiales nombrados en los estudios anteriormente expuestos con el propósito de evidenciar de manera más clara sus cualidades.

Tabla 1

Materiales no convencionales

MATERIAL	SIGLA	PROPIEDADES
-----------------	--------------	--------------------

Vidrio Triturado	CG	Resistencia a la humedad y altas temperaturas. Unido con RCA y R, aumenta la resistencia y rigidez de los materiales granulares.
Mampostería Triturada Reciclada	RCM	Relleno y aumento de densidad. Mezclada con RCA en proporción 0,2:0,8 respectivamente, puede ser usada como subbase granular.
Neumático Granulado	R	Agregado para pavimentación elástica y duradera. Reduce la aceleración vertical y horizontal del suelo.
Roca Triturada	CR	Resistencia a la compactación.
Agregados de Hormigón Reciclado	RCA	Mayor estabilidad y resistencia que agregados comúnmente usados. Debe ser mezclado con R para evitar deformaciones plásticas.
Betún espumado	VG-30	Aglutinante que, unido con pavimento reciclado, reduce la emisión de 40 Ton de CO ₂ /Km.

2.3 Sostenibilidad en Infraestructura Vial

La infraestructura vial es un punto clave para conectar diferentes territorios, sin embargo, existen aspectos negativos a nivel ambiental ya que los recursos no son aprovechados de una manera eficiente, y se modifica el paisaje sin pensar en la trasgresión a corto y largo plazo del ambiente; por ello la sostenibilidad consiste en la integración de los aspectos económicos, ecológicos y sociales, fundamentados en el “sistema humano y ecológico que permite mejorar y desarrollar la calidad de vida, manteniendo, al mismo tiempo, la estructura, las funciones y la diversidad de los sistemas que sustentan la vida” (Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015, p. 4), en lo que concierne a la reducción de los impactos al medio ambiente, a través de la utilización de diferentes materiales, modificación de procesos de construcción tradicionales y unión de todos los actores que intervienen en el ciclo de vida de un proyecto.

Dentro del progreso de la sociedad y la expansión de los territorios que la misma abarca, uno de los pilares fundamentales de tal avance es la comunicación entre los diferentes centros poblacionales, por ende, la construcción de una infraestructura capaz de brindar la movilidad necesaria para realizar un transporte efectivo de personas y carga, ha sido una necesidad para la humanidad desde la antigüedad, pero esto supone varios retos. No únicamente en el ámbito del diseño y la construcción, sino en lo que respecta al impacto que estos procesos causan en el medio ambiente, siendo una de las principales fuentes de contaminación en la actualidad debido diferentes factores; primero se encuentran los materiales implementados en la construcción de infraestructura vial, los cuales involucran recursos naturales que se encuentran en la Tierra; la producción de dichos materiales, en primera instancia gasta paulatinamente los recursos necesarios que claramente no son renovables, y en una segunda instancia generan contaminación al producir desechos que van a la atmósfera intensificando el cambio climático.

Igualmente, la construcción de las vías también genera desechos, las maquinarias y los procesos de implementación de los materiales genera un impacto ambiental en los territorios en los cuales se realiza la obra, los gases y materiales que son desechados en medio de la construcción generan problemáticas en los ecosistemas.

Los impactos que genera la infraestructura vial al recurso hídrico consisten en el aporte de elementos de diferentes materiales a la escorrentía la cual puede captar del material particulado la contaminación proveniente de los vehículos y todo aquello que se adhiera a la superficie del suelo artificial. (Perdomo, 2014, p. 36)

Al observar el funcionamiento de un ecosistema se hacen notables diferentes relaciones que lo componen; cuando un proyecto vial se desarrolla, genera un impacto en dichas relaciones, produce una interrupción de cadenas tróficas e incluso puede impedir la comunicación entre las

relaciones reproductivas de muchas especies (Zapata, 2017); por ende, se pueden inferir las afectaciones que la construcción de vías genera en el enfoque ambiental incluyendo la alteración del paisaje natural, la afectación en las relaciones ecosistémicas, la contaminación por desechos (producto de las maquinarias usadas o de la misma acción de construir) y también un impacto en el uso de los recursos naturales, debido a los materiales implementados para la realización de estos proyectos.

Es en este punto donde aparece una necesidad en el sector de la construcción y es el desarrollo de la sostenibilidad en la infraestructura vial, es decir, que se debe repensar y reformular la forma en cómo se diseñan y construyen las vías con el fin de reducir de manera significativa los impactos al medio ambiente, buscando disminuir factores como la creación de desechos contaminantes o el consumo desmedido de recursos naturales.

Lo anterior obliga entonces a dar una mirada a las alternativas que se tienen dentro de la construcción de vías, para así cambiar de manera positiva dicho proceso, ejemplo de esto podría ser la utilización de materiales reciclados que cumplen con la función de los materiales que normalmente se usan, pero que generan un impacto mucho menor al medio ambiente.

2.3.1 Antecedentes

La infraestructura vial, además de ser un componente de especial relevancia en el desarrollo estructural de una ciudad, es un negocio de gran magnitud en la industria de la construcción, y es de allí donde deviene el modelo de sostenibilidad, pues, dicho concepto fue planteado para el desarrollo ambiental y económico.

Jiménez (2002, p. 1) define que “la sostenibilidad y el desarrollo sostenible, conceptual y estratégicamente, se entienden mejor como procesos de cambio, adaptación, autoorganización y equilibrios permanentes para ajustar las relaciones de los sistemas ecológicos, económicos y

sociales dentro de un sistema global y único”. Entonces la sostenibilidad como concepto puede ser definida como un sistema de equilibrio que permite suplir las necesidades presentes sin arriesgar los recursos necesarios para suplir las necesidades futuras, mediante el cambio y el control en los sistemas económicos que perpetúan el consumo de los bienes naturales.

Es importante señalar que la sostenibilidad, en general, no es exactamente sinónimo de desarrollo sostenible. Se podría distinguir así la sostenibilidad como un principio funcional (o conjunto de principios) aplicables a determinados sistemas, mientras que el desarrollo sostenible se puede identificar mejor como una opción que incluye objetivos sociales y de satisfacción de necesidades. (Jiménez, 2002, p. 2)

Ahora bien, la sostenibilidad en el sector empresarial según Garzón & Ibarra (2014, p. 1) “se ubica en la primera conferencia mundial sobre el medio ambiente realizada en Estocolmo, organizada por la ONU en 1972. El mismo año se crea el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)”;

más tarde en 1976 se definen en Francia las indicaciones y directrices para las multinacionales por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

En 1985, se desarrolló el Congreso de Viena en pro de la protección de la capa de ozono, y en 1987 se establecieron los límites de emisión de gases así como las sanciones y regulaciones para la protección de la capa de ozono y el medio ambiente para las empresas; poniendo en el mapa, un nuevo modelo de industria con una perspectiva de secuelas ambientales medidas y controlables, para más tarde, en 1992 llevar a cabo la CNUMAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo) donde se firma la convención de Río sobre medio ambiente y desarrollo sostenible, aceptando con dicha firma los siguientes acuerdos: el

convenio sobre la diversidad biológica, la agenda 21, la convención macro sobre el cambio climático y la declaración de principios sobre los bosques.

Mas tarde, en 1997 se realiza el protocolo de Kioto dirigido a incentivar el desarrollo sostenible, buscando limitar y reducir las emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera, todo ello llevó a que en 1999 se creara el Pacto Mundial de las Naciones Unidas y los diez principios de la ciudadanía corporativa, derechos humanos, relaciones laborales, protección ambiental y lucha contra la corrupción; sumado a una serie de grandes eventos, acuerdos y convenciones, llevaron a que los primeros 10 años del siglo 21, marcaran el camino hacia la cumbre G20 donde se firmaron los siguientes acuerdos para la responsabilidad empresarial:

Triplicar los recursos para el Fondo Monetario Internacional; apoyo al crédito, al crecimiento y al empleo a escala mundial; expansión fiscal para crear empleos; transición hacia la economía verde; establecer el Consejo de Estabilidad Financiera; ampliar la regulación y supervisión a instituciones financieras, incluyendo fondos de alto riesgo (Hedge Funds); no elevar nuevas barreras a las inversiones o al comercio; no imponer nuevas restricciones a la exportación y fin al secreto bancario. En el mismo año, se desarrolla la XV Cumbre de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. (Garzón & Ibarra, 2014, p. 2)

De allí surge el término economía verde, al lograr avenencia de 20 representantes de inversores institucionales pertenecientes a 12 países distintos, interesados en generar un modelo sostenible de negocio que limitara la producción de carbono, regulara la generación de productos reciclables, biodegradables y eco amigables, a partir de lo mencionado por Jiménez (2002, p. 3):

La sostenibilidad ecológica-ambiental es una condición necesaria, pero no suficiente, para lograr el desarrollo sostenible del sistema humano, porque si simultáneamente, no se

logra especificar qué tipo de sostenibilidad socioeconómica es necesaria para complementar la del entramado natural, no será posible definir un proceso de desarrollo, siendo bio-físicamente sostenible.

No basta la delimitación de los bienes naturales consumibles para el desarrollo de la industria, la creación de proyectos de reabastecimiento, poblamiento, cuidado y reproducción de dichos bienes, así como tampoco importa el número de empresas colaboradoras, si no se hace un cambio en los procesos de producción económica. Entonces, ¿qué requiere la sostenibilidad como un modelo económico?, desde la década de los 2000 se ha generado una cultura empresarial de inversión y desarrollo de nuevas tecnologías, llamada tecnologías sostenibles, que están enfocadas a la producción de elementos duraderos con materiales de bajo costo, que no repercutan un impacto en las personas ni afecten al planeta en términos medio ambientales.

2.3.2 *Proyectos Sostenibles*

Parte de la sostenibilidad se puede establecer a partir de la utilización de materiales que no generen un alto impacto en el ambiente, puesto que la construcción de una vía tiene muchas implicaciones, no solo en factores como su estructura, accesibilidad, calidad de servicio, conectividad, eficiencia, adaptación, sino también en la forma en cómo se modifican los espacios a nivel social, territorial y cultural, por ello la sostenibilidad “aumenta la dinámica y complejidad de los proyectos, conllevando a nuevos enfoques en el diseño de las organizaciones de proyectos tales como la integración, la asociación y potenciación” (Porrás, 2017, p. 6).

Es evidente y necesario tener en cuenta que este proceso es una forma de contribuir a mejorar y avanzar en las nuevas dinámicas de las generaciones futuras sin generar impactos en los que se modifiquen los espacios al punto que sean inexistentes; cabe resaltar que en la sostenibilidad se adaptan las políticas ambientales, se mejora la gestión de proyectos y se

incorporan aspectos que se traducen en la minimización de la utilización de nuevos recursos, de acuerdo con el ciclo de vida del proyecto.

En lo referente a la medición y reportes sobre la sostenibilidad en la gestión de proyectos, el conjunto de indicadores de sostenibilidad más conocido es el establecido en la Guía para la Elaboración de Memorias de Sostenibilidad - G4 de Global Reporting Initiative (GRI). Probablemente este conjunto resulte extenso para su aplicación en los proyectos, sin embargo, los gerentes de proyectos pueden realizar una selección de los mismos para incluirlos en los procesos de monitoreo y control de su proyecto (Porrás, 2017).

Los proyectos sostenibles son la forma de mitigar “la ausencia de criterios de sostenibilidad, especialmente en las decisiones sobre el desarrollo de las infraestructuras económicas”(Jaimurzina & Sánchez, 2017, p. 9), por ello existen tres dimensiones que proporcionan un mejor entendimiento y eficacia a la hora de crear un proyecto de sostenibilidad en la construcción vial: dimensión económica, en la que se hace referencia a la reducción de costos y uso de factores de producción, además de mantener un proceso de desarrollo óptimo y maximizar el bienestar humano, pensando en la rentabilidad de la vía y mejorando la productividad económica del país. Otra dimensión es a nivel social puesto que en ella se establecen derechos del ser humano y se reconoce de forma equitativa los bienes comunes y las conexiones culturales en las que puede existir una gran variedad de proyecciones económicas y en las que se garanticen servicios de calidad dentro de la infraestructura. Por último, se encuentra la dimensión ambiental, que propone un equilibrio en relación a la armonía entre los seres que habitan el planeta y el medio ambiente, contribuyendo a que se puedan desarrollar las actividades que se despliegan en la sociedad sin comprometer las futuras generaciones, adecuando y aprovechando los recursos del entorno.

En la construcción de proyectos de infraestructura vial sostenible se necesita tener presente algunos aspectos relacionados con el pensamiento sistémico teniendo en cuenta “las características ambientales que rodean a una obra y el impacto potencial de la construcción en el medio ambiente” (Porrás, 2017, p. 12). Por esta razón, los gerentes de proyectos tienen el compromiso y responsabilidad de transformar los estándares de construcción vial que no están pensados en el bienestar ambiental, y organizarlos de tal forma que se generen modelos que satisfagan tanto el aspecto ambiental como el económico y social.

2.3.3 Sistemas de Certificación

De acuerdo con Mata (2017), un sistema de certificación de sostenibilidad permite corroborar que un proyecto, producto o servicio cumple con una serie de estándares, normas o criterios definidos, ofreciendo cualidades medioambientales asociadas a parámetros de ciclo de vida. A través de este tipo de certificaciones un tercero le otorga a un proyecto, producto o servicio, una garantía de su calidad ambiental, equidad social y prosperidad económica.

Cabrera (2021) indicó que para la Federal Highway Administration (FHWA), la implementación de los sistemas de certificación permite tener una línea de referencia, que además de diagnosticar el estado actual de la infraestructura, promueve la utilización de buenas prácticas, haciendo que las herramientas de calificación sean antes de cambio que difundan nuevas ideas y generen nuevos patrones de comportamiento hacia la cultura de la sostenibilidad.

A continuación, se enuncian los principales sistemas de certificación para proyectos de infraestructura vial en el mundo, propuestos por Ordóñez Díaz & Meneses Silva (2015):

2.3.3.1 Certificación GREENROADS. Propuesta por la Universidad de Washington (UW) y la firma de ingeniería CH2M Hill en 2010 (Zambrano, 2018).

A través de la valoración de 12 requerimientos obligatorios y 49 opcionales, este sistema de certificación evalúa de manera holística los tres pilares de la sostenibilidad mediante 6 categorías: Medio Ambiente y Agua (EW), Actividades de Construcción (AC), Materiales y Diseño (MD), Utilidades y Controles (UC), Acceso y Habitabilidad (AL) y Creatividad y Esfuerzo (CE); asignando a cada criterio un puntaje que al ser sumado en conjunto permite establecer uno de los siguientes niveles: Bronce (40 puntos), Plata (50 puntos), Oro (60 puntos) y Evergreen (80 puntos) (Cabrera, 2021).

2.3.3.2 Certificación GREENLITES. En el año 2008 la Federación de Carreteras de la Unión Europea creó esta certificación con el fin de promover el transporte y las carreteras sostenibles como opción para disminuir los efectos negativos que se generan con la creación de nuevos proyectos de infraestructura vial (Zambrano, 2018).

Esta certificación evalúa 5 criterios: Sitios Sostenibles, Calidad del Agua, Materiales y Recursos, Energía y Medio Ambiente e Innovación y, propone 4 niveles de certificación: Certified (33%-67%), Silver (67%-90%), Gold (90%-98%) y Evergreen (>98%) (Villarreal, 2019).

2.3.3.3 Certificación CEEQUAL. El Instituto de Ingenieros Civiles y el gobierno del Reino Unido publicaron en el año 2004 la certificación CEEQUAL con el fin de medir la sostenibilidad económica, ambiental y de responsabilidad social en proyectos de infraestructura, de acuerdo con 9 criterios y 48 subcriterios, en las que se involucran a los tres interesados en un proyecto: diseñadores, contratistas y clientes (Villarreal, 2019).

De acuerdo con (Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015), la certificación CEEQUAL evalúa los siguientes criterios: Estrategia del Proyecto, Gestión de Proyectos, Población y Comunidades, Uso del Suelo y Paisaje, Medio Ambiente, Ecología y Biodiversidad, Medio Acuático, Recursos Físicos y Transporte; de los cuales, es posible obtener las siguientes calificaciones: Pass (>25%), Good (>40%), Very Good (>60%) y Excellent (>75%) (Villarreal, 2019).

2.3.3.4 Certificación Infrastructure Sustainability. Herramienta puesta a disposición en el año 2012 por el Consejo Australiano de Infraestructura Verde con el fin de mejorar los niveles de sostenibilidad en los procesos de diseño, construcción y operación de los proyectos de infraestructura (Villarreal, 2019).

Establece 6 criterios generales (Gestión y Gobernabilidad, Uso de los Recursos, Emisiones, Contaminación y Residuos, Ecología, Comunidad e Innovación) (Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015); distribuidos en 15 subcriterios que permiten obtener tres tipos de certificado: Commended (25-50 puntos), Excellent (50-75 puntos) y Leading (>75 puntos) (Villarreal, 2019).

2.3.3.5 Certificación INVEST. Esta certificación fue creada por la Administración Federal de Carreteras (FHWA) de Estados Unidos en el año 2012 con el fin de evaluar los tres pilares de la sostenibilidad durante el ciclo de vida de un proyecto de infraestructura vial a través de 4 criterios: Planificación de Sistemas para Estados (SPS), Planificación de Sistemas para Regiones (SPR), Desarrollo de Proyectos (PD) y Operaciones de Mantenimiento (OM) (Zambrano, 2018).

Es una herramienta de autoevaluación que se diligencia de manera online, analizando cada criterio por separado con el fin de promover buenas prácticas para la construcción de carreteras más sostenibles (Mata, 2017).

2.3.3.6 Certificación ENVISION. Es una herramienta de calificación propuesta en el año 2012 por el Instituto de Infraestructura Sostenible de Washington y el Programa Zofnass de Infraestructura Sostenible de la Universidad de Harvard, en el que a través de 5 conjuntos de criterios (Calidad de Vida, Liderazgo, Asignación de Recursos, Mundo Natural y Clima y Riesgo), se analizan los impactos económicos, sociales y ambientales del ciclo de vida de un proyecto (Zambrano, 2018).

ENVISION tiene 4 niveles de certificación, medidos según el porcentaje de créditos obtenidos: Bronce (20%-30%), Plata (30%-40%), Oro (40%-50%) y Platino (>50%) (Villarreal, 2019).

2.3.4 Indicadores

Teniendo en cuenta la importancia de la sostenibilidad en los proyectos de infraestructura vial, con el fin de reducir el impacto que éstos generan en el enfoque ambiental y social; surge la necesidad de medirla basándose en ciertos criterios que sirven como un índice de cómo, cuándo y en qué medida se puede reducir el impacto de un proyecto (Mata-Lima et al., 2016).

Es en este punto en donde aparecen los indicadores que Ordóñez Díaz & Meneses Silva (2015, p. 7) los definen como:

Una expresión cualitativa o cuantitativa observable, que permite describir características, comportamientos o fenómenos de la realidad a través de la evolución de una variable o el establecimiento de una relación entre variables la que, comparada con períodos anteriores, productos similares o una meta o compromiso, permite evaluar el desempeño y su evolución en el tiempo. Es decir, los indicadores se fundamentan en la medición de variables ya sean de orden cuantitativo o cualitativo con el fin de determinar su cambio a través del tiempo, determinando de esta manera qué tanto se relacionan dichos cambios con las metas o compromisos que se proponen (Mata-Lima et al., 2016).

Al relacionar este concepto con los proyectos de infraestructura vial, se puede decir entonces que un indicador es la expresión encargada de determinar si se cumplen o no los objetivos del mismo, fundamentándose en la observación y el análisis de las variables que le competen al compendio que corresponde el antes, durante y después de la construcción de un proyecto; por ende, los indicadores intervienen en cada parte del proceso y hacen visibles las falencias y aciertos que se presentan durante su desarrollo.

En consecuencia, los indicadores también ayudan a medir y evidenciar la sostenibilidad de un proyecto vial, ya que trabajan observando los cambios a través del tiempo en aspectos específicos, hacen evidente los diferentes impactos que se producen con la implementación de los mismos y dentro de un proyecto vial, ofrecen otro tipo de beneficios para la población, como por ejemplo una mejora en las oportunidades de comercio y en la comunicación y permiten mejorar el acceso a algunos servicios públicos (Suprayoga et al., 2020).

Por otra parte, la sostenibilidad también hace referencia al impacto generado por la construcción de vías al medio ambiente, y cómo se pueden reducir sus efectos para evitar un daño a gran escala a los ecosistemas, buscando así generar un desarrollo “amigable” con el medio ambiente (Suprayoga et al., 2020). Por ende, los indicadores son los encargados de medir este tipo de factores, evidenciando los cambios y alteraciones que produce un proyecto de esta magnitud en los territorios que se intervienen, observando el cambio en las dinámicas sociales y ecológicas, formulando una trazabilidad temporal desde la etapa inicial hasta luego de su finalización, dando como resultado cifras que indican si la sostenibilidad es posible para el contexto dado o si por lo contrario, la construcción termina por generar un impacto negativo en los aspectos ya mencionados.

Los indicadores de sostenibilidad en la infraestructura vial son los encargados de observar y medir aspectos como la contaminación producida por los desechos generados en una construcción, el ruido, la luz e incluso la contaminación en las fuentes hídricas, el aprovechamiento correcto del terreno, la fractura de las relaciones ecosistémicas, el uso de los recursos naturales, las mejoras en la accesibilidad y la movilidad, el bienestar social y la mejora en la implementación de nuevas técnicas para mitigar impactos; entre muchos otros factores que hacen parte de un proyecto sostenible, arrojando finalmente una serie de resultados que dan validez a los objetivos que se trazaron, identificando si se implementaron de manera correcta en el desarrollo del proyecto (Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015).

Es necesario observar y demostrar cómo el desarrollo de una intervención dentro de un territorio afecta de manera negativa o positiva tanto a la población como al medio ambiente y asimismo determinar cómo se pueden llegar a mitigar las afectaciones a través de la implementación de estrategias en el ciclo de vida del proyecto.

2.3.4.1 Clasificación. Cuando se observa la gran cantidad de factores que se deben considerar dentro de la construcción de infraestructura vial, se hace notable que los indicadores económicos, ambientales y sociales deben agruparse o clasificarse dependiendo el impacto que deseen medir, ejemplo de esto son los 10 grupos que proponen Suprayoga et al., (2020):

Empezando por la mitigación de la fragmentación del hábitat de las especies y la gestión del uso de la tierra, seguido de la mejora de la movilidad y la accesibilidad, al igual que la prevención de la contaminación, la adaptación al cambio climático e infraestructura resiliente, la mejora de la habitabilidad de la comunidad, la eficiencia en el uso de los recursos, el bienestar y equidad social, la planificación integradora y toma de decisiones, la utilización de la tecnología para la mitigación del impacto, y el desarrollo sensible al contexto.

De acuerdo con Suprayoga et al., (2020) en el primer grupo, **la mitigación de la fragmentación del hábitat de las especies y gestión del uso de la tierra** hace referencia a la medición de la efectividad de las estrategias propuestas para reducir la afectación que se genera a las relaciones que componen los ecosistemas; como se ha mencionado antes, la modificación del paisaje al realizar la construcción de una vía genera una interrupción en las relaciones ecosistémicas, que pueden representar la fractura de las zonas de caza o la obstrucción de las vías de apareamiento de la fauna local, por lo que es necesario generar estrategias en pro de un diseño y construcción que propenda por la ruptura mínima de los ecosistemas.

El segundo grupo, **la mejora de la movilidad y la accesibilidad**, hace referencia a lo que podría considerarse como la función principal de la infraestructura vial, generar un sistema capaz de movilizar carga y pasajeros entre los diferentes nodos poblacionales. Estos indicadores se

centran en aspectos fundamentales del diseño y construcción de una vía, permitiendo una mejora en la capacidad de movilidad y accesibilidad de los usuarios (Suprayoga et al., 2020).

El tercer grupo denominado **prevención de la contaminación**, está fundamentado en el correcto manejo de los desechos generados en un proyecto, además de los procesos que se realizan dentro de la construcción; es decir, se centra en la forma como los desechos son tratados, procurando generar una afectación mínima en las fuentes hídricas y el suelo, mitigando el impacto que se genera no solo en el medio ambiente, sino también en las poblaciones cercanas (Suprayoga et al., 2020).

En el cuarto grupo, **la adaptación al cambio climático e infraestructura resiliente** se hace notable la importancia de un diseño que permita una elasticidad dentro de la infraestructura vial, procurando generar una reducción en los costos de mantenimiento, integrando un diseño más eficiente y duradero, que sea capaz de cumplir con el objetivo del proyecto y genere una mínima afectación al medio ambiente (Suprayoga et al., 2020).

Dentro del quinto grupo, **la mejora de la habitabilidad de la comunidad**, busca analizar la influencia que los proyectos generan sobre la población circundante y cómo esta puede mejorar su condición de habitabilidad actual en la zona de desarrollo del proyecto; por lo tanto, este conjunto de indicadores está más enfocado en la forma como se impacta la vida cotidiana de las personas dentro de un territorio teniendo en cuenta un antes y después de la implementación del proyecto vial (Suprayoga et al., 2020).

El sexto grupo, **la eficiencia en el uso de los recursos**, regula la utilización eficiente y adecuada de los recursos, controlando que no se desperdicien ni se empleen de manera desproporcionada (Suprayoga et al., 2020).

El bienestar y equidad social comprenden el séptimo grupo de indicadores, y hacen referencia a la influencia dentro del ámbito social que genera una vía, buscando crear igualdad en las oportunidades de aprovechamiento de la misma por parte de la comunidad beneficiaria, con el fin de generar un desarrollo social respecto a factores culturales y económicos (Suprayoga et al., 2020).

La planificación integradora y toma de decisiones constituyen el octavo grupo de indicadores, planteando una medición interna del diseño y la implementación del proyecto, centrado en la planeación del mismo con el fin de generar estrategias y directrices enfocadas en la mitigación de impactos y un mejoramiento de la movilidad y accesibilidad de los usuarios, manteniendo presente el contexto territorial de donde se desarrolla la infraestructura vial y la influencia que ésta generará a futuro (Suprayoga et al., 2020).

La utilización de la tecnología para la mitigación del impacto en el noveno grupo, se enfoca principalmente en la innovación que se genera en cuanto a los procesos de construcción con el fin de disminuir y mitigar los impactos al medio ambiente. Estos indicadores se centran en observar cómo la tecnología es implementada dentro de un proyecto vial con el fin de obtener la información necesaria para identificar en qué grado se logra mitigar los impactos negativos a los ecosistemas (Suprayoga et al., 2020).

En el décimo y último lugar se encuentra **el desarrollo sensible al contexto**, centrando su medición en cómo el desarrollo se adapta al contexto. Observa y mide cómo los factores que crean un desarrollo social, sufren una transformación dependiendo de la zona donde se implementen y cómo la población se adapta a la infraestructura (Suprayoga et al., 2020).

2.3.4.2 Medición. De acuerdo con Mata-Lima et al., (2016, p. 4):

Un indicador se puede utilizar para sintetizar información relevante para la toma de decisiones con respecto a las acciones correctivas y la mejora continua y para monitorear y evaluar variables (por ejemplo, ambientales, sociales y económicas) mediante la detección de cambios en las condiciones o tendencias a lo largo del tiempo.

Por lo tanto, la medición de los indicadores está fundamentada en el cambio de una condición preexistente en el territorio; por la influencia de la construcción de un proyecto de infraestructura vial, estas mediciones se realizan en un primer momento generando un diagnóstico acerca de lo que compone el contexto territorial, teniendo en cuenta qué aspectos de orden económico, social y ambiental se desean identificar.

Posteriormente, se debe realizar un seguimiento buscando obtener información sistematizada del impacto que genera la ejecución del proyecto, procurando que los datos recolectados se organicen y simplifiquen de tal manera que la medición de la transformación de los criterios medidos sea evidente; es decir, se deben tener en cuenta las actividades, productos y servicios que influyen dentro del contexto, con el fin de identificar los cambios en las variables ambientales y socioeconómicas y, generar información que sirva para implementar estrategias y líneas de acción que mantengan el curso del proyecto dentro de los objetivos propuestos (Mata-Lima et al., 2016).

3 Identificación y Caracterización de la Infraestructura Vial en el Municipio de Neiva

Teniendo en cuenta que se busca dar solución a la situación problema previamente descrita, el presente trabajo de investigación fue elaborado bajo la metodología del enfoque mixto, considerando la definición de Hernández et al., (2010), en la que se indica que los métodos mixtos permiten la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, con el fin de integrarlos, estudiarlos y concluir a partir de la información recolectada, obteniendo un mayor entendimiento del caso en estudio.

Por ello, se realizó la recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos asociados a las vías construidas en el municipio de Neiva en un periodo determinado, considerando los tipos de pavimentos y materiales empleados.

3.1 Identificación de la Infraestructura Vial

Para la identificación de la infraestructura vial construida en el municipio de Neiva en los últimos años, se solicitó información al Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), entidad descentralizada del municipio que, fue creada en septiembre de 2013 a través del documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) 3756 de 2013 (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2013a), de acuerdo con las consideraciones del CONPES y del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2010-2014, en concordancia con lo consagrado en el Documento CONPES 3167 de 2002, en donde se establece que las ciudades con una población entre 300.000 y 600.000 habitantes (en este caso, el municipio de Neiva), deben adherirse al Programa Nacional de Transporte Urbano y fijar un sistema que estructure y permita desarrollar una movilidad adecuada (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2002a).

El SETP ha ejecutado en el municipio de Neiva, obras de rehabilitación y construcción de infraestructura vial, dos intercambiadores viales y obras de urbanismo, con una inversión que asciende los 147 mil millones de pesos en el periodo comprendido entre los años 2016 y 2020, y tiene como objetivo principal planear, gestionar y desarrollar la implementación de un sistema de transporte público que sea eficiente, accesible y sostenible (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2013a).

Inicialmente, se organizó la información relevante de los proyectos ejecutados en el periodo comprendido entre los años 2016 y 2020, tal y como se evidencia en la tabla 2.

En la primera columna se describió el objeto contractual de cada proyecto; en la segunda, se asignó un identificador (ID proyecto), siendo SETP-A, el código del primer proyecto vial que realizó la entidad y SETP-I, el código del último.

En la tercera columna, se asignó otro código de identificación (ID intervención) en función del proyecto al que hacía parte cada intervención; por ejemplo, el proyecto SETP-A constó de cuatro intervenciones, las cuales fueron identificadas como SETP-A1, SETP-A2, SEPT-A3 y SETP-A4 y así sucesivamente en cada proyecto.

Finalmente, en las columnas 4 y 5 respectivamente, se nombró el barrio al que hacía parte cada intervención y la longitud ejecutada (en metros).

Tabla 2

Proyectos ejecutados por el SETP en el municipio de Neiva.

Objeto	ID. Proyecto	ID. Intervención	Barrio	Longitud Intervención (m)
Construcción de vías y obras complementarias - Fase I, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva	SETP-A	SETP-A1	La Voragine-Calamari	122,00
		SETP-A2	Palmas	264,00
		SETP-A3	El Oasis	831,00
		SETP-A4	Andalucía	1260,00
Construcción, rehabilitación de vías, renovación de andenes y obras complementarias - Fase II, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva	SETP-B	SETP-B1	Víctor Félix-Reservas de la Sierra	856,00
		SETP-B2	Santa Isabel	423,00
		SETP-B3	Centro	109,00
		SETP-B4	Centro	119,00
		SETP-B5	Canaima	505,00
		SETP-B6	Primero de Mayo	210,00
		SETP-B7	El Jardín	228,00
		SETP-B8	Diego de Ospina – San Martín.	548,00
Construcción, rehabilitación de vías, renovación de andenes y obras complementarias – Fase III, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva	SETP-C	SETP-C1	Las Acacias	410,00
		SETP-C2	Canaima	491,00
		SETP-C3	La Rioja	764,00
		SETP-C4	José Eustacio Rivera-Aeropuerto	1172,00
Construcción, rehabilitación de vías, renovación de andenes, y obras complementarias - Fase IV, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva	SETP-D	SETP-D1	Venecia - Villa Cecilia	529,90
		SETP-D2	Minuto de Dios	335,57
		SETP-D3	Puertas del Sol	624,14
		SETP-D4	Cándido	334,97
		SETP-D5	Las Mercedes	396,11
		SETP-D6	La Fortaleza-Colmenar-Balcones de la Rivera	918,32
		SETP-D7	La Libertad-La Colina	910,30

Objeto	ID. Proyecto	ID. Intervención	Barrio	Longitud Intervención (m)
Rehabilitación de vías, renovación de andenes, y obras complementarias - Fase V, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público - SETP – de la ciudad de Neiva	SETP-E	SETP-E1	Timanco-Arismendi Mora-Loma Linda	1170,64
		SETP-E2	Timanco-Loma Linda	247,42
		SETP-E3	Las Acacias	388,75
		SETP-E4	San Martin	393,47
		SETP-E5	Diego de Ospina-Ventilador	1650,27
Construcción, rehabilitación de vías, renovación de andenes, y obras complementarias - Fase VI, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva	SETP-F	SETP-F1	La Trinidad	860,00
		SETP-F2	Quirinal - Profesionales	1220,00
Rehabilitación de vías, renovación de andenes y obras complementarias - Fase VII, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva	SETP-G	SETP-G	La Toma - Centro - Estadio - Quirinal	2500,00
Construcción del intercambiador y solución peatonal universidad Surcolombiana municipio de Neiva -departamento del Huila	SETP-H	SETP-H	Santa Inés	1443,70
Diseños y construcción del intercambiador vial sobre la avenida La Toma con carrera 16, en la ciudad de Neiva, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público	SETP-I	SETP-I	Altico	1120,00

3.2 Caracterización de la Infraestructura Vial

Para el desarrollo de esta actividad, se realizó la revisión y análisis de los proyectos ejecutados por el SETP, descartando aquellas obras que no estuvieran asociadas a la infraestructura vial vehicular, tales como: construcción de andenes, peatonalización, optimización de redes hidrosanitarias y eléctricas, obras de urbanismo, entre otras.

En la tabla 3, se presenta la información referente a los dos tipos de intervención realizados por la entidad de acuerdo con las especificaciones del documento CONPES 3756 de 2013, en donde se estipula el cronograma para la puesta en marcha del SETP en la ciudad de Neiva y las vías que deben ser construidas o rehabilitadas (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2013a)

La tabla 3 se divide en dos partes, en el costado izquierdo se encuentra la información de las vías construidas nuevas y en el costado derecho, la descripción de las vías que fueron rehabilitadas. En la última fila, se presenta el consolidado de la longitud de vías construidas (9.470,31 m) y rehabilitadas (13.447,25 m).

Tabla 3

Clasificación de las intervenciones

Tipo de Intervención					
A. Construcción			B. Rehabilitación		
ID Proyecto	ID Intervención	Longitud (m)	ID Proyecto	ID Intervención	Longitud (m)
SETP-A	SETP-A1	122,00	SETP-B	SETP-B2	423,00
	SETP-A2	264,00		SETP-B8	548,00
	SETP-A3	831,00	SETP-C	SETP-C1	410,00
	SETP-A4	1260,00		SETP-C3	764,00
SETP-B	SETP-B1	856,00		SETP-C4	1172,00
	SETP-B3	109,00	SETP-D	SETP-D4	334,97
	SETP-B4	119,00		SETP-D5	396,11
	SETP-B5	505,00		SETP-D6	918,32
SETP-C	SETP-C2	491,00		SETP-D7	910,30

ID Proyecto	ID Intervención	Longitud (m)	ID Proyecto	ID Intervención	Longitud (m)
SETP-D	SETP-D1	529,90	SETP-E	SETP-E1	1170,64
	SETP-D2	335,57		SETP-E2	247,42
	SETP-D3	624,14		SETP-E3	388,75
SETP-F	SETP-F1	860,00		SETP-E4	393,47
SETP-H	SETP-H	1443,70		SETP-E5	1650,27
SETP-I	SETP-I	1120,00	SETP-F	SETP-F2	1220,00
			SETP-G	SETP-G	2500,00
Total Construcción		9470,31	Total Rehabilitación		13447,25

Luego de realizar la caracterización, se encuentra que los proyectos SETP-E y SETP-G no contemplaron obras de construcción de vías nuevas, sino únicamente de rehabilitación. Por su parte, los proyectos SETP-A, SEPT-H y SETP-I, no contemplaron obras de rehabilitación, tal y como se evidencia en la tabla 3.

A continuación, se presenta el análisis de los proyectos identificados, haciendo énfasis en que la totalidad de las vías intervenidas son urbanas y que, para caracterizarlas, se tuvieron en cuenta aspectos como el tipo de intervención realizada (construcción o rehabilitación, de acuerdo documento CONPES 3756 de 2013), longitud, ancho, tipo de pavimento (flexible, rígido o articulado) y espesores de los materiales que conforman su estructura como por ejemplo: subbase y base granular, concreto hidráulico y/o mezcla asfáltica. Al finalizar cada caracterización, se muestra la longitud total intervenida y el porcentaje de vías construidas o rehabilitadas en pavimento flexible, rígido o articulado (ver tablas 4 a 12).

3.2.1 Proyecto SETP-A

El proyecto contempló la construcción de 2.477 m de vías nuevas en los siguientes barrios: 122 m en La Vorágine – Comuna 1 (SETP-A1), 264 m en Las Palmas - Comuna 10 (SETP-A2), 831 m en El Oasis – Comuna 6 (SETP-A3) y 1.260 m en Andalucía - Comuna 6 (SETP-A4), de acuerdo con las especificaciones (ver tabla 4).

Tabla 4

Caracterización proyecto SETP-A

PROYECTO SETP-A								
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)				
				Pavimento flexible			Pavimento rígido	
				MDC-19	BG	SBG	MR-42	SBG
				e=0,10	e=0,20	e=0,25	e=0,30	e=0,35
SETP-A1	Nueva	122	7,00 (cada calzada)	X		X	X	
SETP-A2	Nueva	264	5,50					X X
SETP-A3	Nueva	831	7,00	X	X		X	
SETP-A4	Nueva	1260	6,00 (cada calzada)	X	X		X	
Longitud intervenida (m)		2.477		MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular				
% Pavimento flexible		89,34%						
% Pavimento rígido		10,66%						
% Pavimento articulado		0,00%						

De acuerdo con la tabla 4, en el proyecto SETP-A se intervinieron 2.477 m de vías, de las cuales, el 89,34% fueron ejecutadas en pavimento flexible (SETP-A1, SETP-A3 y SETP-A4) y el 10,66% restante, en pavimento rígido (SETP-A2).

En la figura 5, se observa el antes y después de la intervención del proyecto SETP-A.

Figura 5

Antes y después de intervención proyecto SETP-A por barrios

Antes



Después



Barrios La Vorágine – Calamarí (SETP-A1)



Barrio Las Palmas (SETP-A2)



Barrio El Oasis (SETP-A3)

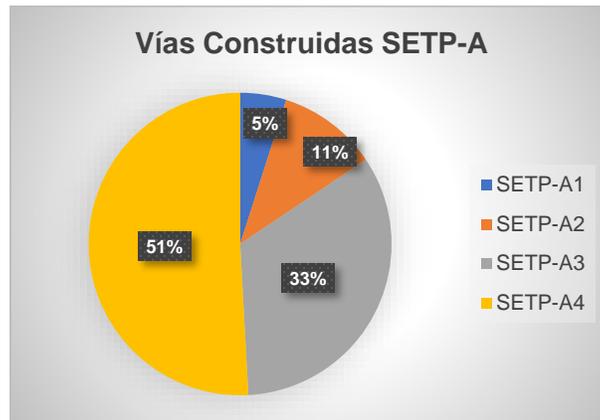


Barrio Andalucía (SETP-A4)

Una vez caracterizado el proyecto SETP-A, es posible concluir que todas sus intervenciones fueron vías construidas y que en función de su longitud (2.477 m), de acuerdo con la figura 6, el 51% del total del proyecto, corresponde a la intervención realizada en el barrio Andalucía (SETP-A4), el 33% corresponde al tramo construido en el barrio El Oasis (SETP-A3), el 11% a la vía construida en el barrio Las Palmas (SETP-A2) y tan solo el 5%, corresponde al tramo de vía construido en los barrios La Vorágine – Calamarí (SETP-A1).

Figura 6

Distribución porcentual de las vías construidas en proyecto SETP-A



3.2.2 Proyecto SETP-B

En este proyecto se ejecutaron 971 m de rehabilitación de pavimento flexible: 423 m en el barrio Santa Isabel - Comuna 6 (SETP-B2) y 548 m en el barrio Diego de Ospina y San Martín - Comuna 7 (SETP-B8) y se construyeron 1.589 m de vías nuevas: 856 m en Reservas de la Sierra - Comunas 7 y 10 (SETP-B1), 228 m en el barrio Centro - Comuna 4 (SETP-B3 y SETP-B4) y 505 m en Canaima - Comuna 6 (SETP-B5) (ver Tabla 5).

Nota: Las intervenciones SETP-B6 y SETP-B7 corresponden a obras de peatonalización, que no fueron consideradas en esta caracterización.

Tabla 5

Caracterización proyecto SETP-B

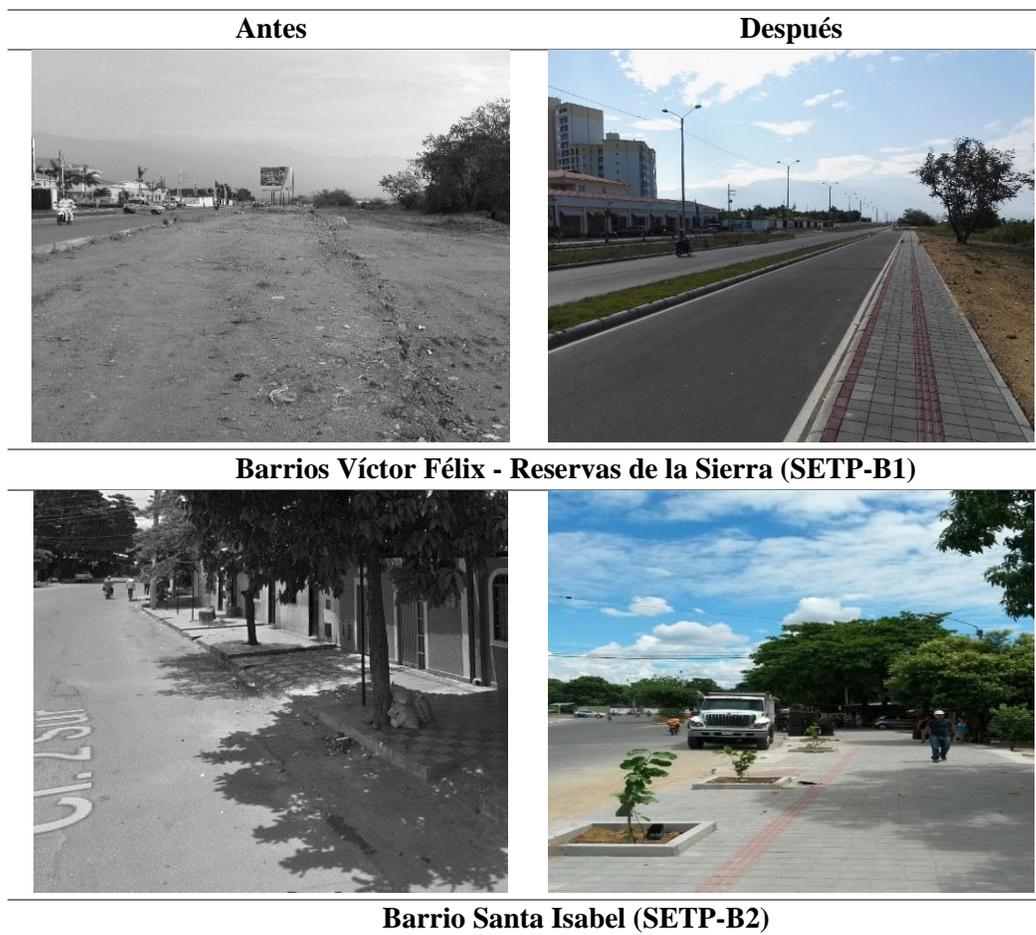
PROYECTO SETP-B													
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)									
				Pavimento flexible			Pavimento rígido		Pavimento articulado				
				MDC-19	BG	SBG	MR-42	SBG	Adoquín	BG		SBG	
				e=0,10	e=0,20	e=0,35	e=0,20	e=0,15		e=0,15	e=0,20	e=0,30	e=0,35
SETP-B1	Nueva	856	8,00 (cada calzada)	X	X	X							
SETP-B2	Rehabilitación	423	8,50	X	X	X							
SETP-B3	Nueva	109	5,40						X	X		X	
SETP-B4	Nueva	119	4,10						X		X		X
SETP-B5	Nueva	505	6,60				X	X					
SETP-B8	Rehabilitación	548	7,80	X	X	X							
Longitud intervenida (m)		2.560		MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm2, BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular									
% Pavimento flexible		71,37%											
% Pavimento rígido		19,72%											
% Pavimento articulado		8,91%											

Con relación a la tabla 5, en el proyecto SETP-B se ejecutaron 2.560 m de vías, de las cuales, el 71,37% fueron realizadas en pavimento flexible (SETP-B1, SETP-B2 y SETP-B8), el 19,72% en pavimento rígido (SETP-B5) y el 8,91% restante, en pavimento articulado (SETP-B3 y SETP-B4).

En la figura 7 se presenta el resultado de la intervención, objeto del proyecto referencia.

Figura 7

Antes y después de intervención proyecto SETP-B por barrios





Barrio Centro (SETP-B3)



Barrio Centro (SETP-B4)



Barrio Canaima (SETP-B5)

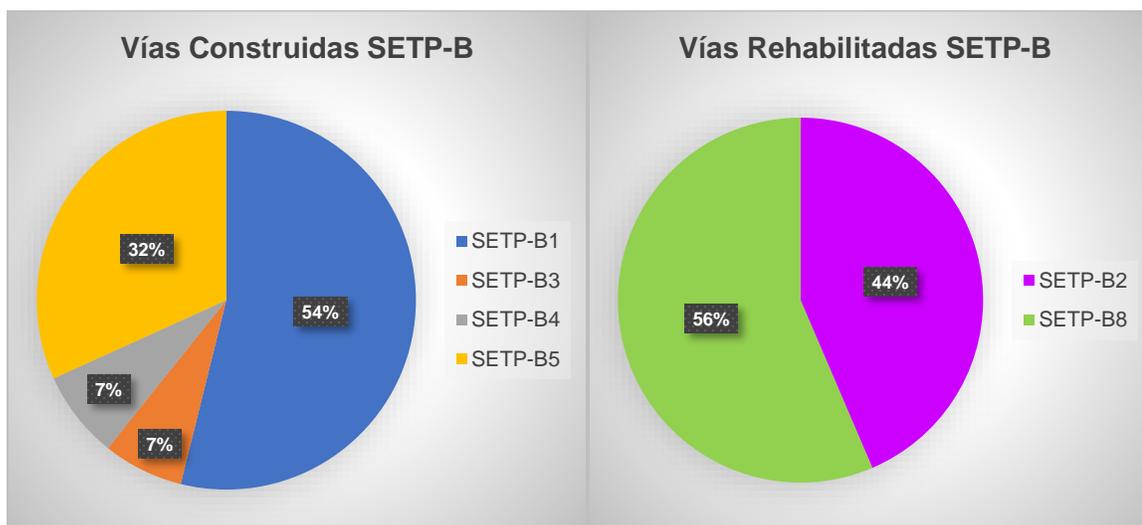


Barrios Diego de Ospina – San Martín (SETP-B8)

Luego de caracterizar el proyecto SETP-B, se puede concluir que se construyeron 4 tramos de vía (1.589 m) y se rehabilitaron 2 tramos (971 m) y que en función de su longitud, respecto a las vías construidas (costado izquierdo de la figura 8), el 54% corresponde a la intervención realizada en los barrios Víctor Félix y Reservas de la Sierra (SETP-B1), el 32% corresponde al tramo construido en el barrio Canaima (SETP-B5) y el 14% restante, a las vías construidas en el barrio Centro (SETP-B3 y SETP-B4). Con relación a las vías rehabilitadas (costado derecho de la figura 8), el 56% corresponde a la intervención realizada en el barrio Santa Isabel (SETP-B2) y el 44% a la realizada en los barrios Diego de Ospina y San Martín (SETP-B8).

Figura 8

Distribución porcentual de las vías construidas y rehabilitadas en proyecto SETP-B



3.2.3 Proyecto SETP-C

En este proyecto se intervinieron 2.837 m de vía, de los cuales, 2.346 m fueron rehabilitados en pavimento flexible: 410 m en el barrio Las Acacias - Comuna 8 (SETP-C1), 764 m en La Rioja - Comuna 10 (SETP-C3) y 1.172 m en el barrio José Eustasio Rivera - Comuna 3

(SETP-C4) y 491 m de vía fueron construidos en pavimento flexible en el barrio Canaima - Comuna 6 (SETP-C2) (ver tabla 6).

Tabla 6

Caracterización proyecto SETP-C

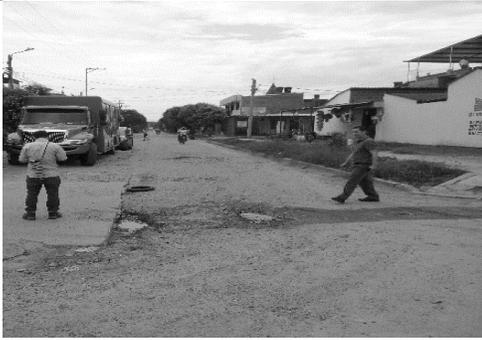
PROYECTO SETP-C						
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)		
				Pavimento flexible		
				MDC-19	BG	SBG
				e=0,10	e=0,15	e=0,20
SETP-C1	Rehabilitación	410	9,00	X	X	X
SETP-C2	Nueva	491	9,00	X	X	X
SETP-C3	Rehabilitación	764	9,00	X	X	X
SETP-C4	Rehabilitación	1172	9.20 (cada calzada)	X	X	X
Longitud intervenida (m)				MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular		
		2.837				
% Pavimento flexible		100,00%				
% Pavimento rígido		0,00%				
% Pavimento articulado		0,00%				

En la figura 9 se muestra el antes y después de la intervención realizada en el proyecto descrito.

Figura 9

Antes y después de intervención proyecto SETP-C por barrios

Antes



Después



Barrio Las Acacias (SETP-C1)



Barrio Canaima (SETP-C2)



Barrio La Rioja (SETP-C3)

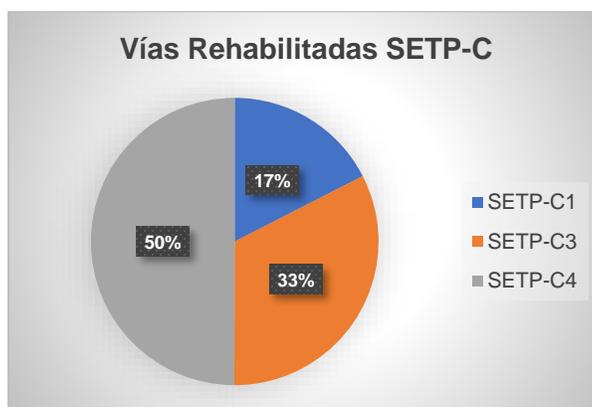


Barrios José Eustacio Rivera – Aeropuerto (SETP-C4)

Después de caracterizar el proyecto SETP-C, se concluye que solo se construyó un tramo de vía (SETP-C2) en el barrio Canaima de 491 m de longitud (costado izquierdo de la figura 10) y se rehabilitaron 3 tramos (con una longitud de 2.346 m) de acuerdo con lo observado en el costado derecho de la figura 10. En función de su longitud, el 50% de las vías rehabilitadas, corresponde a la intervención realizada en los barrios José Eustacio Rivera - Aeropuerto (SETP-C4), el 33% a la rehabilitación de la vía ubicada en el barrio La Rioja (SETP-C3) y el 17% restante, a la vía ubicada en el barrio Las Acacias (SETP-C1).

Figura 10

Distribución porcentual de las vías rehabilitadas en proyecto SETP-C



3.2.4 Proyecto SETP-D

Este proyecto contempló la construcción de 1.489,61 m de vías en pavimento flexible: 529,90 m en los barrios Venecia y Villa Cecilia - Comuna 2 (SETP-D1), 335,57 m en Minuto de Dios - Comuna 9 (SETP-D2) y 624,14 m en el barrio Puertas del Sol - Comuna 6 (SETP-D3) y, la rehabilitación de 2.559,70 m de vías en pavimento flexible: 334,97 m en el barrio Cándido - Comuna 1 (SETP-D4), 396,11 m en Las Mercedes - Comuna 1 (SETP-D5), 918,32 m en los barrios La Fortaleza, Colmenar y Balcones de La Rivera - Comuna 1 (SETP-D6) y 910,30 m en La Libertad y La Colina - Comuna 5 (SETP-D7) (ver tabla 7).

Tabla 7

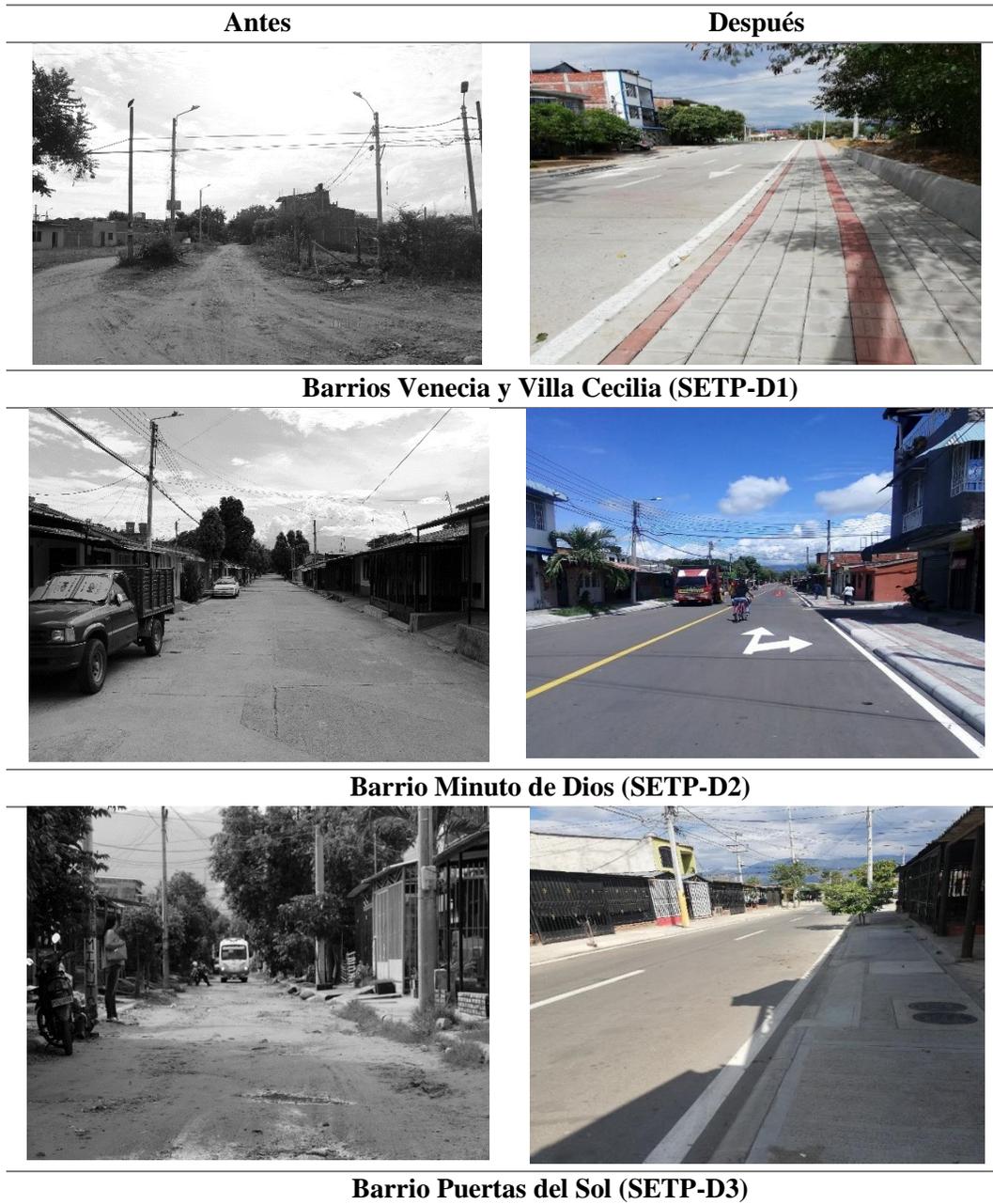
Caracterización proyecto SETP-D

PROYECTO SETP-D										
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)						
				Pavimento flexible						
				MDC-19		BG		SBG		
				e=0,10	e=0,12	e=0,15	e=0,25	e=0,30	e=0,25	e=0,30
SETP-D1	Nueva	529,90	8,00	X			X		X	
SETP-D2	Nueva	335,57	8,00	X				X		X
SETP-D3	Nueva	624,14	5,00			X		X		X
SETP-D4	Rehabilitación	334,97	6,80	X			X		X	
SETP-D5	Rehabilitación	396,11	8,70		X		X		X	
SETP-D6	Rehabilitación	918,32	13,22	X			X		X	
SETP-D7	Rehabilitación	910,30	7,00		X		X		X	
Longitud intervenida (m)		4.049	MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular							
% Pavimento flexible		100,00%								
% Pavimento rígido		0,00%								
% Pavimento articulado		0,00%								

En la figura 11 se presenta el estado inicial y final de la intervención realizada.

Figura 11

Antes y después de intervención proyecto SETP-D por barrios





Barrio Cándido (SETP-D4)



Barrio Las Mercedes (SETP-D5)



Barrios Fortaleza, Colmenar y Balcones de la Rivera (SETP-D6)

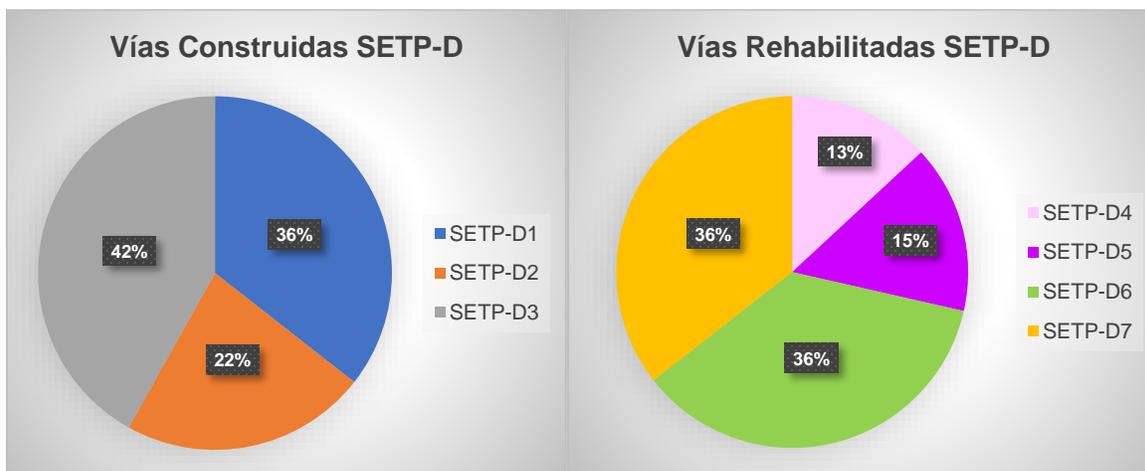


Barrios La Libertad y La Colina (SETP-D7)

En el costado izquierdo de la figura 12 se puede observar que respecto a la longitud de vías construidas en el proyecto SETP-D (1.489,61 m), el 42% corresponde al tramo ejecutado en el barrio Puertas del Sol (SEPT-D3), el 36% a la vía construida en los barrios Venecia y Villa Cecilia (SETP-D1) y el 22% restante, a la intervención realizada en el barrio Minuto de Dios (SETP-D2). Con relación a los 2.559,70 m de vías rehabilitadas en este proyecto (costado derecho de la figura 12), se concluye que un 36% fue ejecutado en los barrios La Fortaleza, Colmenar y Balcones de la Rivera (SETP-D6), otro 36% en los barrios La Libertad y La Colina (SETP-D7), un 15% en el barrio Las Mercedes (SETP-D5) y el 13% restante, en el barrio Cándido (SETP-D4).

Figura 12

Distribución porcentual de las vías construidas y rehabilitadas en proyecto SETP-D



3.2.5 Proyecto SETP-E

El proyecto SETP-E corresponde a la rehabilitación de 3.850,55 m de vías en pavimento flexible: 1.170,64 m en los barrios Timanco, Arismendi Mora y Loma Linda - Comuna 6 (SETP-E1), 247,42 m en Timanco y Loma Linda - Comuna 6 (SETP-E2), 388,75 m en el barrio Las Acacias - Comuna 8 (SETP-3), 393,47 m en San Martín - Comuna 7 (SETP-E4) y 1.650,27 m en

los barrios Diego de Ospina y Ventilador - Comunas 4 y 7 (SETP-E5), con las características que se exponen en la tabla 8.

Tabla 8

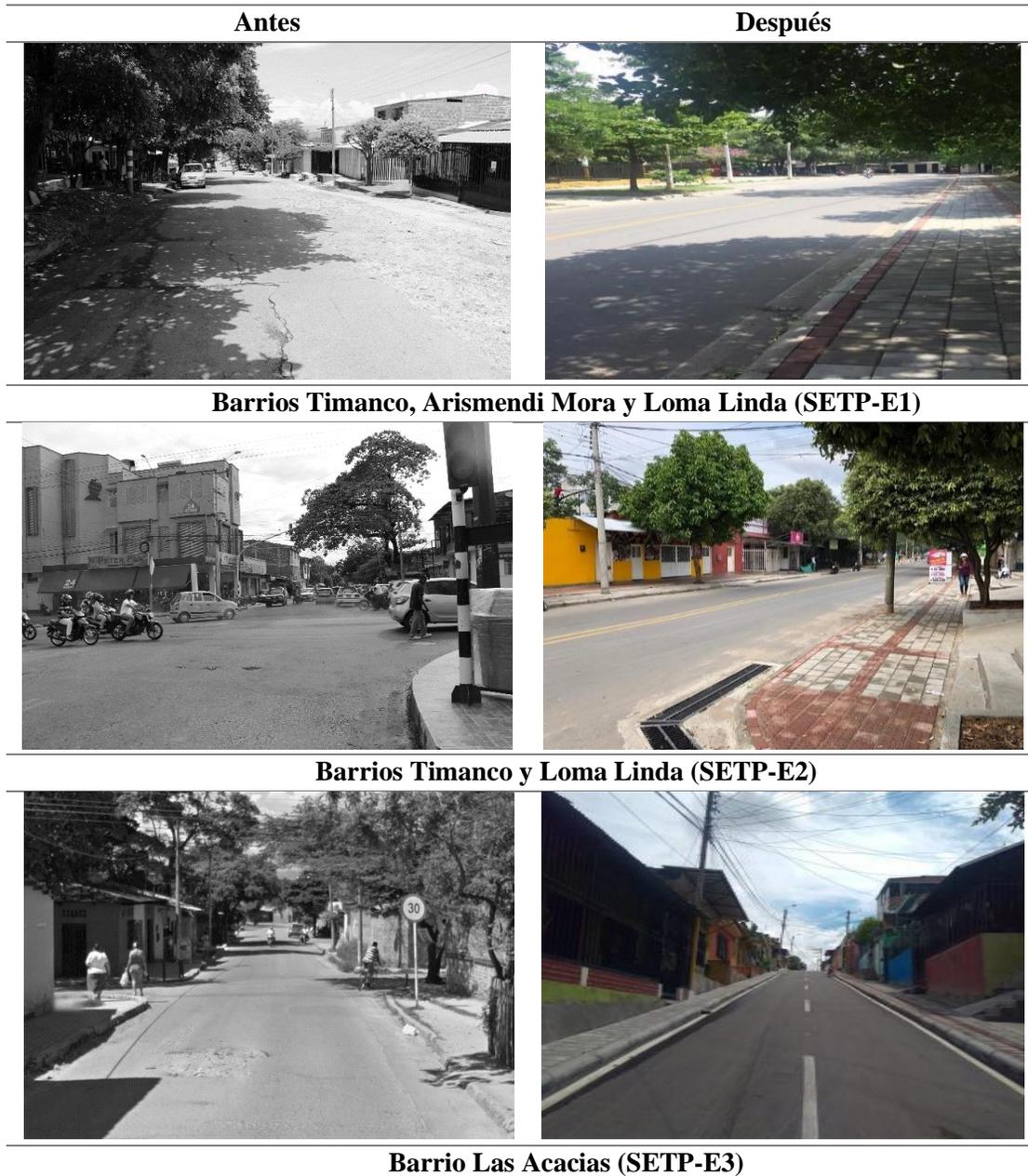
Caracterización proyecto SETP-E

PROYECTO SETP-E										
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)						
				Pavimento flexible						
				MDC-19		BG		SBG		
				e=0,10	e=0,12	e=0,15	e=0,15	e=0,25	e=0,30	e=0,30
SETP-E1	Rehabilitación	1170,64	Variable (7,00 - 10,00)			X	X		X	
SETP-E2	Rehabilitación	247,42	Variable (7,00 - 7,70)			X			X	X
SETP-E3	Rehabilitación	388,75	Variable (8,10 - 8,30 - 8,50 - 13,5)		X			X	X	
SETP-E4	Rehabilitación	393,47	5,00	X				X	X	
SETP-E5	Rehabilitación	1650,27	Variable (9,00 - 14,00)			X		X	X	
Longitud intervenida (m)		3.851	MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular							
% Pavimento flexible		100,00%								
% Pavimento rígido		0,00%								
% Pavimento articulado		0,00%								

En la figura 13 se muestran los tramos antes y después de su intervención.

Figura 13

Antes y después de intervención proyecto SETP-E por barrios

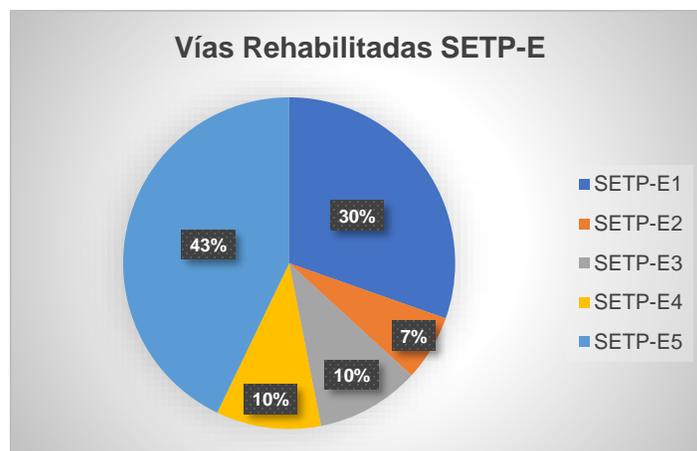


**Barrio San Martín (SETP-E4)****Barrios Diego de Ospina y Ventilador (SETP-E5)**

Una vez caracterizado el proyecto SETP-E, se concluye que todas sus vías fueron rehabilitadas y que en función de su longitud (3.850,55 m), de acuerdo con la figura 14, el 43% del proyecto, corresponde a la intervención realizada en los barrios Diego de Ospina y Ventilador (SETP-E5), el 30% al tramo construido en los barrios Timanco, Arismendi Mora y Loma Linda (SETP-E1), un 10% a la vía rehabilitada en el barrio San Martín (SETP-E4), otro 10% en el barrio Las Acacias (SETP-E3) y el 7% restante, en los barrios Timanco y Loma Linda (SETP-E2).

Figura 14

Distribución porcentual de las vías rehabilitadas en proyecto SETP-E



3.2.6 Proyecto SETP-F

El proyecto consistió en la construcción de 860 m de vía en pavimento flexible en el barrio La Trinidad - Comunas 2 y 9 (SETP-F1) y en la rehabilitación de 1.220 m de pavimento flexible en los barrios Quirinal y Profesionales - Comuna 3 (SETP-F2), cuya caracterización se presenta en la tabla 9.

Tabla 9

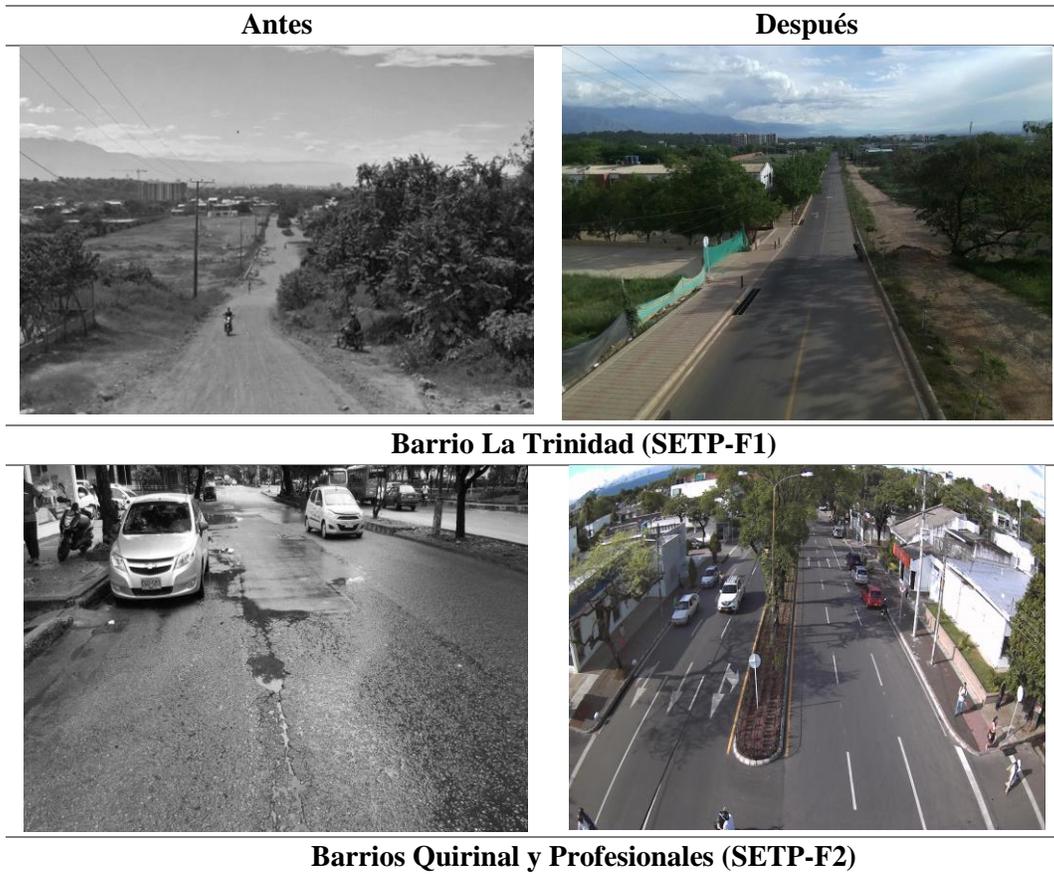
Caracterización proyecto SETP-F

PROYECTO SETP-F						
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)		
				Pavimento flexible		
				MDC-19	BG	SBG
				e=0,15	e=0,25	e=0,30 e=0,40
SETP-F1	Nueva	860	7,00	X	X	X
SETP-F2	Rehabilitación	1220	9,00 (cada calzada)	X	X	X
Longitud intervenida (m)		2.080	MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular			
% Pavimento flexible		100,00%				
% Pavimento rígido		0,00%				
% Pavimento articulado		0,00%				

En la figura 15 se presenta el estado de las vías antes y después de la intervención realizada.

Figura 15

Antes y después de intervención proyecto SETP-F por barrios



El proyecto SETP-F tuvo dos intervenciones, un tramo de 860 m de vía construida en el barrio La Trinidad (SETP-F1) y un tramo de 1.220 m de vía rehabilitado en los barrios Quirinal y Profesionales (SETP-F2).

3.2.7 Proyecto SETP-G

Este proyecto consistió únicamente en la rehabilitación de 2.500 m de pavimento flexible en los barrios La Toma, Centro, Estadio y Quirinal – Comuna 4 (SETP-G), (ver tabla 10).

Tabla 10

Caracterización proyecto SETP-G

PROYECTO SETP-G						
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)		
				Pavimento flexible		
				MDC- 19	BG	SBG
				e=0,25	e=0,30	e=0,30
SETP-G	Rehabilitación	2500	9,00 (cada calzada)	X	X	X
Longitud intervenida (m)		2.500				
% Pavimento flexible		100,00%				
% Pavimento rígido		0,00%				
% Pavimento articulado		0,00%				
				MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular		

En la figura 16 se observa el antes y después de la vía rehabilitada.

Figura 16

Antes y después de intervención proyecto SETP-G



Este proyecto consistió en la rehabilitación de 2.500 m de vía, en los barrios La Toma, Centro, Estadio y Quirinal (SETP-G).

3.2.8 Proyecto SETP-H

Contiguo a la Universidad Surcolombiana en la Comuna 1, se construyeron 1443,70 m de vía nueva en pavimento flexible (SETP-H) (ver tabla 11).

Tabla 11

Caracterización proyecto SETP-H

PROYECTO SETP-H						
ID	Ref. CONPES 3756/2013	Long (m)	Ancho (m)	Estructura de pavimento - espesores (m)		
				Pavimento flexible		
				MDC- 19	BG	SBG
				e=0,15	e=0,20	e=0,35
SETP-H	Nueva	1443,7	7,30	X	X	X
Longitud intervenida (m)		1.444		MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular		
% Pavimento flexible		100,00%				
% Pavimento rígido		0,00%				
% Pavimento articulado		0,00%				

En la parte izquierda de la figura 17 se muestra cómo se encontraba la vía antes de su intervención y en la parte derecha, cómo quedó luego de ejecutar el proyecto.

Figura 17

Antes y después de intervención proyecto SETP-H

Antes	Después
-------	---------



Barrio Santa Inés (SETP-G)

El proyecto SETP-H contempló únicamente la construcción de 1443,70 m de vía para el intercambiador ubicado en el barrio Santa Inés.

3.2.9 Proyecto SETP-I

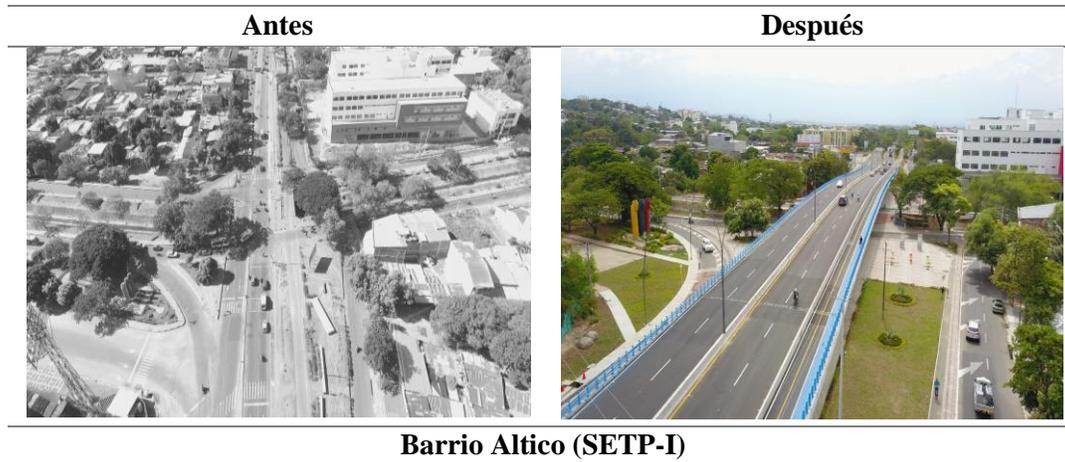
En el barrio El Altico de la comuna 4 (SETP-I), se construyeron 1.120 m de vía en pavimento flexible, (ver tabla 12).

Tabla 12

Caracterización proyecto SETP-I

ID	Ref. CONPES 3756/2013	PROYECTO SETP-I		Estructura de pavimento - espesores/Mts		
		Long (m)	Ancho (m)	Pavimento flexible		
				MDC- 19 e=0,15	BG e=0,20	SBG e=0,15
SETP-I	Nueva	1120	Variable (7,00 - 8,50)	X	X	X
Longitud intervenida (m)		1.120		MDC-19: Mezcla Densa en Caliente con tamaño máximo de 1/2", MR-42: Concreto con resistencia a flexión de 42 Kg/cm ² , BG: Base Granular, SBG: Subbase Granular		
% Pavimento flexible		100,00%				
% Pavimento rígido		0,00%				
% Pavimento articulado		0,00%				

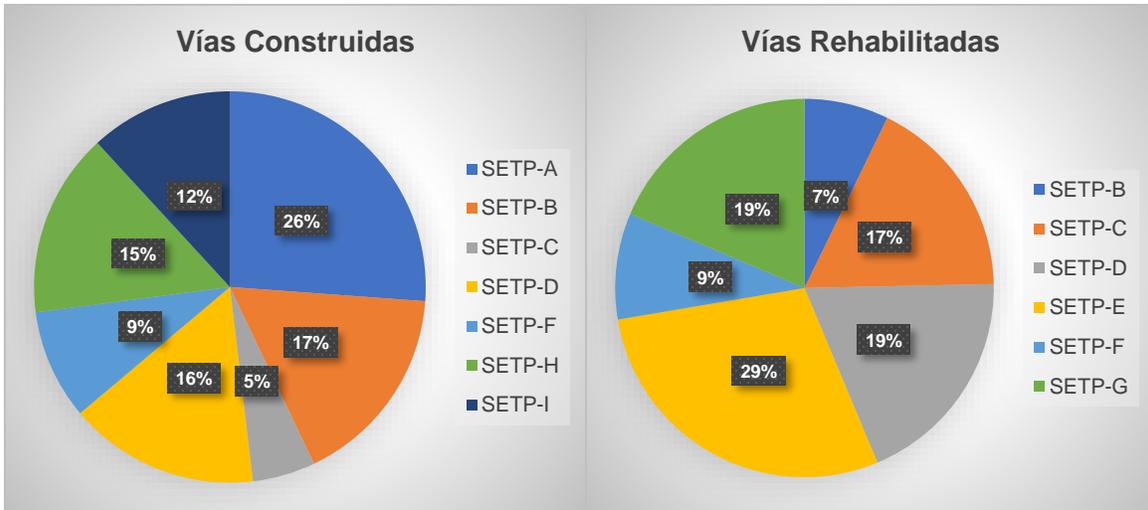
En la figura 18 se observa cómo se encontraba el sitio de obra (costado izquierdo) y cómo quedó al finalizar la intervención (costado derecho).

Figura 18*Antes y después de intervención proyecto SETP-I*

El proyecto SETP-I contempló una sola intervención, que corresponde a la construcción de 1.120 m de vía para el intercambiador ubicado en el barrio Altico.

Una vez consolidada la información expuesta y de acuerdo con lo observado en el costado izquierdo de la figura 19, de la longitud de vías construidas, el 26% fueron ejecutadas en el proyecto SETP-A, el 17% en el proyecto SETP-B, el 16% en el proyecto SETP-D, el 15% en el proyecto SETP-H, el 12% en el proyecto SETP-I, el 9% en el proyecto SETP-F y el 5% restante, en el proyecto SETP-C. Con relación a las vías rehabilitadas (costado derecho de la figura 23), el 29% fueron ejecutadas en el proyecto SETP-E, un 19% en el proyecto SETP-D, otro 19% en el proyecto SETP-G, el 17% por el proyecto SETP-C, el 9% por el proyecto SETP-F y el 7% restante, por el proyecto SETP-B.

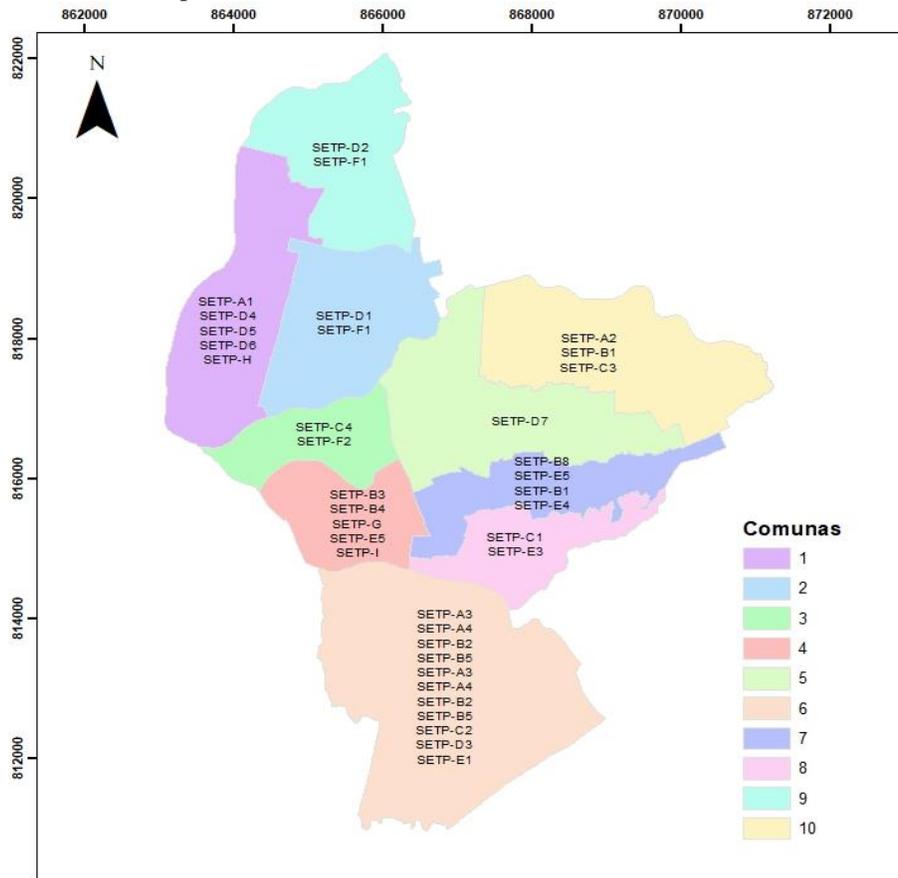
Figura 19*Vías construidas vs vías rehabilitadas*



En la figura 20 se observa el consolidado de las intervenciones realizadas por el SETP en las 10 comunas de la ciudad de Neiva.

Figura 20

Intervenciones realizadas por comunas



Finalmente, teniendo en cuenta la información detallada en las tablas 2 a 12, se puede concluir que entre los años 2016 y 2020, en la ciudad de Neiva se han intervenido 22.917 m de vías, de las cuales, 13.447 m fueron rehabilitadas y 9.470 m fueron construidas como corredores nuevos. De las intervenciones realizadas, el 95,65% corresponde a vías que fueron ejecutadas en pavimento flexible, el 3,35% en pavimento rígido y 1,00% en pavimento articulado, (ver tabla 13).

Tabla 13

Intervenciones realizadas por SETP en periodo 2016-2020

Intervenciones realizadas (Longitud)			
Nueva (Km)	Rehabilitación (Km)	Total (Km)	
9,470	13,447	22,917	
Porcentaje de pavimento			
Flexible (%)	Rígido (%)	Articulado (%)	Total (%)
95,65%	3,35%	1,00%	100,00%

4 Ejes Temáticos, Variables e Indicadores de Sostenibilidad Aplicables a la Infraestructura Vial

En este capítulo, una vez identificadas y caracterizadas las vías que han sido construidas y rehabilitadas en el municipio de Neiva por parte del SETP en el periodo comprendido entre los años 2016 y 2020; se procedió en primer lugar a consultar bibliografía asociada a indicadores aplicables a infraestructura vial con el fin de identificar y analizar las categorías y programas a los que pertenecían, su definición, objetivos y formas de medición.

En segundo lugar, se escogieron aquellos indicadores, categorías y programas que se vincularan entre sí, que pudieran ser medidos con facilidad y que se pudieran clasificar dentro de las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, económica y social.

Finalmente, a partir de los lineamientos seleccionados, se propuso una matriz de indicadores con sus respectivas fichas metodológicas, la cual fue evaluada por un grupo de expertos en infraestructura vial con el propósito de establecer la ponderación de sus variables y ejes temáticos. A continuación, se presentan de forma detallada los resultados de este proceso:

4.1 Indicadores de Infraestructura Vial Existentes

Primero se analizaron los indicadores propuestos en la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura Subsector Vial, presentada en el año 2011 por el INVÍAS y el Gobierno Nacional con el propósito de realizar un seguimiento al Plan de Adaptación de la Guía Ambiental (PAGA) en el sitio de influencia del proyecto durante el desarrollo de las obras (Instituto Nacional de Vías, 2011). En este documento se presentan 39 indicadores adscritos a 24 programas, de los cuales se depuraron y seleccionaron 15 indicadores de tipo social y ambiental, descritos en la tabla 14.

Tabla 14

Indicadores y forma de evaluación

No.	PROGRAMA /PROYECTO	OBJETIVO PROGRAMA/PROYECTO	INDICADOR	FORMA DE EVALUACIÓN
1	Cumplimiento de requerimientos legales	Contar con todos los permisos, autorizaciones, licencias y/o concesiones por uso e intervención de recursos naturales que requiere el proyecto.	Cumplimiento de requerimientos legales	No. De permisos obtenidos = No. De permisos requeridos por el proyecto
2	Manejo integral de materiales de construcción	Prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales que se generen por el manejo de los materiales de construcción.	Calidad del aire	Resultados de monitoreo calidad de aire (material particulado) = Parámetros de la norma ò de la línea base.
3			Calidad del agua	Resultados monitoreo de calidad de agua (sólidos)= Parámetros de la norma o de la línea base.
4	Explotación fuentes de materiales	* Establecer los lineamientos para la obtención de las licencias temporales.	Contar con la licencia ambiental.	Verificación de las licencias ambientales
5		* Dar las medidas mínimas necesarias, que se deben considerar durante la explotación de materiales, especialmente para cuando de deban atender obras de emergencia.	Requerimientos	Verificar que cumpla con el 100% de los requerimientos establecidos en el acto administrativo.
6	Manejo y disposición final de escombros y lodos	* Cumplir con las normas legales vigentes para el manejo, transporte y disposición final de los escombros. * Prevenir, minimizar y/o controlar los impactos que se producen sobre el medio ambiente, por la disposición de escombros.	Requerimientos autoridades e interventoría.	Requerimientos emitidos por autoridades ambientales = 0.

7	Manejo y disposición final de residuos sólidos convencionales y especiales	* Cumplir con la política ambiental de gestión integral de residuos sólidos. * Cumplir con la política de manejo de residuos peligrosos.	Volumen de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario.	RSD= RSG-(RSR1+RSR2)-RSP Registro de entrega de RSP a empresas autorizadas.
8			Volumen residuos peligrosos (RSP).	Vol. RSP entregados/Vol. RSP generados.
9	Manejo de aguas superficiales	* Cumplir con las normas legales vigentes para la captación, transporte y uso del agua. * Prevenir, minimizar y/o controlar los impactos que se producen sobre el recurso hídrico.	Acciones implementadas	Cumplir con el 100% de las medidas propuestas en los programas para manejo de agua superficial.
10			Calidad del agua	Análisis realizados = valores de los parámetros permitidos por norma ó línea base.
11	Manejo de Residuos líquidos, Domésticos e Industriales	* Prevenir, controlar y mitigar los impactos generados por los vertimientos de los residuos líquidos. * Plantear soluciones individuales para cada uno de los sitios donde se generan aguas residuales.	Calidad ambiental (agua, suelo).	Análisis de los Parámetros de los vertimientos = a lo establecido en la norma ó en la línea base
12	Instalación, funcionamiento y desmantelamiento de campamentos y sitios de acopio temporal.	Prevenir, minimizar y controlar los impactos generados por la instalación, operación y desmantelamiento del campamento y áreas de acopio temporal	Medidas ambientales realizadas	No. medidas ambientales ejecutadas/ No. medidas ambientales programadas.
13	Instalación, funcionamiento y desmantelamiento de la planta de trituración, asfalto y concreto.	Prevenir, minimizar y controlar los impactos generados por la instalación, funcionamiento y desmantelamiento de las plantas de trituración, asfalto y concreto.	Calidad Ambiental (ruido y aire)	Monitoreos de calidad de aire y niveles de ruido = línea base ó valores permitidos según la norma.

14	Manejo de la Infraestructura de Predios y de Servicios Públicos	Registrar el estado físico de todas las construcciones e infraestructura previo al inicio de las actividades constructivas.	Levantamiento Actas de Vecindad.	No. De actas de vecindad levantadas/ No. De viviendas aledañas al proyecto.
15	Protección al Patrimonio Arqueológico y Cultural	Proteger el Patrimonio Arqueológico y Cultural de la Nación	Patrimonio Arqueológico	Relación entre el Patrimonio rescatado/ Patrimonio hallado. Relación entre el Patrimonio cultural protegido/No. De patrimonios identificados.

Nota. La tabla presenta los indicadores seleccionados de la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura Subsector Vial. Tomado de *Tabla 8-1.* (Instituto Nacional de Vías, 2011).

Después, se revisaron los 34 indicadores propuestos por Gaviria (2013), pertenecientes a cinco dimensiones: institucional, de tecnología e innovación, económica, ambiental y social; de los cuales se escogieron 13 indicadores de las dimensiones institucional, económica, ambiental y social, presentados en la tabla 15.

Tabla 15

Grupo de indicadores y variables

No.	PROGRAMA /PROYECTO	ID	INDICADOR	DEFINICIÓN	FORMA DE EVALUACIÓN	OBSERVACIONES
1	Indicador institucional	1,1 BV1	Huella ecológica	Consiste en evaluar el impacto sobre el planeta del proyecto y, compararlo con la biocapacidad del planeta.	$H = (E / Cf) + SP$	H= huella ecológica Cf= C fijación E= Emisiones; Emisiones kgCO2= Consumo (un) *Factor Emisión(KgCO2/un) SP= Superficie del proyecto
2	Indicador de economía	2,1 AV1	Indicador de eficiencia	Mide el nivel de ejecución del proceso, se concentran en él cómo se hicieron las cosas y mide el rendimiento de los recursos utilizados para un proceso económicamente sostenible.	$IE = EP / PD * 100$	IE= Indicador de eficiencia EP= Ejecución presupuestal de la obra. PD= Presupuesto definitivo destinado a la obra.
3	Indicador de economía	2,1 BV2	Consumo de materiales	Tiene como objetivo conocer con detalle su consumo interno, ya sea por producto o por categoría de productos, facilitando la monitorización de la eficiencia en el	$MtC = MD + MNR$	Mtc= Cantidad total de materiales consumidos MD= Materiales presentes en los productos finales. MNR= Recursos que no se renuevan en un corto plazo de tiempo, tales como minerales, metales, petróleo, gas, carbón, etc.

3	Indicador de economía	2,1 BV2	Consumo de materiales	uso de materiales y del coste de los flujos de materiales.		
4	Indicador ambiental	2,2 AV1	Ahorro de agua debido a la conservación y a mejoras en la eficiencia	Mide el ahorro y el uso eficiente del agua en las diferentes operaciones y procesos del proyecto.	BTAN=AECA-CACO	BTAN= Beneficio total anual neto (al implementar medidas de ahorro). AECA=Ahorros esperados en costos anuales relativos a la operación actual. CACO=Costos anuales de operación anual.
5		2,2 AV2	Volumen de agua reciclada y reutilizada	Medida de la eficiencia para demostrar el éxito de la organización a la hora de reducir las captaciones y vertidos totales de agua.	ARr= AR+Ar	ARr= Volumen de agua reciclada y reutilizada sobre la base de la demanda de agua satisfecha con agua reciclada/reutilizada. AR= Volumen de agua tratada antes de su reutilización Ar= Volumen de agua tratada antes de ser reciclada
6		2,2 BV1	Huella de Carbono	Busca calcular la cantidad de GEI que son emitidos directa o indirectamente a la atmósfera cada vez que se realiza un proceso productivo	Cantidad x factor de emisión = toneladas equivalentes de CO2	Los factores de emisión permiten estimar las emisiones de GEI a partir de datos de las actividades. Las fuentes de información más utilizadas son IPCC http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html , GHG www.ghgprotocol.org y Ecoinvent (http://www.ecoinvent.org/home/).

7	2,2 BV2	Emisiones de sustancias destructoras de la capa ozono	Medir las emisiones de ODS permitiendo evaluar en qué medida el proyecto incumple con la normativa presente y futura, y cuáles son sus riesgos probables en este ámbito	Emisiones = Producción + Importaciones – Exportaciones de Sustancias	Producción = Sustancias Producidas – Sustancias Destruídas mediante Tecnología – Sustancias empleadas en su totalidad como elementos para la fabricación de otros compuestos químicos. Importaciones = Sustancias compradas y usadas en el proyecto. Exportaciones = Sustancias producidas en el proyecto y usadas en sitios diferentes al área del proyecto.
8	2,2 BV3	Eficiencia energética	Optimizar el funcionamiento y el ciclo de vida de las infraestructuras y alcanzar el máximo ahorro de energía, la operatividad y el mantenimiento, sin comprometer la producción, y la comodidad.	ETA= Et0-Et1	ETA= Cantidad total de energía ahorrada por las iniciativas de reducción del consumo de energía y aumento de la eficiencia energética. Et0= Consumo de energía en un tiempo inicial Et1= Consumo de energía en un tiempo final
9	2,2 BV4	Energías renovables	Evalúa el uso de energías renovables como una estrategia energética sostenible.	ER= EiAC-ENR	ER= Energía intermedia adquirida y consumida procedente de fuentes renovables. EiAC= Cantidad de energía intermedia adquirida y consumida procedente de fuentes externas al proyecto. ENR= Energía intermedia adquirida y consumida procedente de fuentes no renovables

10	2,2 DV1	Generación de residuos peligrosos	Mide el consumo de residuos peligrosos en el proyecto y el óptimo transporte de ellos a sitios normalizados.	$RPT = RP_t + RP_i + RP_e + RP_{tt}$	<p>RPT= Peso total de los residuos peligrosos por destino</p> <p>RPt= Peso total de los residuos peligrosos transportados por destino = Peso de los residuos peligrosos transportados hasta la organización informante, por destinos, desde fuentes/proveedores externos que no son propiedad de la empresa + Peso de los residuos peligrosos transportados desde la organización informante, por destinos, hasta fuentes/proveedores externos que no son propiedad de la empresa + Peso de los residuos peligrosos transportados nacional y/o internacionalmente, por destino entre, ubicaciones propias, alquiladas o gestionadas por la empresa .</p> <p>RPi= Peso total de los residuos peligrosos importados.</p> <p>RPe= Peso total de los residuos peligrosos exportados.</p> <p>RPtt= Peso total de los residuos peligrosos tratados</p>
11	2,2 DV2	Generación de escombros	Indicar para cada categoría de residuos un índice de generación en función del peso o volumen.	$IGE = (RCD + RCD_i) / A$	<p>IGE= Escombros generados producto de la suma de los materiales no inertes e inertes</p> <p>RCD= No inertes generados totales</p> <p>RCDi= Inertes generados totales</p> <p>A= Área total de proyecto</p>

12		2,2 DV3	Reciclaje y reutilización de materiales	Plantear es medir la tendencia a la reutilización, reciclaje con el objeto de mejorar las posiciones en materia de reciclaje y reutilización	$R = RCD + RCDi$	R= Reciclaje producto de la suma de los materiales no inertes e inertes recuperados RCD= No inertes que justifican una separación y recogida selectiva. RCDi= Inertes que justifican una separación y recogida selectiva.
13	Indicador social	2,3 CV1	Índice de Gestión de Riesgo	Mide el desempeño o performance de la gestión del riesgo en el proyecto.	$IGR = IGRIR + IGRRR + IGRMD + IGRPF / 4$	IGR = Identificación del riesgo. IGRIR = Reducción del riesgo. IGRMD = Manejo de desastres. IGRPF = Gobernabilidad y protección financiera.

Nota. La tabla presenta los indicadores seleccionados del Diseño de un Sistema de Indicadores de Sostenibilidad como Herramienta en la Toma de Decisiones para la Gestión de Proyectos de Infraestructura en Colombia. Tomado de *Tablas 28 a 32.* (Gaviria, 2013).

En tercer lugar, se observaron en detalle los 66 indicadores propuestos por Avellaneda & Castiblanco (2021), quienes los ordenaron en 5 grandes categorías: ambiental, económica, funcional y sociocultural, avance del proceso y nivel de seguridad. Es importante manifestar que esta propuesta de indicadores tiene una forma subjetiva de ser medida a partir de rangos de calificación de acuerdo a lo observado por el evaluador. En la tabla 16 se presentan los 30 indicadores seleccionados de esta propuesta.

Tabla 16

Categorización de los requerimientos e indicadores con su respectiva nomenclatura

No.	CATEGORIA	ID	INDICADOR	DEFINICIÓN
1		RQCA-2	Plan de gestión de residuos	Aplicar las actividades técnicas, así como las pautas de diseño que deben desarrollar los contratistas, las cuales se encuentran establecidas y descritas en la guía técnica para el adecuado manejo de residuos sólidos en proyectos de infraestructura vial.
2		RQCA-3	Plan de prevención de la contaminación	Contar con un plan donde se utilicen métodos y prácticas que reduzcan los impactos asociados con el desarrollo y la construcción.
3		RQCA-4	Estudio para desarrollo de bajo impacto	Evaluar los impactos ambientales con el fin de garantizar el desarrollo sostenible en cada una de las etapas de los proyectos de infraestructura vial.
4		RQCA-5	Plan de mantenimiento del sitio	Contar con un plan de mantenimiento para el medio ambiente, servicios públicos, etc.
5	Ambiental	ICA-1	Sistema de gestión ambiental	Garantizar el cumplimiento y desarrollo eficaz de las acciones propuestas en el programa 1, el cual se encuentra en el capítulo 6.1 de la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura Vial.
6		ICA-4	Reducción del uso de combustible fósil	Fomentar el uso de maquinaria de última tecnología o hacer el cambio por combustibles alternativos.
7		ICA-5	Seguimiento del uso del agua	Implementación de sistemas de control y monitoreo de la disponibilidad de agua, asimismo, minimizar el consumo de agua potable, y proteger los humedales y aguas superficiales. También preservar funciones de amortiguación de inundaciones.

8		ICA-6	Eficiencia energética	Minimizar el consumo de energía, implementando sensores de iluminación, uso de pavimentos en frío, y sistemas de señalización inteligentes.
9		ICA-10	Minimización de materiales peligrosos	Establecer convenios con proveedores para devolución de baterías, cartuchos de impresoras, envases de combustible, filtros, etc.
10		ICA-12	Calidad del aire	Realizar mediciones o muestreos de calidad del aire de acuerdo con lo estipulado por el Decreto 02 de 1982, el Decreto 948 de 1995 y la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, referentes a la calidad del aire y los estándares de emisión de fuentes fijas (plantas de trituración o asfaltos). Para las fuentes móviles se requiere tener al día la revisión técnico-mecánica y de gases de cada uno de los vehículos en la obra.
11		RQCE-1	Análisis de costos del ciclo de vida	Reducir los costos de ciclo de vida y el consumo de recursos mediante el análisis del costo del ciclo de vida de las características claves del proyecto durante el proceso de toma de decisiones.
12	Económica	ICE-1	Materiales regionales	Implementar el uso de materiales locales que se encuentren certificados, disminuyendo las distancias de recorrido y, por lo tanto, los ciclos de las volquetas, permitiendo un menor gasto en transporte y a su vez una disminución considerable de las emisiones de CO ₂ .
13		ICE-3	Reutilización de materiales	Reducir los impactos del ciclo de vida, desde la extracción, producción y transporte de materiales vírgenes por materiales de reciclaje.
14		RQCFS-1	Plan de mitigación de ruido	Contar con un plan de mitigación de ruido durante la construcción para no ocasionar afectaciones a los residentes que se encuentra en la zona del proyecto
15	Funcional y sociocultural	ICFS-2	Uso del suelo/planificación comunitaria	Equilibrar las necesidades de la comunidad y el transporte a través de una mayor participación del público en el desarrollo del proyecto.
16		ICFS-5	Preservación histórica, arqueológica y cultural	Preservar, proteger o mejorar los bienes culturales e históricos, asimismo, evitar conflictos con la comunidad del área de influencia directa del proyecto.
17		RQCAP-2	Proceso constructivo	Contar con un plan que describa la planificación y control que se lleva desde el momento de la ejecución del proyecto.

18		ICAP-4	Sistema abierto para vehículos de alta ocupación	Habilitación para la circulación de vehículos de alta ocupación ya sea permanente o temporal con horario fijo o en función del estado de la circulación. Estos factores serán tenidos en cuenta en el diseño.
19		ICAP-5	Equilibrio en el movimiento de tierras	Reducir la necesidad de transporte de materiales equilibrando las cantidades de corte y relleno.
20		ICAP-6	Pavimento de larga vida	Minimizar los costos de vida mediante el diseño de estructuras de pavimento de larga duración.
21		ICAP-7	Pavimento permeable	Implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible como lo es el pavimento permeable con el fin de minimizar los impactos de la urbanización del ciclo hidrológico.
22	Avance del proceso	ICAP-8	Pavimento tranquilo	Disminuir el ruido de los neumáticos cuando entran en contacto con el asfalto.
23		ICAP-11	Flujo de tráfico mejorado	Reducir el consumo de petróleo y las emisiones al aire mejorando el flujo del tráfico.
24		ICAP-12	Transporte de mercancías	Mejorar la movilidad de carga, disminuir el consumo de combustible, los impactos de las emisiones y reducir el ruido relacionado al transporte de mercancías.
25		ICAP-13	Gestión de sistemas de transporte y operaciones	Proporcionar la adecuada planificación de accesibilidad de tránsito para la ejecución de operaciones dentro del proyecto.
26		ICAP-17	Diseño geométrico	Conectar el proyecto con la infraestructura vial existente, acoplándose correctamente a la topografía y demás condicionantes como accesos, redes, árboles, corrientes de agua, entre otros.
27		RQCNS-2	Cumplimiento de la normativa	Control en el estricto cumplimiento de la normativa o política nacional en materia de seguridad vial.
28		RQCNS-3	Plan de mantenimiento	Tener un plan de mantenimiento para la conservación de la superficie de la vía.
29		ICNS-1	Sistema de gestión de pavimento	Contar con un sistema de seguimiento y control con el fin de asegurar la garantía del pavimento construido.
30	Nivel de seguridad	ICNS-2	Preservación y mantenimiento de infraestructura vial	Mejorar la eficacia y la eficiencia de las labores de mantenimiento de la red vial nacional no concesionada. Asimismo, brindar estándares verificables para un conjunto amplio de actividades de mantenimiento de las carreteras.

Nota. La tabla presenta los indicadores seleccionados de la Guía para evaluar la sostenibilidad en proyectos viales adaptada a las condiciones de biodiversidad geográfica de Colombia. Tomado de *Tabla 11.* (Avellaneda & Castiblanco, 2021).

Luego, se analizó la propuesta de Suprayoga et al., (2020), quienes plantearon 111 indicadores, organizados en 10 grandes grupos: 1) Mitigación de la fragmentación del hábitat de las especies y gestión del uso de la tierra, 2) Mejora en la movilidad y la accesibilidad, 3) Prevención de la contaminación (suelo, agua, aire, luz, ruido), 4) Adaptación al cambio climático e infraestructura resiliente, 5) Mejora de la habitabilidad de la comunidad, 6) Eficiencia en el uso de los recursos, 7) Bienestar social y equidad, 8) Planificación integradora y toma de decisiones, 9) Utilización tecnológica para la mitigación del impacto y 10) Desarrollo sensible al contexto. De esta revisión se seleccionaron 41 indicadores de carácter económico, ambiental y social, que son presentados por los autores sin un sistema de evaluación (ver tabla 17).

Tabla 17

Conjunto de indicadores integrados para evaluar la sostenibilidad de proyectos de infraestructura vial

No.	GRUPO PRINCIPAL DE INDICADORES	INDICADORES
1		Protección de hábitats valiosos y zonas naturales
2	Mitigación de la fragmentación del hábitat de las especies y gestión del uso de la tierra	Equilibrar las cantidades de movimiento de tierras
3		Priorizar los suelos y materiales nativos para la construcción
4		Disminución de los cambios en el uso del suelo
5		Mejorar la accesibilidad a los servicios públicos y otros fines
6	Mejora en la movilidad y la accesibilidad	Mejorar la proximidad a las zonas de tránsito
7		Mejorar la accesibilidad al transporte público

8	Mejora en la movilidad y la accesibilidad	Mejorar la compatibilidad de diversos modos de transporte.
9		Reducción de las emisiones del tráfico (NOx, CO, PM > 10, CO2) y mejorar la calidad del aire local (y regional)
10		Minimizar los impactos en la atmósfera
11		Minimizar /controlar el ruido, la vibración, el polvo y la intrusión de la luz
12	Prevención de la contaminación (suelo, agua, aire, luz, ruido)	Reducir los materiales desperdiciados en la construcción
13		Proporcionar reciclaje in situ y recolección de residuos
14		Protección de los cursos de agua
15		Reducir la huella de gases de efecto invernadero (GEI)
16	Adaptación al cambio climático e infraestructura resiliente	Evitar las zonas propensas a los desastres en la construcción
17		Proteger los recursos arqueológicos e históricos
18	Mejora de la habitabilidad de la comunidad	Mitigación de los efectos de las emisiones en la salud humana y sobre la calidad de los ecosistemas urbanos
19		Utilizar materiales obtenidos localmente para la construcción
20		Reutilización de materiales de pavimento para la construcción
21		Selección de diseño rentable
22		Reducción de los usos de materias primas no renovables
23	Eficiencia en el uso de los recursos	Utilización de minerales no renovables
24		Utilización de energía renovable autóctona
25		Mejorar la eficiencia energética en la construcción y operación
26		Reducir el uso del agua en la construcción
27		Calidad ambiental equitativa
28		Reducir los impactos de la contaminación en grupos vulnerables de personas
29	Bienestar social y equidad	Mejorar la movilidad física y social de las personas

30	Bienestar social y equidad	Reducir el nivel de ruido para mejorar la calidad del sueño y la somnolencia diurna de los niños
31		Aplicación de auditoría en seguridad vial
32		Conformidad con las normas y requisitos técnicos, ambientales y sociales
33	Planificación integradora y toma de decisiones	Proporcionar la garantía de los contratistas para garantizar la durabilidad del pavimento
34		Asegurar fondos para el mantenimiento
35		Utilizar pavimento de alto rendimiento (basado en la evaluación del ciclo de vida) y mantenimiento de bajo presupuesto
36	Utilización tecnológica para la mitigación del impacto	Utilización de fuentes de energía solar en la construcción y el uso
37		Utilización de materiales de bajas emisiones
38		Utilizar equipos de bajas emisiones
39		Utilización de materiales reciclados
40		Utilización de monitoreo de datos para el uso del agua en la construcción.
41	Desarrollo sensible al contexto	Aplicación sensible al contexto consistente en diseños para mejorar la seguridad de la vía

Nota. La tabla presenta los indicadores seleccionados de Una revisión sistemática de los indicadores para evaluar la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura vial. Tomado de *Apéndice 6.* (Suprayoga et al., 2020).

En quinto y último lugar, se consideraron los 62 indicadores propuestos por Paredes-Vega et al., (2019) dispuestos en las tres dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, social y económica. De esta propuesta se eligieron 22 indicadores, expuestos en la tabla 18.

Tabla 18

Indicadores ambientales, sociales y económicos

No.	DIMENSIÓN	INDICADOR	IDENTIFICACIÓN
1		Reducción de emisiones y contaminantes del aire	A8
2		Reducción del uso de energía	A9
3		Uso de energía renovable o fuentes de energía alternativas	A10
4		Uso eficiente/reducción de consumo de agua potable	A11
5		Conservación y mejora de la cantidad de agua	A12
6		Reducción de contaminantes del aire	A13
7		Gestión del ruido	A14
8	Ambiental	Reducción de producción de residuos/reducir, reutilizar y reciclar materiales durante la construcción	A16
9		Prevención del impacto de derrames de los equipos durante la construcción	A17
10		Facilitar la deconstrucción y el reciclaje	A19
11		Utilizar materiales de la región	A20
12		Gestión eficiente de recursos naturales	A21
13		Desviar los desperdicios de los vertederos	A22
14		Reducir el traslado de los materiales excavados	A23
15		Mejorar la accesibilidad, la seguridad y la señalización de las obras	S6
16	Social	Mejorar el acceso y la movilidad de la comunidad, por ejemplo, a servicios básicos	S7
17		Patrimonio histórico, cultural y arqueológico	S10
18		Minimizar el ruido y las vibraciones	S20
19		Periodicidad de mantenimiento y reposición de material de la ruta	E3
20	Económico	Ratio uso materiales locales	E11
21		Tipo de carpeta a utilizar	E13
22		Geometría del camino	E14

Nota. La tabla presenta los indicadores seleccionados de Indicadores de sustentabilidad para la toma de decisiones en proyectos de caminos básicos. Tomado de *Tablas 1, 2 y 3.*

(Paredes-Vega et al., 2019).

4.2 Propuesta de Indicadores en Infraestructura Vial

Teniendo en cuenta los indicadores propuestos por los diferentes autores consultados, se elaboró una matriz que evaluara la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura vial. Para ello se definieron cuatro ejes temáticos que permitieran agrupar las dimensiones ambiental, económica y social de la sostenibilidad: selección del sitio, materiales y recursos, proceso constructivo y operación y mantenimiento. En cada uno de los ejes propuestos se establecieron unas variables, determinantes para la medición de una línea base de indicadores. A continuación, se describen los ejes temáticos y variables:

4.2.1 Selección del Sitio

Colombia cuenta con un considerable número de centros urbanos y productivos en la zona céntrica de su territorio; por ello y dado que el sistema carretero es el más representativo en términos de movilización de carga, la infraestructura vial del territorio nacional debería estar en condiciones de garantizar un veloz y eficiente transporte de grandes volúmenes de carga (especialmente de los productos agrícolas perecederos que son los de mayor oferta nacional) desde las poblaciones más aisladas hasta los mercados regionales (Pérez, 2005).

El área de construcción de un proyecto vial está afectada por una serie de factores de tipo topográfico, de uso de suelo (zona de amenaza, protección y/o restricción) y de accesibilidad que se asocian directamente con el tiempo y el presupuesto, necesarios para dar solución al problema de interconexión de dos lugares.

Por lo anterior, se definieron tres variables asociadas a condicionantes normativos, ambientales y técnicos que se deben considerar al momento de dar inicio a un proyecto de infraestructura vial. A continuación, se describen los criterios ligados al eje temático selección del sitio:

4.2.1.1 Territorio. A lo largo de la historia, el territorio se ha considerado como el espacio de hábitat de los seres vivos, el cual, de acuerdo con su geografía y posicionamiento en el planeta se delimita por fronteras, y sobre el mismo se crean naciones, entendidas como conjuntos de personas con origen, idioma y tradición común que se organizan mediante órganos públicos representativos; cada país es dueño y soberano de ese espacio territorial limítrofe entre ellas y del cual deben cuidar y salvaguardar, ejercer derecho y deber por medio de normas, políticas y legislaciones (Rodríguez-Páez et al., 2012, p. 80).

La variable territorio fue analizada a través de dos indicadores:

Porcentaje del área en amenaza y riesgo: Este indicador se asoció a la probabilidad que tiene el lote en donde se va a construir la vía, de ser afectado por un impacto físico, social, económico y ambiental. Los rangos de valoración para este indicador fueron: sin amenaza ni riesgo (si el porcentaje obtenido es de 0%), baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0,1% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

Porcentaje del área en protección o restricción: Este indicador se vinculó a la prohibición y/o restricción que tiene el lote donde se va a construir la vía, respecto a obstrucciones por redes (eléctricas, hidrosanitarias, de gas, voz y datos) y protección al patrimonio (arqueológico, cultural, histórico y ambiental). Los rangos de área de protección o restricción se clasificaron así: sin protección ni restricción (si el porcentaje obtenido es de 0%), baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0,1% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4.2.1.2 Movilidad. Es la manera en que las personas recorren distancias con el fin de desplegar las actividades que conforman sus estilos de vida en términos de tiempo y espacio. La movilidad se asocia a sistemas sociotécnicos generados por las industrias, los modos de transporte y comunicación y los discursos normativos (Cuadros Ibáñez, 2022).

En la variable movilidad se analizaron dos indicadores:

Porcentaje de accesibilidad: Este indicador relacionó la accesibilidad mecánica y peatonal que tiene el lote a intervenir. Los rangos de accesibilidad se clasificaron así: baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

Porcentaje de sistemas de transporte sostenible: Este indicador relacionó los tipos de combustible que utilizan los sistemas de transporte que circulan en la zona de intervención del proyecto. Los rangos de sistemas de transporte sostenible se clasificaron así: baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4.2.1.3 Servicios Públicos. La infraestructura de servicios públicos domiciliarios es definida como el conjunto de estructuras, redes y elementos para su funcionamiento, áreas de reserva para la localización de la infraestructura y áreas de afectación por el tendido de redes de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, gas naturales, telecomunicaciones y aseo (Concejo de Neiva, 2009).

En la variable servicios públicos se midieron:

Valor de cercanía y calidad a energía: Este indicador se asoció a la cobertura de la zona en relación con la disponibilidad y calidad del servicio de energía eléctrica. Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasificaron así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49),

media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

Valor de cercanía y calidad a acueducto: Este indicador se asoció a la cobertura de la zona en relación con la disponibilidad y calidad del servicio de acueducto. Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasificaron así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

Valor de cercanía y calidad a alcantarillado: Este indicador se asoció a la cobertura de la zona en relación con la disponibilidad y calidad del servicio de alcantarillado. Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasificaron así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

Valor de cercanía y calidad a residuos sólidos: Este indicador se asoció a la cobertura de la zona en relación con la recolección de residuos sólidos. Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasificaron así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

4.2.2 Materiales y Recursos

Este eje temático está asociado a todos aquellos materiales (agregados pétreos, asfalto, concreto y acero) y recursos (energía, agua y aire) que representan insumos que, hacen parte del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura vial.

Los agregados pétreos se constituyen como la materia prima en la industria química y de la construcción. En el sector de la construcción se utilizan principalmente para la elaboración del concreto, el asfalto y como afirmado de las diferentes capas que componen las vías (Agencia Nacional de Minería et al., 2021).

A continuación, se describen las variables asociadas a los materiales y recursos:

4.2.2.1 Selección. El proceso de planeación de todo proyecto facilita la adquisición, administración y distribución de los recursos y consiste en evaluar qué requerimientos técnicos, actores, horizonte temporal, presupuesto y posibles inconvenientes se pueden presentar en todas sus fases. Con ese diagnóstico es posible definir las actividades, responsables, recursos y productos que se generan (Agencia Nacional de Minería et al., 2021).

En esta variable se planteó el siguiente indicador:

Distancia al origen: Este indicador analizó la distancia al origen, de los materiales empleados para la construcción de la vía (pétreos, asfalto, concreto). Los rangos de distancia se determinaron de acuerdo con la ubicación en kilómetros (Km); si el material se encuentra localmente, el valor del indicador es bajo (<25 Km); si el material se encuentra fuera de la ciudad, es decir en cualquier sitio de orden nacional o regional, el valor del indicador es medio (25 Km - 1500 Km) y finalmente, si se hace necesario la importación de los materiales, el valor del indicador es alto (>1500 Km).

4.2.2.2 Energía. Por energías renovables se entienden todas las formas de energía producidas de manera sostenible y a partir de fuentes renovables: bioenergía, energía geotérmica, energía hidráulica, energía marina y térmica oceánica, energía solar y energía eólica (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2013b).

El Estado colombiano estableció el uso eficiente de la energía de manera que se pudiera obtener la mayor eficiencia energética en su forma original y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo, dentro del marco del desarrollo

sostenible y de acuerdo con la normatividad sobre medio ambiente y recursos naturales renovables (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2001).

En la variable energía se evaluó el siguiente indicador:

Porcentaje de energía renovable: Este indicador permitió identificar qué tan limpia es la energía que se utiliza en el proyecto. Los rangos de energía renovable se clasificaron así: baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4.2.2.3 Agua. Un 70% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua, de la cual, tan solo un 2,5% es dulce, mayormente dispuesta en glaciares y casquetes polares y en aguas subterráneas; por lo que solo un 0,3% del agua total del planeta está disponible para el consumo humano y ha alertado sobre la necesidad de realizar un uso racional de este recurso, indispensable para el desarrollo de la vida. De las actividades humanas, el sector de la construcción es el responsable del 16% del consumo mundial de agua y el 9% de su extracción en fuentes naturales, se utiliza en la industria de la producción de concreto (Revista Sector - Tendencia Sustentable, 2020).

Por lo anterior y ante el inminente aumento en la demanda de agua dadas las necesidades de la población actual y futura, se ha generado una serie de foros, agendas y cumbres internacionales que han promulgado la creación de marcos legales que propendan el uso racional del recurso hídrico.

En la variable agua se midió el siguiente indicador:

Uso racional del recurso: Este indicador permitió cuantificar qué tan eficiente es el uso del agua a partir de las facturas de consumo generadas por Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P, en la zona de influencia del proyecto. Los rangos de uso eficiente del agua se

clasificaron así: bajo (si el consumo es mayor a $100 \text{ m}^3/\text{Km}$), medio (si el consumo oscila entre 50 y $100 \text{ m}^3/\text{Km}$) y alto (si el consumo es menor a $50 \text{ m}^3/\text{Km}$).

4.2.2.4 Aire. Es una “mezcla de gases que constituye la atmósfera que envuelve la Tierra, factor indispensable para la vida y está compuesto por 21% de Oxígeno, 78% de Nitrógeno y 1% de otros (Argón, Helio, vapor de agua y Dióxido de Carbono)” (Ministerio de Transporte, 2015).

La contaminación atmosférica es la acumulación o concentración de contaminantes en el aire, entendidos estos últimos como fenómenos físicos, elementos o sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que, causan efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana emitiéndose al aire por causas naturales, por la acción del hombre o por la combinación de ambos factores (Gobierno Nacional - República de Colombia, 2015).

El Ministerio de Ambiente nacional definió los niveles máximos permisibles de contaminantes criterio: Material Particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$), Dióxido de Azufre (SO_2), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), ozono (O_3) y Monóxido de Carbono (CO); con el fin de que sean monitoreados por las autoridades ambientales mediante sistemas de vigilancia de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

En la variable aire se calculó:

Calidad del aire: Este indicador fue tomado de la Resolución 2254 de 2017 y permitió cuantificar los niveles de contaminación del aire a partir de la concentración de seis sustancias principales: material particulado con diámetro inferior a 10 micras (PM_{10}), material particulado con diámetro inferior a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3) y monóxido de carbono (CO), presentes en el área de intervención del proyecto (2017). La escala de valoración del índice se relacionó con la amenaza a la salud humana y sus

rangos se clasificaron así: Buena: 0 a 50, Moderada: 51 a 100, Dañina a la salud para grupos sensibles expuestos: 101 a 150, Dañina a la salud de personas expuestas: 151 a 200, Muy dañina para la salud: 201 a 300, Peligrosa: 301 a 500 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

4.2.2.5 Residuos. Los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se definen como la mezcla de materiales inertes y no inertes, que se generan por la excavación, renovación, restauración, construcción y demolición de las obras civiles. En estos residuos se incluyen los materiales blandos como el suelo, el lodo y la tierra y los duros: rocas, hormigón, metales, madera, plásticos y envases (Almusawi et al., 2022).

Se estima que más del 75% de los RCD no se utilizan ni reciclan debido a la falta de un marco de gestión integrada de residuos y a la economía lineal, basada en la noción de extraer, tomar, fabricar y desechar en vertederos o incineradores. Por lo anterior ha tomado sentido el término de Economía Circular con el fin de optimizar el consumo de materias primas, reducir los efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, asegurar el valor de los materiales a lo largo de su ciclo de vida y evitar el exceso de residuos (Purchase et al., 2022).

En esta variable se midió el siguiente indicador:

Distancia a sitios de disposición de desechos: Este indicador permitió medir la distancia entre el área del proyecto y el sitio de disposición de los escombros. Los rangos de distancia se determinan de acuerdo con la ubicación en kilómetros (Km); si el sitio de disposición se encuentra a 1 Km, el valor del indicador es cerca; si el sitio de disposición se encuentra a 2 Km, el valor del indicador es relativamente cerca; si el sitio de disposición se encuentra a 3 Km, el valor del indicador es medianamente cerca; si el sitio de disposición se

encuentra a 5 Km, el valor del indicador es lejos y si el sitio de disposición se encuentra a más 5 Km, el valor del indicador es muy lejos.

4.2.3 *Proceso Constructivo*

Diariamente los gobiernos de todo el mundo invierten en la construcción y mantenimiento de vías (Azarijafari et al., 2016). La Administración Federal de Carreteras del Departamento de Transporte de Estados Unidos estima que para el año 2030, el presupuesto asociado al mantenimiento y reparación de las vías y puentes existentes representará alrededor del 40% de todo el presupuesto invertido en el año 2010. Por su parte, en países europeos como Dinamarca, más del 40% del presupuesto público ha sido destinado a la red vial y en Brasil, específicamente en Sao Paulo, se ha invertido el 12,5% del presupuesto de 4 años, en la ejecución y mantenimiento de carreteras.

Aparte de su impacto económico, los proyectos de infraestructura vial son reconocidos por la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el consumo de combustibles y energía que requieren para su construcción.

Las variables asociadas a este eje temático son:

4.2.3.1 Preliminares. Las actividades preliminares comprenden a todas aquellas que se ejecutan previo al inicio de la etapa de instalación de la estructura del pavimento. Estas actividades son: entrega y localización del terreno, desmonte y limpieza, demoliciones y remociones, excavaciones, remoción de derrumbes, rellenos o terraplenes, pedraplenes, mejoramiento de la subrasante y afinamiento de taludes (Instituto Nacional de Vías, 2011).

El movimiento de tierras es la etapa de la construcción de carreteras que genera entre el 60% y el 85% de las emisiones totales en un proyecto de infraestructura vial y está directamente

asociado al desempeño de la maquinaria utilizada, el tipo de combustible que usa, el tipo de motor y su modelo (Barandica et al., 2013).

En la variable preliminares se analizaron:

Nivel de Presión Sonora: Este indicador se tomó del Banco de Indicadores para el Proceso de Licenciamiento Ambiental y midió la intensidad de ruido que emiten la maquinaria y equipos presentes en el proyecto, en un espectro audible que varía entre 0 dB y 120 dB. Los estándares máximos permisibles son: **Sector A - Tranquilidad y silencio** (hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios): 55 dB (día) y 50 dB (noche); **Sector B - Tranquilidad y ruido moderado** (zonas residenciales, hotelería y hospedajes, universidades y centros de estudio, parques en zonas urbanas): 65 dB (día) y 55 dB (noche); **Sector C - Ruido intermedio restringido** (zonas con usos permitidos industriales: 75 dB (día) y 75 dB (noche), comerciales 70 dB (día) y 60 dB (noche), de oficinas, institucionales 65 dB (día) y 55 dB (noche) y parques mecánico al aire libre 80 dB (día) y 75 dB (noche); **Sector D - Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado** (residencial suburbana, rural y zonas de recreación y descanso): 55 dB (día) y 50 dB (noche) (Ministerio de Ambiente, 2006).

Porcentaje de uso de combustibles: Este indicador se asoció al uso de combustibles alternativos. Los rangos de uso de combustibles alternativos se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4.2.3.2 Estructura de Pavimento. Los materiales empleados en la construcción de la estructura del pavimento se dividen en dos clases, las de los pavimentos flexibles y las de los rígidos. Los pavimentos flexibles generalmente consisten en un conjunto de capas conformadas por subbase granular, base granular y rodadura en asfalto; en algunos casos, se estabilizan los materiales granulares con el fin de maximizar el uso de materiales locales.

La gran inversión presupuestaria, la cantidad de emisiones de GEI, el rápido deterioro de la infraestructura del transporte y el elevado volumen de materias primas que se consumen cada año para su construcción y reparación; han hecho necesaria la inclusión de tecnologías y materiales que permitan hacer proyectos más ecológicos y rentables (Yao et al., 2022).

Se ha investigado acerca del aprovechamiento de materiales de desecho como reemplazo a los agregados en las diferentes capas de la estructura de los pavimentos; entre ellos se incluye Pavimento de Asfalto Recuperado (RAP), cenizas volantes, tejas de asfalto recicladas, lignina, desechos plásticos, ladrillos triturados, vidrio reciclado y caucho granulado (Salehi et al., 2021).

En la variable estructura de pavimento se evaluaron los siguientes indicadores:

Porcentaje de composición de subbase granular: Este indicador se asoció al origen de los agregados que componen la subbase granular utilizada en la vía. Los rangos de composición de subbase granular se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49% y significa que la mayoría de los agregados son naturales), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100% y significa que la mayoría de los agregados son reusados).

Porcentaje de composición de base granular: Este indicador se asoció al origen de los agregados que componen la base granular utilizada en la vía. Los rangos de composición de base

granular se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49% y significa que la mayoría de los agregados son naturales), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100% y significa que la mayoría de los agregados son reusados).

Porcentaje de composición de rodadura: Este indicador se asoció al origen de los agregados que componen la capa de rodadura del pavimento. Los rangos de composición de los materiales se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49% y significa que la mayoría de los agregados son naturales), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100% y significa que la mayoría de los agregados son reusados).

Índice de Rugosidad Internacional: Este indicador permitió cuantificar la regularidad de la capa de rodadura del pavimento aplicado. Los rangos de Índice de Rugosidad Internacional se clasificaron a partir de lo dispuesto en los artículos 450-22 (Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)) y 500-22 (Pavimento de concreto hidráulico) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras: **Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 0,10 m:** 40% de hectómetros: NT1: 2,4 m/Km, NT2: 1,9 m/Km, NT3: 1,4 m/Km, 80% de hectómetros: NT1: 3,0 m/Km, NT2: 2,5 m/Km, NT3: 2,0 m/Km, 100% de hectómetros: NT1: 3,5 m/Km, NT2: 3,0 m/Km, NT3: 2,5 m/Km. **En pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 0,10 m,** 40% de hectómetros: NT1: 2,9 m/Km, NT2: 2,4 m/Km, NT3: 1,9 m/Km, 80% de hectómetros: NT1: 3,5 m/Km, NT2: 3,0 m/Km, NT3: 2,5 m/Km, 100% de hectómetros: NT1: 4,0 m/Km, NT2: 3,5 m/Km, NT3: 3,0 m/Km (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2022).

4.2.4 Operación y Mantenimiento

Luego de prestarle atención durante mucho tiempo a la construcción de infraestructura vial en países desarrollados y de gran crecimiento demográfico, se ha generado la necesidad de replantear el presupuesto empleado en el mantenimiento y reparación de las vías en función de su calidad y seguridad. La Administración Federal de Carreteras del Departamento de Transporte de Estados Unidos informó que, a partir del año 2030 se emplearán aproximadamente entre 65.000 y 83.000 millones de dólares anuales, en gastos asociados con el mantenimiento de las redes viales (carreteras y puentes) (Ma et al., 2021).

Ante este panorama y teniendo en cuenta la cantidad de impactos ambientales negativos que se generan por la construcción de nuevas vías, cada vez cobra mayor relevancia la metodología LCA, con el fin de desarrollar modelos y herramientas que permitan reducir el uso de materias primas no renovables, alargar la vida de los pavimentos y disminuir la frecuencia de las actividades de mantenimiento.

A continuación, se presentan las variables asociadas a este eje temático:

4.2.4.1 Seguridad. Los accidentes de tránsito en el mundo ocurren aproximadamente cada dos segundos y son consecuencia de uno o más factores que se asocian al sistema carretera – vehículo – individuo. Una vía segura, coherente y homogénea debe ofrecer comprensibilidad, lo que influye en el nivel de atención del conductor y en la rapidez con la que procesa la información para garantizar una conducción segura en pleno cumplimiento de las normas de tránsito (Acerra et al., 2023).

Anualmente 1,35 millones de personas fallecen en las carreteras del mundo por lesiones causadas por el tránsito y cerca de 50 millones no sufren lesiones fatales. Los países de ingresos bajos y medianos son los que aportan más del 90% de estas cifras. Los accidentes de tránsito

involucran a todos los actores de la vía: peatones y conductores y son la principal causa de muerte en niños y adolescentes entre los 5 y 29 años (Rosen et al., 2022).

En la variable seguridad se analizaron:

Estado de señalización vertical: Este indicador se asoció al estado de la señalización vertical en términos de posición, legibilidad y retrorreflectividad. Los rangos de estado de la señalización vertical se clasificaron así: malo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), regular (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y bueno (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

Estado de señalización horizontal: Este indicador se asoció al estado de la señalización horizontal en términos de alineamiento, retrorreflectividad y cantidad de tachas. Los rangos de estado de la señalización horizontal se clasificaron así: malo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), regular (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y bueno (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

Drenaje superficial: Este indicador se vinculó al estado de los drenajes superficiales (cunetas, zanjas, alcantarillas, canales, encoles, descoles y otras obras de drenaje existentes) en términos de limpieza, filtraciones y fisuras. Los rangos de obstrucción de los drenajes superficiales se clasificaron así: malo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), regular (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y bueno (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4.2.4.2 Operación. Una vez terminado el proyecto vial, se realiza su habilitación con el fin de cumplir el propósito de su diseño y construcción: permitir el tránsito libre y seguro de todos los usuarios (peatones, ciclistas y conductores de motocicletas y vehículos).

Ante la aplicación constante de cargas, efectos del intemperismo y cambios en la temperatura, es normal que se presenten afectaciones en los pavimentos, por ello, surge la necesidad de identificarlos a través de inspecciones periódicas.

En la variable operación se analizaron los siguientes indicadores:

Porcentaje de daños del pavimento flexible: Este indicador fue tomado a partir de los daños descritos en el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, a partir de un análisis de las fisuras, deformaciones, daños superficiales, deterioro en las capas estructurales y otros daños (Universidad Nacional de Colombia & Instituto Nacional de Vías, 2006a). Los rangos de daños en el pavimento flexible se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

Porcentaje de daños del pavimento rígido: Este indicador fue tomado a partir de los daños descritos en el Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, a partir de un análisis de las grietas y agrietamientos, juntas, deterioro superficial, otros daños, daños en bermas (Universidad Nacional de Colombia & Instituto Nacional de Vías, 2006b). Los rangos de daños en el pavimento rígido se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4.2.4.3 Mantenimiento. Las actividades de mantenimiento agrupan todos aquellos trabajos viales que, a través de procedimientos generales, garantizan los requerimientos de calidad de la carretera. Se clasifican en periódicos y rutinarios, siendo los primeros, aquellas acciones que se requieren ocasionalmente o con una periodicidad superior a un año y que son determinadas por el tránsito y las condiciones meteorológicas. Los mantenimientos rutinarios se realizan a lo largo del año y son independientes a la intensidad del tránsito y las condiciones meteorológicas (Ministerio de Transporte & Instituto Nacional de Vías, 2016).

Luego de las etapas de producción de materias primas y construcción de carreteras, se ha identificado que, en la fase de uso, la interacción pavimento - vehículo ha variado la rugosidad, macrotextura y la capacidad de respuesta estructural del pavimento, lo que ha reducido su tiempo de uso y ha aumentado la periodicidad de las actividades de mantenimiento y rehabilitación (Liu et al., 2022).

El mantenimiento de la infraestructura vial cada vez resulta ser un tema de mayor relevancia para el presupuesto público, la eficiencia del transporte, la experiencia y seguridad de los usuarios. Las actividades de mantenimiento vial están asociados a altos consumos de recursos y grandes emisiones de GEI y materiales de desecho (Barandica et al., 2013).

Los indicadores asociados a la variable mantenimiento fueron:

Porcentaje de afectación por vegetación: Este indicador determinó qué tan obstruida se encuentra la vía por la vegetación presente. Los rangos de afectación por vegetación se clasificaron así: sin afectación (si el porcentaje obtenido es 0%), baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0,1% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

Porcentaje de presupuesto invertido en reparación y mantenimiento: Este indicador midió el presupuesto invertido en la reparación y mantenimiento de la vía construida. Los rangos de presupuesto invertido se clasificaron así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 15%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 16% y 30%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 31% y 100%).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, en la tabla 19 se presentan los ejes temáticos, variables e indicadores propuestos.

Tabla 19

Propuesta de ejes temáticos, variables e indicadores

EJE	VARIABLE	INDICADOR	
Selección del sitio	Territorio	Porcentaje del área en amenaza y riesgo	
		Porcentaje del área en protección o restricción	
	Movilidad	Porcentaje de accesibilidad	
		Porcentaje de sistemas de transporte sostenible	
	Servicios públicos		Valor de cercanía y calidad a energía
			Valor de cercanía y calidad a acueducto
			Valor de cercanía y calidad a alcantarillado
		Valor de cercanía y calidad a residuos sólidos	
Materiales y recursos	Selección	Distancia al origen	
	Energía	Porcentaje de energía renovable	
	Agua	Uso racional del recurso	
	Aire	Calidad del aire	
	Residuos	Distancia a sitios de disposición de desechos	
Proceso constructivo	Preliminares	Nivel de presión sonora	
		Porcentaje de uso de combustibles	
	Estructura pavimento		Porcentaje de composición de subbase granular
			Porcentaje de composición de base granular
			Porcentaje de composición de rodadura
		Índice de Rugosidad Internacional	
Operación y mantenimiento	Seguridad	Estado de señalización vertical	
		Estado de señalización horizontal	
		Drenaje superficial	
	Operación	Porcentaje de daños del pavimento flexible	
		Porcentaje de daños del pavimento rígido	
	Mantenimiento	Porcentaje de afectación por vegetación	
	Porcentaje de presupuesto invertido en reparación y mantenimiento		

Una vez establecidos los ejes temáticos y variables, se procedió a realizar un panel con 5 expertos en proyectos de infraestructura vial (tres especialistas en vías y dos magister en ingeniería), pertenecientes al sector público, privado y la academia con el fin de definir su ponderación (tablas 20 a 24).

Tabla 20

Ponderación ejes temáticos

Ponderación Ejes Temáticos				
Experto	Selección del sitio	Materiales y recursos	Proceso constructivo	Operación y mantenimiento
Experto 1	22%	26%	26%	26%
Experto 2	25%	25%	25%	25%
Experto 3	26%	26%	26%	22%
Experto 4	20%	33%	27%	20%
Experto 5	26%	22%	26%	26%
Promedio	23,80%	26,40%	26,00%	23,80%
Valor final	24%	26%	26%	24%

Tabla 21

Ponderación de variables del eje temático selección del sitio

Selección del sitio			
Experto	Territorio	Movilidad	Servicios públicos
Experto 1	33%	33%	34%
Experto 2	30%	50%	20%
Experto 3	33%	33%	34%
Experto 4	35%	40%	25%
Experto 5	30%	35%	35%
Promedio	32,20%	38,20%	29,60%
Valor final	32%	38%	30%

Tabla 22

Ponderación de variables del eje temático materiales y recursos

Materiales y recursos					
Experto	Selección	Energía	Agua	Aire	Residuos

Experto 1	20%	15%	20%	15%	30%
Experto 2	15%	20%	35%	15%	15%
Experto 3	20%	20%	20%	20%	20%
Experto 4	25%	25%	15%	10%	25%
Experto 5	21%	21%	22%	18%	18%
Promedio	20,20%	20,20%	22,40%	15,60%	21,60%
Valor final	20%	20%	22%	16%	22%

Tabla 23

Ponderación de variables del eje temático proceso constructivo

Proceso constructivo		
Experto	Preliminares	Estructura de pavimento
Experto 1	40%	60%
Experto 2	50%	50%
Experto 3	40%	60%
Experto 4	40%	60%
Experto 5	50%	50%
Promedio	44,00%	56,00%
Valor final	44%	56%

Tabla 24

Ponderación de variables del eje temático operación y mantenimiento

Operación y mantenimiento			
Experto	Seguridad	Operación	Mantenimiento
Experto 1	34%	33%	33%
Experto 2	30%	30%	40%
Experto 3	40%	20%	40%
Experto 4	34%	33%	33%
Experto 5	40%	30%	30%
Promedio	35,60%	29,20%	35,20%
Valor final	36%	29%	35%

Luego de establecer los indicadores y definir la ponderación de las respectivas variables y ejes temáticos, se procedió a elaborar el contenido de la hoja metodológica de los indicadores de la siguiente manera (ver tabla 25):

Tabla 25

Hoja metodológica de indicadores

CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
	Código del Indicador – Estructura: ILBIV-TET-AR-1,
Indicador No.	Donde: ILBIV: Indicador Línea Base aplicable a Infraestructura Vial TET: Código Variable AR: Nombre Indicador No.: Número del Indicador (Consecutivo)
1. Nombre del Indicador	Nombre completo del indicador
2. Tipo de indicador:	Ambiental Económico Social
3. Descripción del Indicador	Definición del indicador, explicación del eje temático y variable al que pertenece, qué mide y los rangos de valoración.
4. Objetivo del Indicador	Describe el objetivo principal del indicador en relación con el proyecto de investigación.
5. Unidad de Medida	Cantidad estandarizada, concertada y definida para medir el indicador.
6. Variables	Define cada una de las variables usadas en el cálculo del indicador.
7. Fórmula	Expresión matemática que permite el cálculo del indicador (Contiene las variables que permiten calcular el resultado del indicador).
8. Periodicidad:	Frecuencia de obtención de los datos para el cálculo del indicador; sea ésta decenal, quinquenal, cuatrianual, anual, semestral, trimestral, mensual o según estudio realizado.
9. Normatividad y Estándares Técnicos	Asociado a las normas que se relacionan al indicador
10. Fuente de información	Define la entidad que proporciona información asociada al indicador.
11. Fecha Línea Base	Indica la fecha en que se mide el indicador.
12. Restricciones del Indicador	Puntualiza las restricciones que posee el indicador.
13. Responsable del indicador	Nombre de entidad o dependencia encargada de los datos o información para la elaboración del indicador.
14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica	Nombre completo de quien elaboró la Hoja Metodológica.
15. Fecha de elaboración	Fecha de elaboración de la hoja metodológica.
16. Revisó y Aprobó	Nombre y firma de quien aprobó la hoja metodológica.

En el anexo 1 se incluyeron las hojas metodológicas de los 26 indicadores propuestos.

Finalmente, en la tabla 26 se consolidaron los ejes temáticos y su ponderación, las variables y su ponderación y la información principal de los indicadores propuestos: código, nombre, unidad de medida, fórmula y rangos de valoración.

Tabla 26

Listado de indicadores con fórmulas y rangos de valoración

EJE	PONDERACION EJE	VARIABLE	PONDERACION VARIABLE	CÓDIGO DEL INDICADOR	INDICADOR	FORMULA	RANGOS DE VALORACION
Selección del sitio	24%	Territorio	32%	ILBIV-TET-AR-1	Porcentaje del área en amenaza y riesgo	CAR = (0,3 CVA + 0,7 CVR) *100 CAR: Calificación amenaza y riesgo CVA: Calificación variable amenaza CVR: Calificación variable riesgo	Alta:90 a 100% Media:50 a 89% Baja: 0,1 a 49% Sin amenaza ni riesgo: 0%
				ILBIV-TET-PR-2	Porcentaje del área en protección o restricción	PPR = %CPR APR: Área de protección o restricción %PPR: Porcentaje de área de protección o restricción	Alta: 90 a 100% Media: 50 a 89% Baja: 0,1 a 49% Sin protección ni restricción: 0%
		Movilidad	38%	ILBIV-MOV-AC-3	Porcentaje de accesibilidad	TAC = (0,7 ME + 0,3 PE) *100 TAC: Tipo de accesibilidad ME: Mecánica PE: Peatonal	Alta: 90 a 100% Media: 50 a 89% Baja: 0 a 49%

			ILBIV-MOV-ST-4	Porcentaje de sistemas de transporte sostenible	$TST = (0,4 ME + 0,3 MGNV + 0,2 MD + 0,1 MLINA) * 100$ TST: Tipos de sistemas de transporte ME: Masivo eléctrico MGNV: Masivo gas natural vehicular MD: Masivo diésel MLINA: Masivo gasolina	Alta: 90 a 100% Media: 50 a 89% Baja: 0 a 49%
			ILBIV-SRP-EN-5	Valor de cercanía y calidad a energía	$AEN = 0,5 FCE + 0,5 CSE$ AEN: Acceso a servicio de energía FCE: Facilidad de conexión a servicio de energía CSE: Calidad del servicio de energía	Alta: 0,90 a 1,0 Media: 0,50 a 0,89 Baja: 0 a 0,49
Servicios públicos	30%		ILBIV-SRP-AC-6	Valor de cercanía y calidad a acueducto	$AAC = 0,5 FCAC + 0,5 CSAC$ AAC: Acceso a acueducto FCAC: Facilidad de conexión a acueducto CSAC: Calidad del servicio de acueducto	Alta: 0,90 a 1,0 Media: 0,50 a 0,89 Baja: 0 a 0,49
			ILBIV-SRP-AL-7	Valor de cercanía y calidad a alcantarillado	$AAL = 0,5 FCAL + 0,5 CSAL$ AAL: Acceso a alcantarillado FCAL: Facilidad de conexión a alcantarillado CSAL: Calidad del servicio de alcantarillado	Alta: 0,90 a 1,0 Media: 0,50 a 0,89 Baja: 0 a 0,49

Materiales y recursos	26%			ILBIV-SRP- RS-8	Valor de cercanía y calidad a residuos sólidos	ARRS = 0,7 FAR + 0,3 ARRS: Acceso a recolección de residuos sólidos FAR: Facilidad acceder al servicio de recolección CSRRS: Calidad del servicio de recolección de residuos sólidos	Alta: 0,90 a 1,0 Media: 0,50 a 0,89 Baja: 0 a 0,49
		Selección	20%	ILBIV-SEL- DO-9	Distancia al origen	ADOM = $\sum DM$ ADOM: Análisis de distancias al origen de materiales: Agregados pétreos y granulares, asfalto, concreto $\sum DM$: Sumatoria de distancias	Rangos para cada tipo de material (km): Local: bajo Nacional o Regional: medio Importados: alto
		Energía	20%	ILBIV-ENE- ER-10	Porcentaje de energía renovable	ERN = (0,25 ES + 0,25 EH + 0,25 EB + 0,25 EA) * 100 ERN: Energías renovables ES: Energía solar EH: Energía hidráulica EB: Energía de la biomasa EA: Otra energía alternativa	Alta: 90 a 100% Media: 50 a 89% Baja: 0 a 49%
		Agua	22%	ILBIV-AGU- UA-11	Uso racional del recurso	URR = PMC URR: Uso racional recurso PMC: Promedio módulo de consumo	Promedio módulo de consumo mensual Alta: <50 m ³ /Km Media: >50 - < 100 m ³ /Km

					$ICA = \left(\frac{I_{HI} - I_{L0}}{BP_{HI} - BP_{L0}} \right) * C_i$ <p>ICA: Índice de calidad del aire para la sustancia contaminante P de un sistema de calidad del aire durante un tiempo <i>C_i</i>: Concentración de la sustancia P de un sistema de calidad de aire durante un tiempo <i>BP_{HI}</i>: Punto de corte mayor o igual a la concentración medida del contaminante P <i>BP_{L0}</i>: Punto de corte mayor o igual a la concentración medida del contaminante P <i>I_{HI}</i>: Valor del ICA correspondiente al punto de corte <i>BP_{HI}</i> <i>I_{L0}</i>: Valor del ICA correspondiente al punto de corte <i>BP_{L0}</i></p>	<p>Baja: > 100 m³/Km</p> <p>Buena: 0 a 50</p> <p>Moderada: 51 a 100</p> <p>Dañina a la salud para grupos sensibles expuestos: 101 a 150</p> <p>Dañina a la salud de personas expuestas: 151 a 200</p> <p>Muy dañina para la salud: 201 a 300</p> <p>Peligrosa: 301 a 500</p>
Aire	16%	ILBIV-AIR-CA-12	Calidad del aire			
Residuos	22%	ILBIV-RES-DD-13	Distancia a sitios de disposición de desechos	<p>DSD = CDD</p> <p>DSD: Distancia a sitios de disposición CDD: Distancia de disposición</p>	<p>Cerca: 1 Km</p> <p>Relativamente cerca: 2 Km</p> <p>Medianamente cerca: 3 Km</p> <p>Lejos: 5 Km</p> <p>Muy Lejos: > 5 Km</p>	

Proceso constructivo	26%	Preliminares	44%	ILBIV-PRE-PS-14	Nivel de presión sonora	$NPS = 20 \times \text{Log}_{10}\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$ <p>NPS: Nivel de presión sonora P: Presión sonora registrada (μPa) P_{ref}: Presión de referencia a la presión de un tono audible (20 μPa)</p>	Estándares máximos permisibles Sector A - Tranquilidad y silencio (hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios): 55 dB (día) y 50 dB (noche) Sector B - Tranquilidad y ruido moderado (zonas residenciales, hotelería y hospedajes, universidades y centros de estudio, parques en zonas urbanas): 65 dB (día) y 55 dB (noche) Sector C - Ruido intermedio restringido (zonas con usos permitidos industriales: 75 dB (día) y 75 dB (noche), comerciales 70 dB (día) y 60 dB (noche), de oficinas,
----------------------	-----	--------------	-----	-----------------	-------------------------	--	--

					institucionales 65 dB (día) y 55 dB (noche) y parques mecánico al aire libre 80 dB (día) y 75 dB (noche) Sector D - Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado (residencial suburbana, rural y zonas de recreación y descanso): 55 dB (día) y 50 dB (noche)
				ILBIV-PRE-UC-15	<p>Porcentaje de uso de combustibles</p> <p>UCB: (0,3 CF + 0,7 CA) *100</p> <p>UCB: Uso de combustibles CF: Combustibles fósiles CA: Combustibles alternativos</p> <p>Rango de uso de combustibles alternativos Alto: 90 a 100% Medio: 50 a 89% Bajo: 0 a 49%</p>
Estructura pavimento	56%	ILBIV-ESP-CS-16	Porcentaje de composición de subbase granular	<p>CSG = (0,5 ARU + 0,3 ARE + 0,2 ANA) *100</p> <p>CSG: Composición de subbase granular ARU: Agregados reusados ARE: Agregados reciclados ANA: Agregados naturales</p> <p>Rangos para composición del agregado (Reusado, Reciclado y Natural): Alto: 90 a 100% Medio: 50 a 89% Bajo: 0 a 49%</p>	

ILBIV-ESP- CB-17	Porcentaje de composición de base granular	$CBG = (0,5 \text{ ARU} + 0,3 \text{ ARE} + 0,2 \text{ ANA}) * 100$ CBG: Composición de base granular ARU: Agregados reusados ARE: Agregados reciclados ANA: Agregados naturales	Rangos para composición del agregado (Reusado, Reciclado y Natural): Alto: 90 a 100% Medio: 50 a 89% Bajo: 0 a 49%
ILBIV-ESP- CR-18	Porcentaje de composición de rodadura	$CRO = (0,5 \text{ MRU} + 0,3 \text{ MRE} + 0,2 \text{ MNU}) * 100$ CRO: Composición de rodadura MRU: Material reusado MRE: Material reciclado MNU: Material nuevo	Rangos para composición de material (Reusado, Reciclado y Nuevo): Alto: 90 a 100% Medio: 50 a 89% Bajo: 0 a 49%
ILBIV-ESP- RI-19	Índice de Rugosidad Internacional	IRI= IRI IRI: Índice de Rugosidad Internacional	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 0,10 m 40% de hectómetros: NT1: 2,4 m/Km, NT2: 1,9 m/Km, NT3: 1,4 m/KM 80% de hectómetros: NT1: 3,0 m/Km, NT2: 2,5 m/Km, NT3: 2,0 m/KM 100% de hectómetros:

							<p>NT1: 3,5 m/Km, NT2: 3,0 m/Km, NT3: 2,5 m/KM</p> <p>Pavimentos rehabilitados en espesor $\leq 0,10$ m 40% de hectómetros: NT1: 2,9 m/Km, NT2: 2,4 m/Km, NT3: 1,9 m/KM 80% de hectómetros: NT1: 3,5 m/Km, NT2: 3,0 m/Km, NT3: 2,5 m/KM 100% de hectómetros: NT1: 4,0 m/Km, NT2: 3,5 m/Km, NT3: 3,0 m/KM</p>
Operación y mantenimiento	24%	Seguridad	36%	ILBIV-SEG-SV-20	Estado de señalización vertical	$SEV = (0,3 PO + 0,3 LG + 0,4 RH) * 100$ SEV: Estado de la señalización vertical PO: Posición LG: Legibilidad RV: Retrorreflectividad	Estado de la señalización vertical: Bueno: 90 a 100% Regular: 50 a 89% Malo: 0 a 49%

		ILBIV-SEG-SH-21	Estado de señalización horizontal	$SEH = (0,3 AL + 0,4 RH + 0,3 TA) * 100$ SEH: Estado de la señalización horizontal AL: Alineamiento RH: Retrorreflectividad TA: Cantidad de tachas	Estado de la señalización horizontal: Bueno: 90 a 100% Regular: 50 a 89% Malo: 0 a 49%
		ILBIV-SEG-DS-22	Drenaje superficial	$DRS = \%CDS$ DRS: Drenaje superficial CDS: Porcentaje de obstrucción de sección hidráulica de las obras de drenaje	Rango de condición de obstrucción Alto: 41 a 100% Medio: 25 a 40% Bajo: 0 a 24%
Operación	29%	ILBIV-OPE-DF-23	Porcentaje de daños del pavimento flexible	$DPF = (0,2 FI + 0,3 DE + 0,1 DS + 0,3 DCE + 0,1 OD) * 100$ DPF: Daños del pavimento flexible FI: Fisuras DE: Deformaciones DS: Daños superficiales DCE: Deterioro de capas estructurales OD: Otros Daños	Rango de daños en el pavimento Alto: 90 a 100% Medio: 50 a 89% Bajo: 0 a 49%

		ILBIV-OPE-DR-24	Porcentaje de daños del pavimento rígido	$DPR = (0,25 GA + 0,25 JU + 0,3 DT + 0,1 OD + 0,1 DB) * 100$ DPR: Daños del pavimento rígido GA: Grietas y agrietamientos JU: Juntas DT: Deterioro superficial OD: Otros daños DB: Daños en bermas	Rango de daños en el pavimento Alto: 90 a 100% Medio: 50 a 89% Bajo: 0 a 49%
		ILBIV-MAN-AV-25	Porcentaje de afectación por vegetación	$AFV = \%CAV$ AFV: Afectación por vegetación CAV: Porcentaje de afectación por vegetación	Alta: 90 a 100% Media: 50 a 89% Baja: 0,1 a 49% Sin afectación: 0%
Mantenimiento	35%	ILBIV-MAN-RP-26	Porcentaje de presupuesto invertido en reparación y mantenimiento	$PRM = (RM/CP) * 100$ PRM: Presupuesto de reparación y mantenimiento CP: Costos del proyecto RM: Costos de reparación y mantenimiento	Alto: 31 a 100% Medio: 16 a 30% Bajo: 0 a 15%

5 Implementación y Validación de Indicadores: Estudio de Caso

Una vez formulados los indicadores y, propuestas las hojas metodológicas con la información necesaria para su determinación; el presente capítulo se fundamenta en la implementación de la línea base de indicadores de infraestructura vial planteada, a través de su validación en el estudio de caso propuesto: tramo de vía ubicado en la carrera 7ª entre avenida Circunvalar y avenida La Toma en el municipio de Neiva, con el fin de medir su sostenibilidad económica, ambiental y social.

Neiva, es la capital del departamento del Huila y corresponde a su centro administrativo, comercial y cultural. Se ubica a 312 Km de la capital del país y está situada en el valle del Alto Magdalena, en uno de los sectores más cálidos del departamento. Limita al norte con los municipios de Aipe y Tello, al sur con el municipio de Rivera, al oriente con las estribaciones de la cordillera Oriental y al occidente con el río Magdalena y el municipio de Palermo.

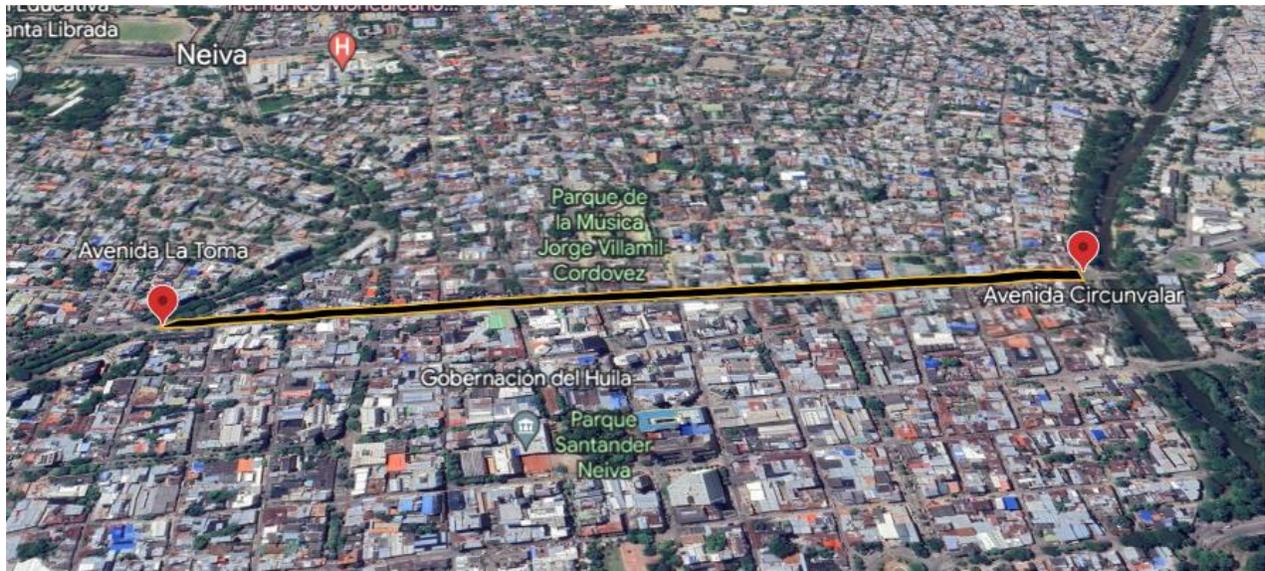
Tiene una altitud de 442 m.s.n.m., una temperatura promedio de 28°C, un área de 1553 Km² y una población aproximada de 488.000 habitantes.

Para la implementación y validación de indicadores se tomó como estudio de caso el proyecto SETP-G denominado “Rehabilitación de vías, renovación de andenes y obras complementarias - Fase VII, en el marco de la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público de la ciudad de Neiva”, descrito en el inciso 3.2.7, el cual, se ubicó sobre la carrera 7ª entre Avenida Circunvalar y Avenida La Toma y fue ejecutado entre febrero de 2019 y marzo de 2020, con el fin de dar solución a los problemas de movilidad vehicular y peatonal en una de las zonas con mayor afluencia comercial del municipio de Neiva. Consistió en la rehabilitación de dos calzadas de 1,25 Km de pavimento flexible, mejorando las condiciones

técnicas y geométricas de la vía, del urbanismo y los espacios peatonales del corredor vial. En la figura 21 se presenta el esquema de la vía descrita.

Figura 21

Vista general de la obra estudio de caso



Luego de más de 3 años de operación, se procedió a realizar la implementación de los indicadores propuestos a través de inspección visual, diálogos con profesionales adscritos al proyecto y análisis de información secundaria (informes mensuales y final, memoria de cantidades y acta de liquidación), suministrada por la entidad contratante, SETP TRANSFEDERAL S.A.S.

A continuación, se presenta el cálculo y consideraciones a cada uno de los indicadores determinados.

ILBIV-TET-AR-1 - Porcentaje del área en amenaza y riesgo:

$$CAR = (0,3 CVA + 0,7 CVR) * 100$$

Donde:

CAR: Calificación amenaza y riesgo

CVA: Calificación variable amenaza

CVR: Calificación variable riesgo

$$\text{CAR} = [0,3 (0) + 0,7 (0)] * 100$$

$$\text{CAR} = 0\%$$

De acuerdo con lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Neiva, el área de intervención del proyecto no se vio afectada por impactos de tipo físico, social, económico y ambiental. Por lo anterior, su calificación en términos de amenaza y riesgo fue de 0% (sin amenaza ni riesgo). En la figura 22 se observa el área de intervención, libre de amenaza y riesgo.

Figura 22

Área sin amenaza ni riesgo



ILBIV-TET-PR-2 - Porcentaje del área en protección o restricción:

$$\text{PPR} = \% \text{CPR}$$

Donde:

APR: Área de protección o restricción

%PPR: Porcentaje de área de protección o restricción

PPR = 95%

Teniendo en cuenta lo establecido en el POT de la ciudad de Neiva y lo indicado por el director de interventoría mediante reunión en el sitio del proyecto, el valor de este indicador resultó alto, debido a que durante la ejecución del proyecto se presentaron las siguientes restricciones:

a) Ante la imposibilidad de cambio de ubicación de un par de postes de red de alta tensión eléctrica, el equipo técnico de obra debió realizar un ajuste en la sección transversal de la vía en aproximadamente 30 m de longitud (en la carrera 7^a con calle 5^a).

b) En cuanto a la red de alcantarillado pluvial de la zona, una vez se dio inicio al proyecto se identificaron dos grandes inconvenientes, la tubería existente se encontraba en mal estado y su diámetro era insuficiente para el caudal a disponer y la existencia de unos individuos arbóreos de gran tamaño generaban gran cantidad de hojas sobre las rejillas de los sumideros existentes, provocando empozamientos que afectaban la estructura del pavimento existente. Por lo anterior, se produjeron atrasos en la obra y fue necesaria la ejecución de un contrato simultáneo con una de las empresas prestadoras del servicio de agua en la ciudad de Neiva (Las Ceibas – Empresas Públicas de Neiva S.A. E.S.P.), en el que se construyeron nuevas obras hidráulicas, se aumentó el diámetro de la tubería de aguas lluvias y se cambiaron las dimensiones y diseño de los sumideros existentes con el fin de garantizar mayor drenaje en época de lluvias.

c) Respecto a la red de telecomunicaciones, en un tramo de aproximadamente 100 m, se hallaron cajas de inspección y ductos superficiales a la superficie de la vía existente, que tuvieron que ser demolidas, profundizadas y ajustadas de acuerdo con la estructura del pavimento a rehabilitar.

d) La vía intervenida representa uno de los ejes viales más importantes para la ciudad de Neiva en términos de movilidad; es por ello que la última restricción presentada durante la ejecución de las obras de rehabilitación consistió en retrasos generados por el ingreso y salida de personal a centros educativos, clínicas, restaurantes, edificios corporativos y comerciales en horas pico.

En la figura 23 se muestran algunas de las restricciones presentadas:

Figura 23

Restricciones por obras de drenaje y ductos superficiales



ILBIV-MOV-AC-3 - Porcentaje de accesibilidad:

$$TAC = (0,7 ME + 0,3 PE) * 100$$

Donde:

TAC: Tipo de accesibilidad

ME: Mecánica

PE: Peatonal

$$TAC = [0,7 (1) + 0,3 (1)] * 100$$

$$TAC = 100\%$$

El proyecto caso de estudio fue ejecutado sobre la carrera 7ª entre Avenida Circunvalar y Avenida La Toma que, según el POT, tiene una alta accesibilidad mecánica y peatonal.

En la figura 24 se exponen los accesos a la vía analizada

Figura 24

Acceso peatonal y vehicular



ILBIV-MOV-ST-4 - Porcentaje de sistemas de transporte sostenible:

$$TST = (0,4 ME + 0,3 MGNV + 0,2 MD + 0,1 MLINA) * 100$$

Donde:

TST: Tipos de sistemas de transporte

ME: Masivo eléctrico

MGNV: Masivo gas natural vehicular

MD: Masivo diésel

MLINA: Masivo gasolina

$$TST = [0,4 (0) + 0,3 (0,3) + 0,2 (0,35) + 0,1 (0,35)] * 100$$

$$\mathbf{TST = 19,5\%}$$

Cuando se ejecutó el proyecto, no habían entrado en operación los vehículos eléctricos que conforman el sistema de transporte masivo de la ciudad de Neiva; por ello, en el cálculo de este indicador se tuvo en cuenta el aforo vehicular realizado por la empresa contratista de obra antes de la ejecución del proyecto, considerando la proporción de vehículos que utilizaban gas natural vehicular (principalmente taxis), combustible diésel (buses, camiones y camionetas) y gasolina (motos, automóviles y camionetas); obteniendo un porcentaje de 19,5%, indicando un nivel bajo de sistemas de transporte sostenible.

En la figura 25 se presentan algunos de los vehículos que transitan por la vía en estudio.

Figura 25

Tipos de sistemas de transporte



ILBIV-SRP-EN-5 - Valor de cercanía y calidad a energía:

$$AEN = 0,5 FCE + 0,5 CSE$$

Donde:

AEN: Acceso a servicio de energía

FCE: Facilidad de conexión a servicio de energía

CSE: Calidad del servicio de energía

$$AEN = 0,5 (1) + 0,5 (1)$$

$$\mathbf{AEN = 1,0}$$

De acuerdo con la disponibilidad del servicio de energía eléctrica, suministrado por la Electrificadora del Huila S.A. E.S.P., el proyecto contó siempre con conexión a este servicio y no tuvo inconvenientes asociados a cuestiones de calidad; por ello, el valor de este indicador fue alto. En la figura 26 se observa la conexión al servicio de energía eléctrica:

Figura 26

Acceso a energía eléctrica



ILBIV-SRP-AC-6 - Valor de cercanía y calidad a acueducto:

$$AAC = 0,5 FCAC + 0,5 CSAC$$

Donde:

AAC: Acceso a acueducto

FCAC: Facilidad de conexión a acueducto

CSAC: Calidad del servicio de acueducto

$$AAC = 0,5 (1) + 0,5 (1)$$

$$\mathbf{AAC = 1,0}$$

Este servicio fue suministrado por Las Ceibas – Empresas Públicas de Neiva S.A. E.S.P., de manera ininterrumpida, ofreciendo total disponibilidad y calidad, obteniendo un valor máximo en este indicador. En la figura 27 se observa la irrigación realizada a la capa de subbase granular.

Figura 27

Acceso a acueducto



ILBIV-SRP-AL-7 - Valor de cercanía y calidad a alcantarillado:

$$\mathbf{AAL = 0,5 FCAL + 0,5 CSAL}$$

Donde:

AAL: Acceso a alcantarillado

FCAL: Facilidad de conexión a alcantarillado

CSAL: Calidad del servicio de alcantarillado

$$AAL = 0,5 (1) + 0,5 (1)$$

$$\mathbf{AAL = 1,0}$$

El servicio de alcantarillado fue también suministrado por Las Ceibas – Empresas Públicas de Neiva S.A. E.S.P., garantizando total acceso, calidad y conexión a las redes de

alcantarillado pluvial y sanitario. Se obtuvo acompañamiento por parte de la empresa prestadora del servicio, en el momento de realizar los replanteos, restitución de tubería de alcantarillado pluvial y conexión con las redes existentes. Por lo anterior, el valor de este indicador fue alto.

En la figura 28 se puede apreciar la conexión a la red de alcantarillado.

Figura 28

Acceso a alcantarillado



ILBIV-SRP-RS-8 - Valor de cercanía y calidad a residuos sólidos:

$$\mathbf{ARRS = 0,7 FAR + 0,3 CSRRS}$$

Donde:

ARRS: Acceso a recolección de residuos sólidos

FAR: Facilidad acceder al servicio de recolección

CSRRS: Calidad del servicio de recolección de residuos sólidos

$$ARRS = 0,7 (0,3) + 0,3 (0,7)$$

$$\mathbf{ARRS = 0,42}$$

El valor de este indicador fue bajo teniendo en cuenta la dificultad que representaba para los carros recolectores de residuos sólidos, el acceso a los sitios de acopio del proyecto en

función del avance del mismo y la densidad de centros educativos, clínicas, restaurantes, edificios corporativos y comerciales, hallados sobre la vía intervenida. En cuanto a la calidad del servicio, se obtuvieron inconvenientes asociados al horario de recolección de los residuos (en las madrugadas) provocando que, en algunas ocasiones, no se realizara el retiro completo del material sobrante. En la figura 29 se presenta la brigada de orden y aseo del proyecto, limpiando una de las zonas de intervención.

Figura 29

Acceso a recolección de residuos sólidos



ILBIV-SEL-DO-9 – Distancia al origen:

$$ADOM = \sum DM$$

Donde:

ADOM: Análisis de distancias al origen de materiales: Agregados pétreos y granulares, asfalto, concreto

$\sum DM$: Sumatoria de distancias

$$ADOM = 19 \text{ Km}$$

Los materiales empleados en la rehabilitación de la carrera 7ª entre Avenida Circunvalar y Avenida La Toma fueron de origen local, transportados desde la cantera “Triturados Carrillo Hermanos y Cía LTDA” (TRITUCAR LTDA), ubicada a una distancia menor a 25 Km, por lo que el valor de este indicador resultó bajo.

En la figura 30 se muestra el descargue de materiales granulares al sitio de obra.

Figura 30

Origen de los materiales



ILBIV-ENE-ER-10 – Porcentaje de energía renovable:

$$\text{ERN} = (0,25 \text{ ES} + 0,25 \text{ EH} + 0,25 \text{ EB} + 0,25 \text{ EA}) * 100$$

Donde:

ERN: Energías renovables

ES: Energía solar

EH: Energía hidráulica

EB: Energía de la biomasa

EA: Otra energía alternativa

$$\text{ERN} = [0,25 (0) + 0,25 (0) + 0,25 (0) + 0,25 (0)] * 100$$

$$\text{ERN} = 0\%$$

En el proyecto evaluado, solo se utilizó energía convencional, por lo que el rango de energía renovable es bajo. En la figura 31 se muestra la conexión a energía eléctrica.

Figura 31

Uso energía eléctrica



ILBIV-AGU-UA-11 – Uso racional del recurso:

$$\text{URR} = \text{PMC}$$

Donde:

URR: Uso racional del recurso

PMC: Promedio del módulo de consumo

$$\text{URR} = 120 \text{ m}^3/\text{Km}$$

Este indicador fue calculado a través del promedio de los consumos mensuales reflejados en las facturas entregadas por Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P al contratista de obra; obteniendo un bajo uso eficiente del agua, considerando su desperdicio por rotura de tuberías en el momento de adelantar las excavaciones, la humectación constante de las capas

granulares, el curado de los concretos fundidos y las jornadas de aseo semanales. En la figura 32 se aprecia algunos de los usos del recurso hídrico.

Figura 32

Irrigación capa granular y rodadura



ILBIV-AIR-CA-12 – Calidad del aire: No fue posible calcular este indicador debido a que el proyecto no fue ejecutado de manera sostenible y en ningún momento se tomaron mediciones sobre la calidad del aire.

ILBIV-RES-DD-13 – Distancia a sitios de disposición de desechos:

$$\text{DSD} = \text{CDD}$$

Donde:

DSD: Distancia a sitios de disposición

CDD: Distancia de disposición

$$\text{DSD} = 11 \text{ Km}$$

El sitio de disposición final de los escombros generados en el proyecto fue el relleno sanitario Los Ángeles, ubicado a 11 Km del mismo. De acuerdo con los rangos de distancia establecidos en este indicador, el sitio se encontraba muy lejos de la obra. Es importante mencionar que este relleno sanitario es el único certificado y autorizado en el municipio de Neiva. En la figura 33 se observa el cargue de material de excavación para disposición en el relleno certificado.

Figura 33

Disposición de escombros



ILBIV-PRE-PS-14 – Nivel de presión sonora: De acuerdo con el “Informe técnico de monitoreo de ruido ambiental sobre la carrera 7ª entre avenida La Toma y avenida Circunvalar” suministrado por la entidad contratante, se identificó que el contratista de obra midió en 4 puntos (avenida Circunvalar con carrera 7ª, carrera 7ª con calle 6ª, carrera 7ª con calle 9ª y carrera 7ª con avenida La Toma), el ruido ambiental con base en lo establecido en el anexo III del capítulo II de la Resolución 0627 del 7 de abril de 2006, incluyendo parámetros como nivel máximo de presión sonora, nivel mínimo, nivel equivalente de ruido total y ruido de fondo. Para ello, utilizó el

sonómetro Delta Ohm – Avantec serie 150031643825, el calibrador acústico Delta Ohm – Avantec serie 13014631, el anemómetro Extech y un GPS Garmin.

Se realizaron mediciones del ruido ambiental en 4 jornadas: a) Jornada ordinaria diurna (lunes a sábado en el horario de 07:01 a 21:00), b) Jornada ordinaria nocturna (lunes a sábado en el horario de 21:01 a 07:00), c) Jornada dominical diurna (domingos y/o festivos en el horario de 07:01 a 21:00) y d) Jornada dominical nocturna (domingos y/o festivos en el horario de 21:01 a 07:00); obteniendo los siguientes resultados (figuras 34 y 35):

Figura 34

Niveles de ruido ambiental

Niveles de ruido ambiental jornada ordinaria diurna

PUNTO	DIRECCIÓN	X	Y	USO DE SUELO	LAeq dB(A)
1	Ave. circunvalar con carrera 7	2°55'16.26"	75°17'4.99"	Vía arteria principal.	72.79
2	Carrera 7 con calle 6	2°55'26.90"	75°17'8.86"	Vía arteria principal.	73.77
3	Carrera 7 con calle 9	2°55'45.29"	75°17'13.59"	Vía arteria principal.	77.15
4	Carrera 7 con Ave. La Toma	2°55'56.20"	75°17'16.75"	Vía arteria principal.	71.93

Niveles de ruido ambiental jornada dominical diurna

PUNTO	DIRECCIÓN	X	Y	USO DE SUELO	LAeq dB(A)
1	Ave. circunvalar con carrera 7	2°55'16.26"	75°17'4.99"	Vía arteria principal.	70.66
2	Carrera 7 con calle 6	2°55'26.90"	75°17'8.86"	Vía arteria principal.	70.19
3	Carrera 7 con calle 9	2°55'45.29"	75°17'13.59"	Vía arteria principal.	63.16
4	Carrera 7 con Ave. La Toma	2°55'56.20"	75°17'16.75"	Vía arteria principal.	68.47

Niveles de ruido ambiental jornada ordinaria nocturna

PUNTO	DIRECCIÓN	X	Y	USO DE SUELO	LAeq dB(A)
1	Ave. circunvalar con carrera 7	2°55'16.26"	75°17'4.99"	Vía arteria principal.	69.64
2	Carrera 7 con calle 6	2°55'26.90"	75°17'8.86"	Vía arteria principal.	62.69
3	Carrera 7 con calle 9	2°55'45.29"	75°17'13.59"	Vía arteria principal.	56.42
4	Carrera 7 con Ave. La Toma	2°55'56.20"	75°17'16.75"	Vía arteria principal.	70.0

Niveles de ruido ambiental jornada dominical nocturna

PUNTO	DIRECCIÓN	X	Y	USO DE SUELO	LAeq dB(A)
1	Ave. circunvalar con carrera 7	2°55'16.26"	75°17'4.99"	Vía arteria principal.	67.97
2	Carrera 7 con calle 6	2°55'26.90"	75°17'8.86"	Vía arteria principal.	59.01
3	Carrera 7 con calle 9	2°55'45.29"	75°17'13.59"	Vía arteria principal.	60.42
4	Carrera 7 con Ave. La Toma	2°55'56.20"	75°17'16.75"	Vía arteria principal.	67.25

La vía en estudio de acuerdo con la Resolución 0607 de 2006, correspondió a un sector C. Ruido intermedio restringido (Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales), cuyos niveles máximos de ruido ambiental (en decibeles) debían ser 80 dB en el día y 75 dB en la noche; es importante mencionar que este indicador no se midió de acuerdo con lo descrito en su ficha, debido a que en el informe suministrado por la entidad, utilizaron otro método de cálculo; sin embargo, se pudo concluir que las actividades ejecutadas por la firma contratista de obra durante las jornadas de trabajo diurno y nocturno, cumplieron con lo estipulado en la norma descrita y no generaron ningún impacto significativo al medio ambiente en relación a la variable ruido en el componente atmosférico.

Figura 35
Equipo de monitoreo de ruido


ILBIV-PRE-UC-15 – Porcentaje de uso de combustibles:

$$\text{UCB} = (0,3 \text{ CF} + 0,7 \text{ CA}) * 100$$

Donde:

UCB: Uso de combustibles

CF: Combustibles fósiles

CA: Combustibles alternativos

$$\text{UCB} = [0,3 (1) + 0,7 (0)] * 100$$

$$\text{UCB} = 30\%$$

El combustible de la maquinaria y equipos que se emplearon en la ejecución del proyecto fue de origen fósil, por lo que el uso de combustibles alternativos fue bajo (figura 36).

Figura 36

Uso de combustible fósil

**ILBIV-ESP-CS-16 – Porcentaje de composición de subbase granular:**

$$\text{CSG} = (0,5 \text{ ARU} + 0,3 \text{ ARE} + 0,2 \text{ ANA}) * 100$$

Donde:

CSG: Composición de subbase granular

ARU: Agregados reusados

ARE: Agregados reciclados

ANA: Agregados naturales

$$\text{CSG} = [0,5 (0) + 0,3 (0) + 0,2 (1)] *100$$

$$\text{CSG} = 20\%$$

Los agregados empleados en la producción de la subbase granular de la estructura de pavimento de la vía fueron de origen natural (figura 37) y no se contó con agregados reusados ni reciclados, por lo que este indicador fue bajo.

Figura 37

Subbase granular



ILBIV-ESP-CB-17 – Porcentaje de composición de base granular:

$$\text{CBG} = (0,5 \text{ ARU} + 0,3 \text{ ARE} + 0,2 \text{ ANA}) *100$$

Donde:

CBG: Composición de base granular

ARU: Agregados reusados

ARE: Agregados reciclados

ANA: Agregados naturales

$$\text{CBG} = [0,5 (0) + 0,3 (0) + 0,2 (1)] * 100$$

$$\text{CBG} = 20\%$$

La base granular utilizada en la estructura de pavimento del proyecto solo empleó agregados de origen natural, por lo que este indicador fue bajo.

En la figura 38 se observa la base granular empleada en el proyecto.

Figura 38

Base granular



ILBIV-ESP-CR-18 – Porcentaje de composición de rodadura:

$$\text{CRO} = (0,5 \text{ MRU} + 0,3 \text{ MRE} + 0,2 \text{ MNU}) * 100$$

Donde:

CRO: Composición de rodadura

MRU: Material reusado

MRE: Material reciclado

MNU: Material nuevo

$$\text{CRO} = [0,5 (0) + 0,3 (0) + 0,2 (1)] *100$$

$$\text{CRO} = 20\%$$

En la mezcla asfáltica empleada como capa de rodadura de la vía analizada no se utilizaron materiales reusados ni reciclados, únicamente materiales nuevos (figura 39); por lo que se obtuvo un valor bajo en el indicador.

Figura 39

Capa de rodadura



ILBIV-ESP-RI-19 – Índice de Rugosidad Internacional: A partir del informe “Evaluación de la rugosidad con el Rugosímetro Merlín del corredor vial Avenida Circunvalar – Avenida La Toma, en el municipio de Neiva” suministrado por la entidad contratante, se identificó que la interventoría del proyecto evaluó la uniformidad del perfil longitudinal de la vía construida con la toma de mediciones de su rugosidad (IRI) empleando el Rugosímetro Merlín, en tramos de longitudes comprendidas entre 400 y 450 m, de acuerdo con lo estipulado en la

tabla 450.16. “Valores máximos admisibles de IRI (m/km)” de la sección 450.5.2.5.9.

“Regularidad superficial” del artículo 450 “Mezclas Asfálticas en Caliente de Gradación Continua (Concreto Asfáltico)”, de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), versión 2013:

Para "Pavimentos de Construcción Nueva y Rehabilitados en espesor >10 cm", y para una categoría de tránsito NT2, que corresponde a una vía cuyo número acumulado de ejes simples equivalentes de 80 kN, está entre 0,5E06 y 5,0E06 (500 mil y 5 millones), la norma establece que debe cumplir con tres (3) condiciones en cuanto al valor del IRI de recibo, que son:

Requisito 1: En el 40% de los tramos o segmentos medidos, el valor máximo admisible de IRI debe ser de 1,9 m/km.

Requisito 2: En el 80% de los tramos o segmentos medidos, éste debe ser de máximo 2,5 m/km.

Requisito 3: Y para el 100% de los casos o segmentos medidos, el valor obtenido debe ser menor o igual a 3 m/km.

Los resultados obtenidos se aprecian en la tabla 27:

Tabla 27

Cálculo de IRI

ITEM	CONCEPTO	CIRCUNVALAR - TOMA	CIRCUNVALAR - TOMA	CIRCUNVALAR - TOMA	CIRCUNVALAR - TOMA	CIRCUNVALAR - TOMA	CIRCUNVALAR - TOMA
1	PR del Test	PR0+000 - PR0+400	PR0+400 - PR0+850	PR0+850 - PR1+250	PR0+000 - PR0+400	PR0+400 - PR0+850	PR0+850 - PR1+250
2	Sentido	DERECHA	DERECHA	DERECHA	IZQUIERDA	IZQUIERDA	IZQUIERDA
3	Unidad Fraccionada Inferior	0,56	0,50	0,46	0,92	0,54	0,94
4	Unidad Fraccionada Superior	0,83	0,33	0,00	0,22	0,69	0,56

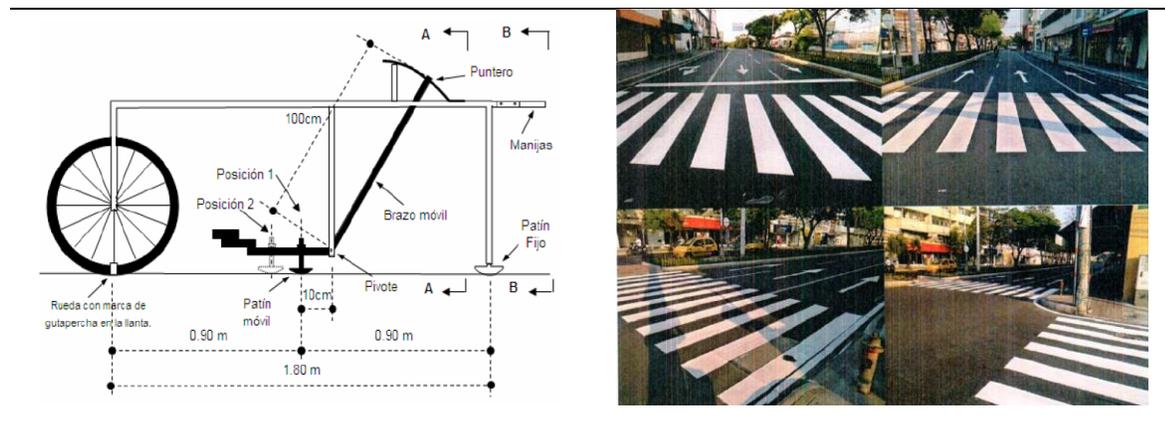
5	Unidad Fraccionada Intervalos Rango "D" Aceptada	6	6	5	5	4	4
6	Rango "D" en Unidades	7,39	6,83	5,46	6,14	5,23	5,50
7	Rango "D" en mm	36,94	34,17	27,31	30,69	26,13	27,48
8	Factor de Corrección Para el Ajuste de "D"	0,98462	0,98462	0,98462	0,98462	0,98462	0,98462
9	Relación de Brazos "RB"	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
10	Rango "D" Corregido (unidades Merlin)	35,65	32,97	26,35	29,62	25,21	26,52
11	Rugosidad a la Mezcla IRI (m/km)	1,70	1,57	1,26	1,41	1,20	1,27
12	IRI ACEPTABLE (\leq m/km) INVÍAS 450	< 2,4	< 2,4	< 2,4	< 2,4	< 2,4	< 2,4
13	Admisible/ No Admisible	OK	OK	OK	OK	OK	OK

A partir de la tabla 27, se determinó que el IRI promedio fue de 1,40 m/km, dando cumplimiento a lo establecido en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

En la figura 40 se ilustra el esquema del rugosímetro de Merlín, empleado en la determinación del IRI y las secciones de vía analizadas.

Figura 40

Determinación de IRI



ILBIV-SEG-SV-20 – Estado de la señalización vertical:

$$SEV = (0,3 PO + 0,3 LG + 0,4 RH) * 100$$

Donde:

SEV: Estado de la señalización vertical

PO: Posición

LG: Legibilidad

RH: Retrorreflectividad

$$SEV = [0,3 (0,95) + 0,3 (0,75) + 0,4 (0,85)] * 100$$

$$SEV = 85\%$$

Al realizar mediante inspección visual, el análisis del estado de la señalización vertical luego de 3 años de operación de la vía se detectó que algunas de las señales instaladas se encuentran dobladas, pintadas (vandalizadas) y deterioradas en términos de pintura; por ello, se obtuvo un valor del indicador del 85%, representando un estado regular de las señales verticales (figura 41).

Figura 41

Estado de la señalización vertical



ILBIV-SEG-SH-21 – Estado de la señalización horizontal:

$$SEH = (0,3 AL + 0,4 RH + 0,3 TA) *100$$

Donde:

SEH: Estado de la señalización horizontal

AL: Alineamiento

RH: Retrorreflectividad

TA: Cantidad de tachas

$$SEH = [0,3 (0,9) + 0,3 (0,5) + 0,4 (0,7)] *100$$

$$SEH = 70\%$$

Luego de 3 años de operación, se observó a través de inspección visual que la señalización horizontal de la vía se encontró en buen estado respecto al alineamiento, pero con relación a la retroreflectividad y color de las líneas, se observó un desgaste representativo y en el número de tachas, se detectó que el tráfico ha provocado su pérdida en un 30%; por ello, se obtuvo un valor del indicador del 70%, representando un estado regular de la señalización horizontal evaluada.

Figura 42

Estado de la señalización horizontal



ILBIV-SEG-DS-22 – Drenaje superficial:

$$\text{DRS} = \% \text{CDS}$$

Donde:

DRS: Drenaje superficial

CDS: Porcentaje de obstrucción de sección hidráulica de las obras de drenaje

$$\text{DRS} = 20\%$$

De acuerdo con la inspección visual realizada a las cunetas, zanjas y sumideros construidos en el proyecto; se observó una ligera obstrucción en dos sumideros, ocasionada por material orgánico de los árboles de la zona. Por lo anterior, se obtuvo un bajo porcentaje de obstrucción de los drenajes superficiales (figura 43).

Figura 43

Estado de drenaje superficial

**ILBIV-OPE-DF-23 – Porcentaje de daños del pavimento flexible:**

$$\text{DPF} = (0,2 \text{ FI} + 0,3 \text{ DE} + 0,1 \text{ DS} + 0,3 \text{ DCE} + 0,1 \text{ OD}) * 100$$

Donde:

DFS: Daños del pavimento flexible

FI: Fisuras

DE: Deformaciones

DS: Daños superficiales

DCE: Deterioro de capas estructurales

OD: Otros daños

$$DPF = [0,2 (0) + 0,3 (0) + 0,1 (0,07) + 0,3 (0) + 0,1 (0)] * 100$$

$$\mathbf{DPF = 0,7\%}$$

A lo largo de los 2,5 Km de vía intervenida se observaron a través de inspección visual, pequeñas longitudes con desgaste superficial (uno de los tipos de daños superficiales); no se apreciaron deformaciones ni deterioro de las capas estructurales (figura 44). Dado el porcentaje de daños obtenido, se concluye que el pavimento flexible está en óptimas condiciones luego de 3 años de operación y que el rango de daños es bajo.

Figura 44

Daños en pavimento flexible



ILBIV-OPE-DR-24 – Porcentaje de daños del pavimento rígido: Este indicador no fue calculado debido a que toda la vía analizada, tuvo mezcla asfáltica como capa de rodadura.

ILBIV-MAN-AV-25 – Porcentaje de afectación por vegetación:

$$AFV = \%CAV$$

Donde:

AFV: Afectación por vegetación

CAV: Porcentaje de afectación por vegetación

$$AFV = 10\%$$

Al realizar inspección visual sobre la vía intervenida, se apreció que el crecimiento de 7 árboles que componen la zona verde que se encuentra en medio de las dos calzadas, obstaculizan la visibilidad de algunas señales verticales y semáforos (figura 45); por ello se definió un porcentaje de afectación por vegetación del 10%, que corresponde a una valoración baja.

Figura 45

Afectación por vegetación



ILBIV-MAN-RP-26 – Porcentaje de presupuesto invertido en reparación y mantenimiento:

$$PRM = (RM/CP)*100$$

Donde:

PRM: Presupuesto de reparación y mantenimiento

CP: Costos del proyecto

RM: Costos de reparación y mantenimiento

$$\text{PRM} = (\$120.716.600 / \$13.500.000.000) * 100$$

$$\text{PRM} = 0,89\%$$

De acuerdo con la inspección ejecutada a lo largo del corredor vial en estudio, las reparaciones que se deben efectuar corresponden a limpieza de 2 sumideros, poda de 7 árboles, instalación de 220 tachas faltantes, restitución de 5 señales verticales que han presentado daños y, demarcación horizontal a lo largo de las dos calzadas. Para calcular los costos de reparación y mantenimiento (tabla 28), se realizó un presupuesto de las actividades a ejecutar de acuerdo con los Análisis de Precios Unitarios (APU) del INVÍAS, del periodo 2023-1 (con corte a 30 de junio de 2023).

Tabla 28

Presupuesto de reparación y mantenimiento

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Limpieza sumidero	und	2	\$ 150.000,00	\$ 300.000,00
Instalación de tacha tipo A con adhesivo tipo epóxico	und	220	\$ 10.980,00	\$ 2.415.600,00
Señal vertical de tránsito (SR, SP y/o SI) de dimensiones 75*75 cm en lámina galvanizada - retrorreflectiva tipo IV	und	5	\$ 768.900,00	\$ 3.844.500,00
Línea de demarcación con pintura en frío	m	7500	\$ 3.150,00	\$ 23.625.000,00
Marca vial con pintura en frío	m ²	1970	\$ 45.200,00	\$ 89.044.000,00
Poda de la parte radicular de árboles	und	7	\$ 212.500,00	\$ 1.487.500,00
			TOTAL	\$ 120.716.600,00

Teniendo en cuenta el valor del proyecto, se estimó un presupuesto de reparación y mantenimiento del 0,89%, que representa un rango bajo.

6 Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Entre los años 2016 y 2020, en el municipio de Neiva se intervinieron 22,91 Km de vías, de las cuales, 9,47 Km fueron nuevas y 13,44 Km fueron rehabilitadas. En cuanto al tipo de rodadura empleado en las vías intervenidas, se determinó que el 95,65% fue realizado en asfalto, el 3,35% en concreto y el 1% en adoquín. Los proyectos de construcción y rehabilitación de la infraestructura vial fueron ejecutados en las 10 comunas que conforman el municipio.

Se validaron los indicadores propuestos en el proyecto ejecutado sobre la carrera 7ª entre Avenida Circunvalar y Avenida La Toma, determinando un bajo nivel de sostenibilidad en cuanto al uso de combustibles y energías alternativas, el uso racional del recurso hídrico, la distancia de los sitios de disposición de residuos y el uso de agregados reciclados o reusados en la composición de las capas del pavimento.

Con base en lo anterior, se agruparon para cada eje temático, las conclusiones obtenidas tras el cálculo de la línea base de indicadores en el estudio de caso:

Para el eje temático selección del sitio, de acuerdo con el grado de relevancia en términos de ponderación de las variables, se determinó que, respecto a la movilidad, la vía evaluada tenía una accesibilidad alta pero un bajo nivel de transporte sostenible; por su parte, con relación a la variable territorio no se evidenció amenaza ni riesgo, pero sí un alto porcentaje de restricción, asociada a redes hidrosanitarias, eléctricas, de telecomunicaciones y alta densidad de establecimientos comerciales, hospitalarios y educativos. Finalmente, la calidad y conexión a los servicios públicos fue alta a excepción de la recolección de los residuos sólidos, que presentó una calificación baja debido a la dificultad de ingreso y horario de los carros recolectores a los sitios de acopio.

Para el eje temático materiales y recursos, considerando que las variables agua y residuos obtuvieron la misma ponderación y fueron las más relevantes de acuerdo con la opinión de los expertos consultados, se obtuvo que en la vía estudio de caso se hizo un bajo uso racional del recurso hídrico y los residuos fueron dispuestos en un lugar muy lejano al sitio de intervención del proyecto, pero es importante recalcar que este sitio, es el único autorizado en el municipio de Neiva para realizar la disposición final de residuos. En cuanto a la variable selección de los materiales, se presentó una valoración baja en el indicador de distancia al origen, considerando que estos fueron adquiridos localmente. Por otro lado, no se usó ningún tipo de energía renovable y respecto a la variable aire, no fue posible determinar su calidad, debido a que no fue determinada durante la ejecución del proyecto.

Respecto al eje temático proceso constructivo, teniendo en cuenta la ponderación de la variable estructura de pavimento, se observó un alto uso de agregados naturales para la dosificación de las diferentes capas que conformaron la estructura de pavimento del proyecto analizado, por lo que se obtuvo un bajo uso de materiales no convencionales en las capas granulares y de rodadura. Al calcular el IRI sobre la carpeta asfáltica, se cumplió con los parámetros descritos en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras para una vía rehabilitada con un espesor de carpeta asfáltica mayor a 10 cm y un nivel de tránsito NT2. Con relación a la variable preliminares se concluyó que, en términos de ruido, las actividades ejecutadas en el proyecto, cumplieron con lo establecido en la normatividad para un sector C - Ruido intermedio restringido (Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales). Finalmente, se alcanzó un nivel bajo de uso de combustibles alternativos.

Finalmente, en el eje temático operación y mantenimiento, en orden de relevancia de sus variables, se analizó en primer lugar la seguridad de la vía construida, observando a través de inspección visual luego de 3 años de operación, un estado regular de la señalización vertical y demarcación horizontal; asimismo, se determinó una baja obstrucción en las obras de drenaje construidas. Posteriormente se revisaron los indicadores de la variable mantenimiento, concluyendo que la vía tenía un bajo porcentaje de obstrucción por vegetación y que requiere un bajo presupuesto para realizar la restitución de tachas, señales verticales, limpieza de sumideros, poda de árboles y demarcación vial. En cuanto al estado del pavimento flexible, éste se encontró en óptimas condiciones, sin ninguna alteración que requiriera reparación de la rodadura ni de sus capas granulares.

6.2 Recomendaciones

Aunque existe la guía de sostenibilidad en infraestructura vial, en Colombia no se han implementado las medidas, materiales y procedimientos necesarios para fortalecer el alcance de la sostenibilidad en las etapas de planificación, diseño, ejecución, operación y mantenimiento de los proyectos viales. Esta propuesta de indicadores constituye un punto de partida para medir la sostenibilidad ambiental, económica y social de este tipo de proyectos, teniendo en cuenta variables como el área de intervención, la selección y origen de los materiales, los impactos de las actividades asociadas la construcción de infraestructura vial y su operación y mantenimiento.

En relación al eje temático selección del sitio, se recomienda realizar un estudio previo y revisión del Plan de Ordenamiento Territorial en el área de intervención del proyecto vial, con el fin de identificar las posibles amenazas, riesgos y restricciones que podrían afectar o entorpecer su ejecución y así determinar las medidas que permitan garantizar su sostenibilidad económica y social.

En cuanto a los materiales y recursos, se considera relevante analizar la distancia de los sitios de origen de los insumos y de disposición final de los residuos, en función de la cantidad de combustible y tiempos de transporte, que finalmente afectan la sostenibilidad económica y ambiental del proyecto.

Durante la ejecución de los proyectos de infraestructura vial convencionales, se utiliza gran parte de agregados naturales de único uso; por esta razón, se recomienda ampliar el uso de agregados reciclados y reusados y de combustibles alternativos, que permitan disminuir la huella de carbono y hacer más sostenibles este tipo de proyectos.

7 Acrónimos y siglas

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

APU: Análisis de Precio Unitario

C&D: Residuos de Construcción y Demolición

CCP: Código Colombiano de Puentes

CG: Vidrio Triturado

CNUMAD: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo

CO₂: Dióxido de Carbono

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

CR: Roca Triturada

CRA: Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico

FNCE: Fuentes No Convencionales de Energía

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GRA: Grava

GRI: Global Reporting Initiative

ICA: Índice de Calidad del Aire

INVÍAS: Instituto Nacional de Vías

IRENA: Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables

LCA: Análisis de Ciclo de Vida

MAF: Mezcla Abierta en Frío

MAM: Mezcla de Alto Módulo

MDC: Mezcla Densa en Caliente

MDD: Densidad Seca Máxima

MDF: Mezcla Densa en Frío

MGC: Mezcla Gruesa en Caliente

MR: Modulo Resiliente

MSC: Mezcla Semidensa en Caliente

MT: Ministerio de Transporte

NA: Agregados Naturales

NT: Nivel de Tránsito

NTC: Norma Técnica Colombiana

OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico

OMC: Contenido de Humedad Optimo

OMS: Organización Mundial de la Salud.

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PAGA: Plan de Adaptación de la Guía Ambiental

PET: Tereftalato Polietileno

PND: Plan Nacional de Desarrollo

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

POT: Plan de Ordenamiento Territorial

R: Caucho Granulado

RAP: Pavimento de Asfalto Recuperado

RCA: Agregado de Hormigón Reciclado/Concreto Reciclado

RCC: Hormigón Triturado Reciclado

RCM: Arcilla o Mampostería Triturada Reciclada

RCO/ARR: No se encontró significado de los mismos.

RMC: Contenido de Humedad Relativa

SETP: Sistema Estratégico de Transporte Público

TDA: Agregados Derivados de Llantas

UCS: Compresión No Confinada

URE: Uso Racional y Eficiente de la Energía

VG-30: Betún Espumado

8 Bibliografía

- Acerra, E. M., Lantieri, C., Vignali, V., Pazzini, M., & Andrea, S. (2023). Safety roads: the analysis of driving behaviour and the effects on the infrastructural design. *Transportation Research Procedia*, 69, 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.180>
- Agencia Nacional de Minería, Comisión Colombiana de Recursos y Reservas, Asociación Colombiana de Productores de Agregados Pétreos, & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2021). *Guía de buenas prácticas para la exploración y estimación de recursos y reservas de materiales de arrastre*.
- Agudelo, J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías - Ajustado al Manual Colombiano*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Almusawi, M. B. H., Karim, A. T. B. A., & Ethaib, S. (2022). Evaluation of Construction and Demolition Waste Management in Kuwait. *Recycling*, 7(6), 1–3. <https://doi.org/10.3390/recycling7060088>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures* (Tercera).
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2001). *A policy on geometric design of highways and streets.: Vol. 4 Edición*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Arulrajah, A., Mohammadinia, A., Maghool, F., & Horpibulsuk, S. (2019). Tire derived aggregates as a supplementary material with recycled demolition concrete for pavement applications. *Journal of Cleaner Production*, 230, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.084>
- Avellaneda, E., & Castiblanco, L. (2021). *Guía para evaluar la sostenibilidad en proyectos*

viales adaptada a las condiciones de biodiversidad geográfica de Colombia. Universidad Santo Tomás.

Azam, A. M., & Cameron, D. A. (2013). Geotechnical properties of blends of recycled clay masonry and recycled concrete aggregates in unbound pavement construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(6), 788–798. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000634](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000634)

Azarijafari, H., Yahia, A., & Ben Amor, M. (2016). Life cycle assessment of pavements: Reviewing research challenges and opportunities. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 112, pp. 2187–2197). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.080>

Barandica, J. M., Fernández-Sánchez, G., Berzosa, Á., Delgado, J. A., & Acosta, F. J. (2013). Applying life cycle thinking to reduce greenhouse gas emissions from road projects. *Journal of Cleaner Production*, 57, 79–91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.036>

Blanco, Z. (1987). Breve historia de las carreteras. *Revista de Obras Públicas*, 27–38.

Cabrera, S. (2021). *Evaluación de sostenibilidad de un proyecto vial en Colombia empleando los principios de la certificación GREENROADS V2*. Universidad de los Andes.

Chandra, S., & Behl, A. (2019). Recycling of pavements - A sustainable process for rehabilitation and upgrading. *Roads*, 54–58.

Concejo de Neiva. (2009). *Acuerdo No. 026 de 2009*.

Cuadros Ibáñez, G. (2022). *Principales enfoques de la movilidad urbana en clave de políticas públicas*.

Empresas Públicas de Medellín. (2018). *Norma Construcción de Cunetas*.

Garzón, M., & Ibarra, A. (2014). Revisión sobre la sostenibilidad empresarial. *Revista de Estudios Avanzados de Liderazgo*, 1, 52–77.

Gaviria, P. (2013). *Diseño de un Sistema de Indicadores de Sostenibilidad como Herramienta en la Toma de Decisiones para la Gestión de Proyectos de Infraestructura en Colombia*.

Universidad EAFIT.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (1953). *Decreto 2770 de 1953*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2001). *Ley 697 de 2001*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2002a). *Conpes 3167 de 2002*.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3167.pdf>

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2002b). *Ley 769 de 2002*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2003). *Decreto 2056 de 2003*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2005). *Decreto 1538 de 2005*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2013a). *Conpes 3756 de 2013*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2013b). *Ley 1682 de 2013*.

Gobierno Nacional - República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015*.

Gutiérrez, A., & Arboleda, E. (2015). *Estudio comparativo de las normas técnicas para la construcción de pavimentos flexibles en Colombia y Brasil*. Universidad Libre Seccional Pereira.

Han, Y., Li, H., Liu, J., Xie, N., Jia, M., Sun, Y., & Wang, S. (2023). Life cycle carbon emissions from road infrastructure in China: A region-level analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 115.

<https://doi.org/10.1016/J.TRD.2022.103581>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta Edición).

Instituto Nacional de Vías. (2010). *Resolución 2566 de 2010*.

Instituto Nacional de Vías. (2011). *Guía de manejo ambiental de proyectos de infraestructura.*

Subsector vial (Somos Impresores Ltda (ed.); Segunda edición). 2011.

Instituto Nacional de Vías. (2013). *Glosario de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.*

<http://200.21.20.196/invias/index.php/servicios-al-ciudadano/glosario/13...>

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). *Especificaciones generales de construcción de*

carreteras 2022. Norma Impuesta y Obtenida Por El Instituto Nacional de Vías (INVIAS),

Ministerio de Transporte y Colaboradores. [https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022-1)

[documentos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022-1)

[carreteras-2022-1](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022-1)

Instituto Nacional de Vías, Londoño Naranjo, C., & Álvarez Pabón, A. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.*

Invias.

Instituto Nacional de Vías, & Ministerio de Transporte. (1998). *Manual de diseño de pavimentos*

asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

Jaimurzina, A., & Sánchez, R. (2017). *Gobernanza de la infraestructura para el desarrollo*

sostenible en América Latina y el Caribe: una apuesta inicial.

Jiménez, L. (2002). La sostenibilidad como proceso de equilibrio dinámico y adaptación al

cambio. *Desarrollo Sostenible*, 800, 65–84.

Leclair, R. (2004). *Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales* (S. Secretaría

de Integración Económica Centroamericana (ed.); Segunda Edición).

Li, J., Saberian, M., & Nguyen, B. T. (2018). Effect of crumb rubber on the mechanical

properties of crushed recycled pavement materials. *Journal of Environmental Management*,

218, 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.062>

- Liu, Z., Balieu, R., & Kringos, N. (2022). Integrating sustainability into pavement maintenance effectiveness evaluation: A systematic review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103187>
- Ma, F., Dong, W., Fu, Z., Wang, R., Huang, Y., & Liu, J. (2021). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from asphalt pavement maintenance: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*, 288, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125595>
- Mata-Lima, H., Alvino-Borba, A., Akamatsu, K., Incau, B., Jard, J., da Silva, A. B., & Morgado-Dias, F. (2016). Measuring an Organization's Performance: The Road to Defining Sustainability Indicators. *Environmental Quality Management*, 26(2), 89–104. <https://doi.org/10.1002/tqem.21487>
- Mata, E. (2017). *Estudio comparativo de los sistemas de certificación de sostenibilidad de proyectos de infraestructuras*. Universidad de Cantabria.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2006). Resolución 0627 de 2006. In *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. <https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-627-de-2006.aspx>
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2010). *Decreto 798 de 2010*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 2017*.
- Ministerio de Transporte. (2007). *Resolución 3482 de 2007*.
- Ministerio de Transporte. (2008). *Ley 1228 de 2008*.
- Ministerio de Transporte. (2009a). *Resolución 743 de 2009*.
- Ministerio de Transporte. (2009b). *Resolución 744 de 2009*.
- Ministerio de Transporte. (2009c). *Resolución 803 de 2009*.

Ministerio de Transporte. (2011). *Resolución 024 de 2011*.

Ministerio de Transporte. (2013). *Resolución 1049 de 2013*.

https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_1049_de_2013_ministerio_de_transport_e.aspx#/

Ministerio de Transporte. (2014). *Decreto 736 de 2014*.

Ministerio de Transporte. (2015). *Resolución 108 de 2015*.

Ministerio de Transporte. (2017). *Resolución 1530 de 2017*.

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (1998). *Manual de Estabilidad de Taludes*.

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras* (Vol. 1).

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (2009). *Resolución 7106 de 2009*.

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (2016). *Manual de mantenimiento de carreteras*.

Ministerio de Transporte, & Instituto Nacional de Vías. (2022). *Resolución 1524 de 2022*.

Mohajerani, A., Burnett, L., Smith, J. V., Markovski, S., Rodwell, G., Rahman, M. T., Kurmus, H., Mirzababaei, M., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., & Maghool, F. (2020). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 1–17.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679>

Navas Baquero, A. F., & Rincón Torres, C. C. (2020). *Adoquín avanzado, un prototipo de pavimento articulado para vías de alto flujo vehicular*. Universidad Piloto de Colombia.

Ochoa, E. (2009). *Estudio de los criterios de diseño geométrico de las intersecciones a nivel*

según la AASHTO. Universidad Nacional de Colombia.

Ordóñez Díaz, M. M., & Meneses Silva, L. C. (2015). Criterios e indicadores de sostenibilidad en el subsector vial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 81–98.

<https://doi.org/10.18359/rcin.1433>

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

Journal of Cleaner Production, 135, 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.088>

Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). *Pavement Design and Materials*.

<http://www.wiley.com/go/permissions>.

Paredes-Vega, G., Herrera, R., & Gómez, M. (2019). Indicadores de Sustentabilidad para la

Toma de Decisiones en Proyectos de Caminos Básicos. *NOVASINERGIA REVISTA*

DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, 2(2), 38–48.

<https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.04.04>

Park, T. (2003). Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement. *Journal of Transportation Engineering*, 558–563.

<https://doi.org/10.1061/ASCE0733-947X2003129:5558>

Perdomo, R. (2014). *Guía para la implementación de las adecuadas prácticas empresariales en gestión ambiental relacionada con las obras de infraestructura vial en Colombia*. Pontificia

Universidad Javeriana.

Pérez, G. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia.

In *Economía Regional* (Vol. 64).

Porrás, N. (2017). Una mirada a la sostenibilidad en la gestión de proyectos. *Daena:*

International Journal of Good Conscience, 12(3), 328–344.

- Purchase, C. K., Al Zulayq, D. M., O'Brien, B. T., Kowalewski, M. J., Berenjian, A., Tarighaleslami, A. H., & Seifan, M. (2022). Circular economy of construction and demolition waste: A literature review on lessons, challenges, and benefits. *Materials*, *15*(1), 1–3. <https://doi.org/10.3390/ma15010076>
- Revista Sector - Tendencia Sustentable. (2020). *El sector de la construcción es responsable del 16% del consumo mundial de agua*. Tendencia Sustentable. <https://www.tendenciasustentable.com/el-sector-de-la-construccion-es-responsable-del-16-del-consumo-mundial-de-agua/>
- Rodríguez-Páez, F. G., Hortúa Vaca, D. A., & Manrique Méndez, L. V. (2012). Revisión de los conceptos de territorio, población y salud en el contexto colombiano. *Cien. Tecnol. Salud. Vis. Ocul*, *10*(2), 79–80.
- Rosen, H. E., Bari, I., Paichadze, N., Peden, M., Khayesi, M., Monclús, J., & Hyder, A. A. (2022). Global road safety 2010–18: An analysis of Global Status Reports. *Injury*. <https://doi.org/10.1016/J.INJURY.2022.07.030>
- Rueda, K. (2014). *Herramienta para la planeación y definición de proyectos viales tanto a nivel nacional como regional y municipal empleando criterios técnicos de clasificación de la red vial nacional*. Universidad de los Andes.
- Saberian, M., Li, J., Boroujeni, M., Law, D., & Li, C. Q. (2020). Application of demolition wastes mixed with crushed glass and crumb rubber in pavement base/subbase. *Resources, Conservation and Recycling*, *156*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104722>
- Saberian, M., Li, J., & Cameron, D. (2019). Effect of crushed glass on behavior of crushed recycled pavement materials together with crumb rubber for making a clean green base and subbase. *ASCE*, 1–7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE))

- Saberian, M., Li, J., Nguyen, B., & Wang, G. (2018). Permanent deformation behaviour of pavement base and subbase containing recycle concrete aggregate, coarse and fine crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 178, 51–58.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.107>
- Salehi, S., Arashpour, M., Kodikara, J., & Guppy, R. (2021). Sustainable pavement construction: A systematic literature review of environmental and economic analysis of recycled materials. *Journal of Cleaner Production*, 313, 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127936>
- Sánchez Castillo, X. A. (2003). *Diseño de pavimentos articulados para tráfico medio y alto*. Universidad De Los Andes.
- Suprayoga, G., Bakker, M., Witte, P., & Spit, T. (2020). A systematic review of indicators to assess the sustainability of road infrastructure projects. *European Transport Research Review*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-0400-6>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (1992). *Apuntes de la materia de pavimentos*.
- Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá, & Banco de Desarrollo de América Latina. (2013). *Cartilla guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito y vías locales para la ciudad de Bogotá D.C.*
- Universidad Nacional de Colombia, & Instituto Nacional de Vías. (2006a). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*.
- Universidad Nacional de Colombia, & Instituto Nacional de Vías. (2006b). *Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos*.
- Villarreal, G. A. (2019). *Evaluación de sistemas de certificación en sostenibilidad para proyectos viales de 4G en Colombia*. Universidad de los Andes.

Yao, L., Leng, Z., Lan, J., Chen, R., & Jiang, J. (2022). Environmental and economic assessment of collective recycling waste plastic and reclaimed asphalt pavement into pavement construction: A case study in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, 336.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130405>

Zambrano, A. M. (2018). *Implementación índices de sostenibilidad en términos de referencia para diseño y construcción en proyectos de infraestructura vial aplicados en el caso de estudio “Concesión Rumichaca - Pasto.”* Universidad de los Andes.

Zapata, M. (2017). *Problemáticas ambientales generadas por la construcción de proyectos de infraestructura vial en Colombia.*

Anexo No. 1.

FICHAS METODOLÓGICAS

INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-TET-AR-1



1. Nombre del indicador:

Porcentaje del área en amenaza y riesgo

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "territorio" y se asocia a la probabilidad que tiene el lote en donde se va a construir la vía, de ser afectado por un impacto físico, social, económico y ambiental. Permite medir el porcentaje de riesgo y amenaza al que está expuesto el lote en una proporción 3:7 respectivamente.

Los rangos de valoración para este indicador son: sin amenaza ni riesgo (si el porcentaje obtenido es de 0%) baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0,1% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el porcentaje de riesgo y amenaza al que está expuesto el lote en una proporción 3:7 respectivamente.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje

6. Variables:

Alta:90 a 100%
Media:50 a 89%
Baja: 0,1 a 49%
Sin amenaza ni riesgo: 0%

7. Formula:

$$CAR = (0,3 CVA + 0,7 CVR)*100$$

CAR: Calificación amenaza y riesgo

CVA: Calificación variable amenaza

CVR: Calificación variable riesgo

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El período depende directamente del estudio asociado a esta temática. Se puede realizar antes y después de la intervención vial

9. Normatividad y Estándares Técnicos:
Ley 1523 de 2012. Por el cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional De Gestión Del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

Atlas de riesgos de Colombia: Revelando los desastres latentes. UNGRD, 2019.

Acuerdo No. 026 de 2009. Por medio del cual se revisa y ajusta el acuerdo No. 016 de 2000 que adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de Neiva.

10. Fuente de Información:

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)

Alcaldía de Neiva

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad y actualización que realice la entidad

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narvárez Veloza

15. Fecha elaboración: **Febrero de 2023**

16. Revisó y Aprobó:
Nombre: _____
Firma: _____

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-TET-PR-2



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje del área en protección o restricción

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "territorio" y se vincula a la prohibición y/o restricción que tiene el lote donde se va a construir la vía, respecto a obstrucciones por redes (eléctricas, hidrosanitarias, de gas, voz y datos) y protección al patrimonio (arqueológico, cultural, histórico y ambiental). Permite medir el porcentaje de área que no puede ser intervenida debido a las restricciones descritas.

Los rangos de área de protección o restricción se clasifican así: sin protección ni restricción (si el porcentaje obtenido es de 0%) baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0,1% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el porcentaje de área que no puede ser intervenida debido a obstrucciones por redes (eléctricas, hidrosanitarias, de gas, voz y datos) y protección al patrimonio (arqueológico, cultural, histórico y ambiental)

5. Unidad de Medida:

Porcentaje

6. Variables:

Prohibida
Permitida

7. Formula:

$$PPR = \%CPR$$

APR: Área de protección o restricción
%PPR: Porcentaje de área de protección o restricción

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El período depende directamente del estudio asociado a esta temática. Se debe realizar antes y después de la intervención vial.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Acuerdo No. 026 de 2009. Por medio del cual se revisa y ajusta el acuerdo No. 016 de 2000 que adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de Neiva.

Planos de acometidas eléctricas, hidrosanitarias, de gas y voz y datos del municipio de Neiva - Huila.

10. Fuente de Información:

Alcaldía de Neiva

Electrificadora del Huila S.A - E.S.P, Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P - Alcanos de Colombia - Claro - Movistar

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad y actualización que realicen las entidades

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-MOV-AC-3



1. Nombre del indicador:

Porcentaje de accesibilidad

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "movilidad" y relaciona la accesibilidad mecánica y peatonal que tiene el lote a intervenir. Permite cuantificar los tipos de accesibilidad que tiene el lote objeto de la construcción.

Los rangos de accesibilidad se clasifican así: baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Cuantificar los tipos de accesibilidad que tiene el lote objeto de la construcción.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje

6. Variables:

Mecánica
Peatonal

7. Formula:

$$TAC = (0,7 ME + 0,3 PE)*100$$

TAC: Tipo de accesibilidad

ME: Mecánica

PE: Peatonal

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El período depende directamente del estudio asociado a esta temática.
Se debe realizar antes y después de la intervención vial.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Acuerdo No. 026 de 2009. Por medio del cual se revisa y ajusta el acuerdo No. 016 de 2000 que adopta el Plan de Ordenamiento Territorial de Neiva.

10. Fuente de Información:

Alcaldía de Neiva
Sistema Estratégico de Transporte Público SETP
Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad por parte de la Alcaldía de Neiva, del SETP y de la facilidad de acceso a la información secundaria

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-MOV-ST-4



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de sistemas de transporte sostenible

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "movilidad" y relaciona los tipos de combustible que utilizan los sistemas de transporte que circulan en la zona de intervención del proyecto. Permite medir qué tipo de combustible usan los vehículos que transitan por la zona del proyecto.

Los rangos de sistemas de transporte sostenible se clasifican así: baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%)

4. Objetivo del Indicador:

Medir qué tipo de combustible usan los vehículos que transitan por la zona del proyecto.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje

6. Variables:

Masivo eléctrico
Masivo gas natural vehicular
Masivo diesel
Masivo gasolina

7. Formula:

$$TST = (0,4 ME + 0,3 MGNV + 0,2 MD + 0,1 MLINA) * 100$$

TST: Tipos de sistemas de transporte
ME: Masivo eléctrico
MGNV: Masivo gas natural vehicular
MD: Masivo diesel
MLINA: Masivo gasolina

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El período depende directamente del estudio asociado a esta temática. Se debe realizar antes y después de la intervención vial.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Documento CONPES 3943. Política para el mejoramiento de la calidad del aire. Departamento Nacional de Planeación, 2018.

Documento CONPES 3991. Política nacional de movilidad urbana y regional. Departamento Nacional de Planeación, 2020.

10. Fuente de Información:

Alcaldía de Neiva

Sistema Estratégico de Transporte Público SETP

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad por parte de la Alcaldía de Neiva, del SETP y de la facilidad de acceso a la información secundaria

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narvárez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-SRP-EN-5



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Valor de cercanía y calidad a energía

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "servicios públicos" y se asocia a la cobertura de la zona en relación a la disponibilidad y calidad del servicio de energía eléctrica. Permite medir el acceso al servicio de energía eléctrica en el lote que será intervenido para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasifican así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el acceso al servicio de energía eléctrica en el lote que será intervenido para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

5. Unidad de Medida:

Valor de cercanía y calidad a energía

6. Variables:

Cobertura
Calidad

7. Formula:

$$AEN = 0,5 FCE + 0,5 CSE$$

AEN: Acceso a servicio de energía
 FCE: Facilidad de conexión a servicio de energía
 CSE: Calidad del servicio de energía

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El periodo depende de la actualización en la cobertura y calidad del servicio en la zona.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Reporte integrado 2020. Electrohuila, 2020.

Boletín técnico - Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2020. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2021.

Informe de Gestión 2021 - 2022. Electrohuila, 2022.

10. Fuente de Información:

Electrificadora del Huila S.A - E.S.P

Sistema de Información Eléctrico Colombiano (SIEL)

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad por parte de la Electrificadora del Huila y de la facilidad de acceso a la información secundaria.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narvárez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-SRP-AC-6



1. Nombre del indicador:

Valor de cercanía y calidad a acueducto

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "servicios públicos" y se asocia a la cobertura de la zona en relación a la disponibilidad y calidad del servicio de acueducto. Permite medir el acceso al servicio de acueducto en el lote que será intervenido para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasifican así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el acceso al servicio de acueducto en los lotes que serán intervenidos para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

5. Unidad de Medida:

Valor de cercanía y calidad a acueducto

6. Variables:

Cobertura
Calidad

7. Formula:

$$AAC = 0,5 FCAC + 0,5 CSAC$$

AAC: Acceso a acueducto
FCAC: Facilidad de conexión a acueducto
CSAC: Calidad del servicio de acueducto

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El periodo depende de la actualización en la cobertura y calidad del servicio en la zona.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Resolución 799 de 2021. Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017.

Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo - 2020. Superintendencia de Servicios Públicos.

Informe de Gestión 2021. Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P.

10. Fuente de Información:

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P.

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad por parte de Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P. y de la facilidad de acceso a la información secundaria.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-SRP-AL-7



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Valor de cercanía y calidad a alcantarillado

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "servicios públicos" y se asocia a la cobertura de la zona en relación a la disponibilidad y calidad del servicio de alcantarillado. Permite medir el acceso al servicio de alcantarillado en el lote que será intervenido para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasifican así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el acceso al servicio de alcantarillado en los lotes que serán intervenidos para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

5. Unidad de Medida:

Valor de cercanía y calidad a alcantarillado

6. Variables:

Cobertura
 Calidad

7. Formula:

$$AAL = 0,5 FCAL + 0,5 CSAL$$

AAL: Acceso a alcantarillado
 FCAL: Facilidad de conexión a alcantarillado
 CSAL: Calidad del servicio de alcantarillado

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El periodo depende de la actualización en la cobertura y calidad del servicio en la zona.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Resolución 799 de 2021. Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017.

Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo - 2020. Superintendencia de Servicios Públicos.

Informe de Gestión 2021. Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P.

10. Fuente de Información:

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P.

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad por parte de Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P. y de la facilidad de acceso a la información secundaria.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-SRP-RS-8



1. Nombre del indicador:

Valor de cercanía y calidad a residuos sólidos

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "selección del sitio" y la variable "servicios públicos" y se asocia a la cobertura de la zona en relación a la recolección de residuos sólidos. Permite medir el acceso a la recolección de residuos sólidos en el lote que será intervenido para la construcción de la vía, en función de la facilidad para acceder al servicio y su calidad.

Los rangos de valor de cercanía y calidad se clasifican así: baja (si el valor obtenido oscila entre 0 y 0,49), media (si el valor obtenido oscila entre 0,50 y 0,89) y alta (si el valor obtenido oscila entre 0,90 y 1,0).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el acceso a la recolección de residuos sólidos en los lotes que serán intervenidos, en función de la facilidad para acceder al servicio de recolección y la calidad del mismo.

5. Unidad de Medida:

Valor de cercanía y calidad a residuos sólidos

6. Variables:

Cobertura
Acceso a recolección de residuos sólidos
Facilidad para acceder al servicio de recolección
Calidad del servicio de recolección de residuos sólidos

7. Formula:

$$ARRS = 0,7 FAR + 0,3 CSRRS$$

ARRS: Acceso a recolección de residuos sólidos
FAR: Facilidad acceder al servicio de recolección
CSRRS: Calidad del servicio de recolección de residuos sólidos

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El periodo depende de la actualización que se haga a las rutas de recolección y calidad en las mismas de la zona.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Decreto 2811 de 1974 – Código Nacional de Recursos Naturales Renovables-, el Artículo 34 establece que para el manejo de los residuos sólidos se deben utilizar los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos sólidos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase.

Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Resolución 799 de 2021. Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017.

Informe nacional de coberturas de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo - 2020. Superintendencia de Servicios Públicos.

10. Fuente de Información:

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P.

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información podrá variar de acuerdo a la actualización de rutas y calidad en el servicio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-SEL-DO-9



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Distancia al origen

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "materiales y recursos" y la variable "selección" y analiza la distancia al origen, de los materiales empleados para la construcción de la vía (pétreos, asfalto, concreto).

Los rangos de distancia se determinan de acuerdo a la ubicación en kilómetros (Km); si el material se encuentra localmente, el valor del indicador será bajo (<25 Km); si el material se encuentra fuera de la ciudad, es decir en cualquier sitio de orden nacional o regional, el valor del indicador será medio (25 Km - 1500 Km) y finalmente, si se hace necesario la importación de los materiales, el valor del indicador será alto (>1500 Km).

4. Objetivo del Indicador:

Analizar la distancia al origen de los materiales empleados para la construcción de la vía (pétreos, asfalto, concreto).

5. Unidad de Medida:

Kilómetro (Km)

6. Variables:

Rangos de distancia al sitio de origen:

Local
 Nacional o Regional
 Importado

7. Formula:

$$ADOM = \sum DM$$

ADOM: Análisis de distancias al origen de materiales: Agregados pétreos y granulares, asfalto, concreto
 $\sum DM$: Sumatoria de distancias

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Mensual

Depende de la regularidad y disponibilidad de los materiales a emplear.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Decreto Reglamentario 2462 de 1989. Por el cual se reglamenta parcialmente el Código de Minas y el Decreto 507 de 1955 incorporado a la Legislación Ordinaria.

Ley 141 de 1994. Por la cual se crean el Fondo Nacional de Regalías, la Comisión Nacional de Regalías, se regula el derecho del Estado a percibir regalías por la explotación de recursos naturales no renovables, se establecen las reglas para su liquidación y distribución y se dictan otras disposiciones.

Ley 685 de 2001. Por el cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.

Guía de buenas prácticas para la exploración y estimación de recursos y reservas de materiales de arrastre. 2021

10. Fuente de Información:

Agencia Nacional de Minería

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la facilidad de acceso por parte de los proveedores de los materiales de construcción de la zona de influencia del proyecto.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-ENE-ER-10



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de energía renovable

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "materiales y recursos" y la variable "energía" y permite identificar qué tan limpia es la energía que se utiliza en el proyecto.

Los rangos de energía renovable se clasifican así: baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el porcentaje de energía renovable que se utiliza en el proyecto.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Energía solar
Energía hidráulica
Energía de la biomasa
Otra energía alternativa

7. Formula:

$$ERN = (0,25 ES + 0,25 EH + 0,25 EB + 0,25 EA)*100$$

ERN: Energías renovables
ES: Energía solar
EH: Energía hidráulica
EB: Energía de la biomasa
EA: Otra energía alternativa

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El período depende directamente del estudio asociado a esta temática.
Se debe realizar antes y después de la intervención vial.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Ley 697 de 2001. Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

Ley 1665 de 2013. Por medio de la cual se aprueba el "Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)".
Alemania, 2009.

Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Ley 2099 de 2021. Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.

10. Fuente de Información:

Ministerio de Minas y Energía

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la facilidad de acceso a energías alternativas.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-AGU-UA-11



1. Nombre del indicador:

Uso racional del recurso

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "materiales y recursos" y la variable "agua" y permite cuantificar qué tan eficiente es el uso del agua a partir de las facturas de consumo generadas por Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P, en la zona de influencia del proyecto.

Los rangos de uso eficiente del agua se clasifican así: bajo (si el consumo es mayor a 100 m³/Km), medio (si el consumo oscila entre 50 y 100 m³/Km) y alto (si el consumo es menor a 50 m³/Km).

4. Objetivo del Indicador:

Cuantificar qué tan eficiente es el uso del agua a partir de las facturas de consumo generadas por Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P, en la zona de influencia del proyecto.

5. Unidad de Medida:

Metro cúbico por Kilómetro (m³)

6. Variables:

Uso eficiente del agua en función de:

Promedio del módulo de consumo

7. Formula:

$$URR = PMC$$

URR: Uso racional recurso

PMC: Promedio módulo de consumo

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Mensual

El análisis se debe realizar mensualmente con el fin de mejorar la eficiencia del recurso.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Ley 373 de 1997. En esta ley se establece que todo plan ambiental regional y municipal, debe incorporar un programa para el uso eficiente y ahorro del agua, que constituye un conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades prestadoras del servicio, y debe ser aprobado por la entidad ambiental. Este programa, según lo establece la ley, deberá hacerse quinquenal y basarse en el diagnóstico de la oferta hídrica del territorio donde se aplicará, deberá contener las metas anuales de reducción de pérdidas, campañas anuales destinadas a reducir el consumo en la comunidad y estrategias como la utilización de aguas lluvias y subterráneas e incentivos para la reducción del consumo. Se crea la CRA (Comisión Reguladora de Agua potable y saneamiento básico), la cual tiene como objetivo establecer los consumos básicos en función de los usos de agua, desincentivar los consumos máximos y establecer tarifas y medidas para aquellos consumos por encima del máximo.

10. Fuente de Información:

Las Ceibas - Empresas Públicas de Neiva E.S.P
Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

11. Fecha línea base:**12. Restricciones del Indicador:**

La información dependerá de la actualización de las facturas de acueducto.

13. Responsable del indicador:**14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:**

Ginna Lizeth Narvárez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-AIR-CA-12



1. Nombre del indicador:

Calidad del aire

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "materiales y recursos" y la variable "aire", fue tomado de la Resolución 2254 de 2017 y permite cuantificar los niveles de contaminación del aire a partir de la concentración de seis sustancias principales: material particulado con diámetro inferior a 10 micras (PM₁₀), material particulado con diámetro inferior a 2.5 micras (PM_{2.5}), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y monóxido de carbono (CO), presentes en el área de intervención del proyecto. La escala de valoración del índice se relaciona con la amenaza a la salud humana y sus rangos se clasifican así: Buena: 0 a 50, Moderada: 51 a 100, Dañina a la salud para grupos sensibles expuestos: 101 a 150, Dañina a la salud de personas expuestas: 151 a 200, Muy dañina para la salud: 201 a 300, Peligrosa: 301 a 500.

4. Objetivo del Indicador:

Cuantificar los niveles de contaminación del aire a partir de la concentración de seis sustancias principales: material particulado con diámetro inferior a 10 micras (PM10), material particulado con diámetro inferior a 2.5 micras (PM2.5), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), ozono (O3) y monóxido de carbono (CO), presentes en el área de intervención del proyecto.

5. Unidad de Medida:

ICA

6. Variables:

Concentración de la sustancia P de un sistema de calidad de aire durante un tiempo

Punto de corte mayor o igual a la concentración medida del contaminante P

Punto de corte mayor o igual a la concentración medida del contaminante P

7. Formula:

$$ICA = \left(\frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} \right) * (C_i - BP_{LO}) + I_{LO}$$

ICA: Índice de calidad del aire para la sustancia contaminante P de un sistema de calidad del aire durante un tiempo

C_i: Concentración de la sustancia P de un sistema de calidad de aire durante un tiempo

BP_{HI}: Punto de corte mayor o igual a la concentración medida del contaminante P

BP_{LO}: Punto de corte mayor o igual a la concentración medida del contaminante P

I_{HI}: Valor del ICA correspondiente al punto de corte BP_{HI}

I_{LO}: Valor del ICA correspondiente al punto de corte BP_{LO}

Índice de Calidad del Aire		Puntos de corte ICA							
ICA	Color	Categoría	PM ₁₀ µg/m ³ 24 horas	PM _{2.5} µg/m ³ 24 horas	CO ppm/1 8 horas	SO ₂ ppm/1 1 hora	NO ₂ ppm/1 1 hora	O ₃ ppm/1 8 horas	O ₃ ppm/1 1 hora
0-50	Verde	Buena	0-54	0-12	0-5094	0-50	0-100	0-100	-----
51-100	Amarillo	Aceptable	55-154	13-37	5206-10819	66-197	101-189	107-138	-----
101-150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155-254	38-55	10820-14254	198-485	190-677	139-162	245-323
151-200	Rojo	Dañina a la salud	255-354	58-150	14255-17688	487-797	678-1028	168-207	324-401
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355-424	161-250	17689-24652	798-1583	1222-2149	208-283	402-784
301-500	Marrón	Peligrosa	425-604	251-500	24653-57703	1584-2620	2205-3653	2847	785-1185

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

El periodo de la actualización de los datos depende del parámetro evaluado y la frecuencia en la toma de los datos de cada estación.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:
Decreto 948 de 1995. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

Resolución 909 de 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

Resolución 910 de 2008. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.

Resolución 1309 de 2010. Por la cual se modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

Resolución 1541 de 2013. Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1076 de 2015. Incorpora las modificaciones introducidas al Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible a partir de la fecha de su expedición.

Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire y se dictan otras disposiciones.

Banco de indicadores para el proceso de licenciamiento ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2022.

10. Fuente de Información:

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la disponibilidad por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

GINNA LIZETH NARVÁEZ VELOZA

15. Fecha elaboración: Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre: _____

Firma: _____

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-RES-DD-13



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Distancia a sitios de disposición de desechos

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "materiales y recursos" y la variable "residuos" y permite medir la distancia entre el área del proyecto y el sitio de disposición de los escombros.

Los rangos de distancia se determinan de acuerdo a la ubicación en kilómetros (Km); si el sitio de disposición se encuentra a 1 Km, el valor del indicador será cerca; si el sitio de disposición se encuentra a 2 Km, el valor del indicador será relativamente cerca; si el sitio de disposición se encuentra a 3 Km, el valor del indicador será medianamente cerca; si el sitio de disposición se encuentra a 5 Km, el valor del indicador será lejos y si el sitio de disposición se encuentra a más 5 Km, el valor del indicador será muy lejos.

4. Objetivo del Indicador:

Medir la distancia entre el área del proyecto y el sitio de disposición de los escombros.

5. Unidad de Medida:

Kilómetro (Km)

6. Variables:

Rangos de distancia al sitio de disposición:

Cerca
Relativamente cerca
Medianamente cerca
Lejos
Muy lejos

7. Formula:

$$DSD = CDD$$

DSD: Distancia a sitios de disposición

CDD: Distancia de disposición

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

De acuerdo a la cantidad de sitios de disposición de escombros certificados que existan en la ciudad

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Decreto 2811 de 1974 – Código Nacional de Recursos Naturales Renovables-, el Artículo 34 establece que para el manejo de los residuos sólidos se deben utilizar los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos sólidos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase.

Decreto 1077 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto único Reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio.

Resolución 0472 de 2017. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición - RCD y se dictan otras disposiciones.

Resolución 1257 de 2021. Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición - RCD y se adoptan otras disposiciones.

10. Fuente de Información:

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

11. Fecha línea base:**12. Restricciones del Indicador:**

La información dependerá de la disponibilidad por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

13. Responsable del indicador:**14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:**

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-PRE-PS-14



1. Nombre del indicador:

Nivel de presión sonora

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "proceso constructivo" y la variable "preliminares" y mide la intensidad de sonido que emiten la maquinaria y equipos presentes en el proyecto, en un espectro audible que varía entre 0 dB y 120 dB. Este indicador se tomó del Banco de Indicadores para el Proceso de Licenciamiento Ambiental

Los estándares máximos permisibles son: Sector A - Tranquilidad y silencio (hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios): 55 dB (día) y 50 dB (noche); Sector B - Tranquilidad y ruido moderado (zonas residenciales, hotelería y hospedajes, universidades y centros de estudio, parques en zonas urbanas): 65 dB (día) y 55 dB (noche); Sector C - Ruido intermedio restringido (zonas con usos permitidos industriales: 75 dB (día) y 75 dB (noche), comerciales 70 dB (día) y 60 dB (noche), de oficinas, institucionales 65 dB (día) y 55 dB (noche) y parques mecánico al aire libre 80 dB (día) y 75 dB (noche); Sector D - Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado (residencial suburbana, rural y zonas de recreación y descanso): 55 dB (día) y 50 dB (noche).

4. Objetivo del Indicador:

Medir la intensidad de sonido que emiten la maquinaria y equipos presentes en el proyecto.

5. Unidad de Medida:

Decibeles (dB)

6. Variables:

Presión sonora
Presión de referencia a la presión de un tono audible (20 µPa)

7. Formula:

$$NPS = 20 \times \text{Log}_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)$$

NPS: Nivel de presión sonora

P: Presión sonora registrada (µPa)

P_{ref} : Presión de referencia a la presión de un tono audible (20 µPa)

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y Silencio	Hospitales, bibliotecas, guardería s, sanatorios, hogares geriátricos	55	50
	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes		
Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación	65	55
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido Intermedio Restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial; talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios.	70	60

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
	restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.		
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre	80	75
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.		
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.	55	50
	Zonas de Recreación y descanso como parques y reservas naturales.		

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Mensual

Durante la etapa de actividades preliminares.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:
Resolución 627 de 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Banco de indicadores para el proceso de licenciamiento ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022.

10. Fuente de Información:
Información secundaria obtenida en la zona de estudio Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:
La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:
Ginna Lizeth Narvárez Veloza

15. Fecha elaboración:	Febrero de 2023
-------------------------------	-----------------

16. Revisó y Aprobó:	Nombre:	
	Firma:	

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-PRE-UC-15



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de uso de combustibles

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "proceso constructivo" y la variable "preliminares" y se asocia al uso de combustibles alternativos. Permite medir el porcentaje de combustibles fósiles y alternativos que se utilizan en el proyecto, en una proporción 3:7 respectivamente.

Los rangos de uso de combustibles alternativos se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%)

4. Objetivo del Indicador:

Medir el porcentaje de combustibles fósiles y alternativos que se utilizan en el proyecto, en una proporción 3:7 respectivamente.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Combustibles fósiles
 Combustibles alternativos

7. Formula:

$$UCB: (0,3 CF + 0,7 CA) * 100$$

UCB: Uso de combustibles
 CF: Combustibles fósiles
 CA: Combustibles alternativos

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Mensual

Durante la etapa de actividades preliminares.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Ley 939 de 2004. Por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diesel y se dictan otras disposiciones.

Resolución 40103 de 2021. Por la cual se establecen los parámetros y requisitos de calidad del combustible diésel (ACPM), los biocombustibles para uso en motores de encendido por compresión como componentes de mezcla en procesos de combustión y de sus mezclas y, de las gasolinas básicas y gasolinas oxigenadas con etanol anhidro, combustible para uso en motores de encendido por chispa, y se adoptan otras disposiciones.

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

11. Fecha línea base:**12. Restricciones del Indicador:**

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:**14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:**

GINNA LIZETH NARVÁEZ VELOZA

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-ESP-CS-16



UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de composición de subbase granular

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "proceso constructivo" y la variable "estructura de pavimento" y se asocia al origen de los agregados que componen la subbase granular utilizada en la vía. Permite determinar la composición de los agregados que componen una subbase granular de acuerdo a su origen: natural, reciclado y reusado.

Los rangos de composición de subbase granular se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49% y significa que la mayoría de los agregados son naturales), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100% y significa que la mayoría de los agregados son reusados).

4. Objetivo del Indicador:

Determinar la composición de los agregados que componen una subbase granular de acuerdo a su origen: natural, reciclado y reusado.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Agregados reusados
Agregados reciclados
Agregados naturales

7. Formula:

$$CSG = (0,5 ARU + 0,3 ARE + 0,2 ANA)*100$$

CSG: Composición de subbase granular
ARU: Agregados reusados
ARE: Agregados reciclados
ANA: Agregados naturales

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

Durante la construcción de la estructura de pavimento

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Decreto Reglamentario 2462 de 1989. Por el cual se reglamenta parcialmente el Código de Minas y el Decreto 507 de 1955 incorporado a la Legislación Ordinaria.

Ley 141 de 1994. Por la cual se crean el Fondo Nacional de Regalías, la Comisión Nacional de Regalías, se regula el derecho del Estado a percibir regalías por la explotación de recursos naturales no renovables, se establecen las reglas para su liquidación y distribución y se dictan otras disposiciones.

Ley 685 de 2001. Por el cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.

Guía de buenas prácticas para la exploración y estimación de recursos y reservas de materiales de arrastre. 2021

NTC 6422 de 2021. Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

10. Fuente de Información:

Agencia Nacional de Minería

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváz Velloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-ESP-CB-17



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de composición de base granular

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "proceso constructivo" y la variable "estructura de pavimento" y se asocia al origen de los agregados que componen la base granular utilizada en la vía. Permite determinar la composición de los agregados que componen una base granular de acuerdo a su origen: natural, reciclado y reusado.

Los rangos de composición de base granular se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49% y significa que la mayoría de los agregados son naturales), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100% y significa que la mayoría de los agregados son reusados).

4. Objetivo del Indicador:

Determinar la composición de los agregados que componen una base granular de acuerdo a su origen: natural, reciclado y reusado.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Agregados reusados
Agregados reciclados
Agregados naturales

7. Formula:

$$CBG = (0,5 \text{ ARU} + 0,3 \text{ ARE} + 0,2 \text{ ANA}) * 100$$

CBG: Composición de base granular

ARU: Agregados reusados

ARE: Agregados reciclados

ANA: Agregados naturales

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

Durante la construcción de la estructura de pavimento.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Decreto Reglamentario 2462 de 1989. Por el cual se reglamenta parcialmente el Código de Minas y el Decreto 507 de 1955 incorporado a la Legislación Ordinaria.

Ley 141 de 1994. Por la cual se crean el Fondo Nacional de Regalías, la Comisión Nacional de Regalías, se regula el derecho del Estado a percibir regalías por la explotación de recursos naturales no renovables, se establecen las reglas para su liquidación y distribución y se dictan otras disposiciones.

Ley 685 de 2001. Por el cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.

Guía de buenas prácticas para la exploración y estimación de recursos y reservas de materiales de arrastre. 2021

NTC 6422 de 2021. Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

10. Fuente de Información:

Agencia Nacional de Minería

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-ESP-CR-18



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de composición de rodadura

2. Tipo de indicador:

Ambiental

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "proceso constructivo" y la variable "estructura de pavimento" y se asocia al origen de los materiales que componen la capa de rodadura del pavimento. Permite determinar la composición de los materiales que componen la capa de rodadura del pavimento de acuerdo a su origen: natural, reciclado y reusado.

Los rangos de composición de los materiales se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49% y significa que la mayoría de los materiales son naturales), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100% y significa que la mayoría de los materiales son reusados).

4. Objetivo del Indicador:

Determinar la composición de los materiales que componen la capa de rodadura del pavimento de acuerdo a su origen: natural, reciclado y reusado.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Material reusado
Material reciclado
Material nuevo

7. Formula:

$$CRO = (0,5 MRU + 0,3 MRE + 0,2 MNU)*100$$

CRO: Composición de rodadura
MRU: Material reusado
MRE: Material reciclado
MNU: Material nuevo

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

Durante la construcción de la estructura de pavimento.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. Artículo 400 - 22. Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos.

Artículo 461 - 22. Reciclado de pavimento asfáltico in situ empleando ligantes bituminosos.

Artículo 462 - 22. Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente. Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

10. Fuente de Información:

Agencia Nacional de Minería

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-ESP-RI-19



1. Nombre del indicador:

Índice de Rugosidad Internacional

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "proceso constructivo" y la variable "estructura de pavimento" y permite cuantificar la regularidad de la capa de rodadura del pavimento aplicado

Los rangos de Índice de Rugosidad Internacional se clasificaron a partir de lo dispuesto en los artículos 450-22 (Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)) y 500-22 (Pavimento de concreto hidráulico) de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras: Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 0,10 m: 40% de hectómetros: NT1: 2,4 m/Km, NT2: 1,9 m/Km, NT3: 1,4 m/KM, 80% de hectómetros: NT1: 3,0 m/Km, NT2: 2,5 m/Km, NT3: 2,0 m/KM, 100% de hectómetros: NT1: 3,5 m/Km, NT2: 3,0 m/Km, NT3: 2,5 m/KM. En pavimentos rehabilitados en espesor <= 0,10 m, 40% de hectómetros: NT1: 2,9 m/Km, NT2: 2,4 m/Km, NT3: 1,9 m/KM, 80% de hectómetros: NT1: 3,5 m/Km, NT2: 3,0 m/Km, NT3: 2,5 m/KM, 100% de hectómetros: NT1: 4,0 m/Km, NT2: 3,5 m/Km, NT3: 3,0 m/KM.

4. Objetivo del Indicador:

Cuantificar el Índice de Rugosidad Internacional de la vía construida.

5. Unidad de Medida:

Metro/Kilómetro (m/Km)

6. Variables:

Índice de Rugosidad Internacional

7. Formula:

IRI= IRI

IRI: Índice de Rugosidad Internacional

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

Al terminar la capa de rodadura de la vía

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. Artículo 450 - 22. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico).
Artículo 500 - 22. Pavimento de concreto hidráulico. Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio
Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración: Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre: _____
Firma: _____

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-SEG-SV-20



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Estado de señalización vertical

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "seguridad" y se asocia al estado de la señalización vertical en términos de posición, legibilidad y retrorreflectividad . Permite identificar el estado de la señalización vertical instalada en el proyecto.

Los rangos de estado de la señalización vertical se clasifican así: malo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), regular (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y bueno (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Identificar el estado de la señalización vertical instalada en el proyecto.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Posición
Legibilidad
Retrorreflectividad

7. Formula:

$$SEV= (0,3 PO + 0,3 LG + 0,4 RH)*100$$

SEV: Estado de la señalización vertical
PO: Posición
LG: Legibilidad
RV: Retrorreflectividad

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Semestral

Después de terminar el proyecto, se debe realizar esta medición cada seis meses.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. Art. 710 - 22. Señales verticales de tránsito. Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

NTC 4739. Láminas retrorreflectivas para control de tránsito. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-SEG-SH-21



1. Nombre del indicador:

Estado de señalización horizontal

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "seguridad" y se asocia al estado de la señalización horizontal en términos de alineamiento, retrorreflectividad y cantidad de tachas. Permite identificar el estado de la señalización horizontal demarcada.

Los rangos de estado de la señalización horizontal se clasifican así: malo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), regular (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y bueno (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Identificar el estado de la señalización horizontal demarcada.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Alineamiento
Retrorreflectividad
Cantidad de tachas

7. Formula:

$$SEH = (0,3 AL + 0,4 RH + 0,3 TA) * 100$$

SEH: Estado de la señalización horizontal

AL: Alineamiento

RH: Retrorreflectividad

TA: Cantidad de tachas

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Semestral

Después de terminar el proyecto, se debe realizar esta medición cada seis meses.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. Art. 700 - 22. Líneas de demarcación y marcas viales. Art. 701 - 22. Tachas reflectivas. Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio
Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-SEG-DS-22



1. Nombre del indicador:

Drenaje superficial

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "seguridad" y se asocia al estado de los drenajes superficiales (cunetas, zanjas, alcantarillas, canales, encoles, descoles y otras obras de drenaje existentes). Permite determinar el estado de los drenajes superficiales existentes en el área de intervención del proyecto.

Los rangos de obstrucción de los drenajes superficiales se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 24%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 25% y 40%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 41% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Determinar el estado de los drenajes superficiales existentes en el área de intervención del proyecto.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Obstrucción de la sección hidráulica de las obras de drenaje superficial

7. Formula:

$$DRS = \%CDS$$

DRS: Drenaje superficial

CDS: Porcentaje de obstrucción de sección hidráulica de las obras de drenaje

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Semestral

Después de terminar el proyecto, se debe realizar esta medición cada seis meses.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Manual de drenaje para carreteras. Instituto Nacional de Vías, 2009.

Manual para la inspección visual de estructuras de drenaje. Instituto Nacional de Vías, 2006.

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio

**13. Responsable del
indicador:**

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

FICHA METODOLÓGICA INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL	
INDICADOR No.	ILBIV-OPE-DF-23 
1. Nombre del indicador:	Porcentaje de daños del pavimento flexible
2. Tipo de indicador:	Social
3. Descripción del Indicador:	<p>Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "operación" y fue tomado a partir de los daños descritos en el Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, a partir de un análisis de las fisuras, deformaciones, daños superficiales, deterioro en las capas estructurales y otros daños.</p> <p>Los rangos de daños en el pavimento flexible se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).</p>
4. Objetivo del Indicador:	Determinar el porcentaje de daños por kilómetro de vía.
5. Unidad de Medida:	Porcentaje/Kilómetro (%)/Km
6. Variables:	<p style="text-align: center;">Daños del pavimento flexible: Fisuras Deformaciones Daños superficiales Deterioro de capas estructurales Otros daños</p>
7. Formula:	$DPF = (0,2 FI + 0,3 DE + 0,1 DS + 0,3 DCE + 0,1 OD) * 100$ <p style="text-align: center;">DPF: Daños del pavimento flexible FI: Fisuras DE: Deformaciones DS: Daños superficiales DCE: Deterioro de capas estructurales OD: Otros Daños</p>
8. Periodicidad:	Observación a periodicidad
Semestral	Después de terminar el proyecto, se debe realizar esta medición cada seis meses.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Instituto Nacional de Vías y Universidad Nacional de Colombia, 2006.

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración: Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre: _____

Firma: _____

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-OPE-DR-24



1. Nombre del indicador:

Porcentaje de daños del pavimento rígido

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "operación" y fue tomado a partir de los daños descritos en el Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos, a partir de un análisis de las grietas y agrietamientos, juntas, deterioro superficial, otros daños, daños en bermas.

Los rangos de daños en el pavimento rígido se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 49%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Determinar el porcentaje de daños por kilómetro de vía.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje/Kilómetro (%)/Km

6. Variables:

Daños del pavimento rígido:
Grietas y agrietamientos
Juntas
Deterioro superficial
Otros daños
Daños en bermas

7. Formula:

$$DPR = (0,25 GA + 0,25 JU + 0,3 DT + 0,1 OD + 0,1 DB) * 100$$

DPR: Daños del pavimento rígido
GA: Grietas y agrietamientos
JU: Juntas
DT: Deterioro superficial
OD: Otros daños
DB: Daños en bermas

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Semestral

Después de terminar el proyecto, se debe realizar esta medición cada seis meses.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos. Instituto Nacional de Vías y Universidad Nacional de Colombia, 2006.

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

13. Responsable del indicador:

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración: Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre: _____

Firma: _____

FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL

INDICADOR No.

ILBIV-MAN-AV-25



1. Nombre del indicador:

Porcentaje de afectación por vegetación

2. Tipo de indicador:

Social

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "mantenimiento" y permite determinar qué tan obstruida se encuentra la vía por la vegetación presente.

Los rangos de afectación por vegetación se clasifican así: sin afectación (si el porcentaje obtenido es 0%), baja (si el porcentaje obtenido oscila entre 0,1% y 49%), media (si el porcentaje obtenido oscila entre 50% y 89%) y alta (si el porcentaje obtenido oscila entre 90% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Medir la afectación de la vía por vegetación.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Afectación por vegetación

7. Formula:

$$AFV = \%CAV$$

AFV: Afectación por vegetación
CAV: Porcentaje de afectación por vegetación

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Semestral

Después de terminar el proyecto, se debe realizar esta medición cada seis meses.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. Artículo 802 - 22. Poda de árboles. Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio.

**13. Responsable del
indicador:**

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma:

**FICHA METODOLÓGICA
INDICADORES LÍNEA BÁSE APLICABLE A INFRAESTRUCTURA VIAL**

INDICADOR No.

ILBIV-MAN-RP-26



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

1. Nombre del indicador:

Porcentaje de presupuesto invertido en reparación y mantenimiento

2. Tipo de indicador:

Económico

3. Descripción del Indicador:

Este indicador hace parte del eje temático "operación y mantenimiento" y la variable "mantenimiento" y permite medir el presupuesto invertido en la reparación y mantenimiento de la vía construida.

Los rangos de presupuesto invertido en reparación y mantenimiento se clasifican así: bajo (si el porcentaje obtenido oscila entre 0% y 15%), medio (si el porcentaje obtenido oscila entre 16% y 30%) y alto (si el porcentaje obtenido oscila entre 31% y 100%).

4. Objetivo del Indicador:

Medir el presupuesto invertido en la reparación y mantenimiento de la vía construida.

5. Unidad de Medida:

Porcentaje (%)

6. Variables:

Costos del proyecto
Costos de reparación y mantenimiento

7. Formula:

$$PRM= (RM/CP)*100$$

PRM: Presupuesto de reparación y mantenimiento

CP: Costos del proyecto

RM: Costos de reparación y mantenimiento

8. Periodicidad:

Observación a periodicidad

Según Estudio Realizado

Una vez se termine el proyecto.

9. Normatividad y Estándares Técnicos:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio

10. Fuente de Información:

Información secundaria obtenida en la zona de estudio.

11. Fecha línea base:

12. Restricciones del Indicador:

La información dependerá de la evaluación en la zona de estudio

**13. Responsable del
indicador:**

14. Nombre de quien elaboró la Hoja Metodológica:

Ginna Lizeth Narváez Veloza

15. Fecha elaboración:

Febrero de 2023

16. Revisó y Aprobó:

Nombre:

Firma: