

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS ASOCIADOS A MANTENIMIENTOS Y  
MEJORAMIENTOS DE VÍAS Terciarias DE COLOMBIA: COSTOS DE USUARIOS DE  
CARRETERA, OPERACIÓN DE VEHÍCULOS Y TIEMPOS DE VIAJE.

Luis Felipe Parra Crisanchó

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniería Civil

Director

Yerly Fabian Martínez Estupiñán  
Ingeniero Civil, Msc.

Codirector

Sebastián Blackburn Ortiz  
Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga

2025

## Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN .....	9
1. OBJETIVOS .....	11
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos .....	11
2. CUERPO DEL TRABAJO .....	12
2.1 Marco Referencial .....	12
2.2 Metodología .....	12
2.2.1 Búsqueda de información de mantenimientos y mejoramientos .....	13
2.2.2 Búsqueda de información para costos de usuarios, operación vehicular y tiempos de viaje .....	14
2.2.3 Búsqueda de información para costos de transporte de material de suministro .....	15
2.2.4 Estandarización de Actividades de mantenimientos y mejoramientos .....	16
2.2.5 Definición de parámetros de estudio para costos de operación de vehículos .....	22
2.2.6 Solicitud de información georreferenciada de canteras de suministro. ....	25
2.3 Resultados .....	25
2.3.1. Elaboración de presupuestos de mantenimientos y mejoramientos .....	27
2.3.2 Estimación de costos de usuarios, operación y tiempos de viaje .....	29
2.3.3 Estimación de costos de transporte de material .....	36
2.3.4 Análisis de presupuestos de mejoramientos .....	37
2.3.5 Análisis de presupuestos de mantenimientos .....	44

2.3.6 Análisis de costos estimados para el transporte de agregados para mantenimientos y mejoramientos .....	46
3. CONCLUSIONES .....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

**Lista de tablas**

<i>TABLA 1 Alternativas de mejoramiento.....</i>	<i>19</i>
<i>TABLA 2 Actividades de obra para mejoramientos.....</i>	<i>20</i>
<i>TABLA 3 Actividades de obra para mantenimientos.....</i>	<i>23</i>
<i>TABLA 4 Flota vehicular de estudio.....</i>	<i>26</i>
<i>TABLA 5 Costos de mantenimiento.....</i>	<i>34</i>
<i>TABLA 6 Costos de neumáticos nuevos.....</i>	<i>36</i>
<i>TABLA 7 Costos de vehículos nuevos.....</i>	<i>37</i>
<i>TABLA 8 Tabla de gastos anuales vehiculares.....</i>	<i>37</i>
<i>TABLA 9 Características de la flota vehicular.....</i>	<i>39</i>
<i>TABLA 10 Costos asociados a seguridad vial.....</i>	<i>40</i>
<i>TABLA 11 Presupuesto para mantenimiento con bacheo.....</i>	<i>50</i>
<i>TABLA 12 Presupuesto para mantenimiento con recarga de grava.....</i>	<i>50</i>
<i>TABLA 13 Presupuesto para mantenimiento con perfilado pesado.....</i>	<i>51</i>
<i>TABLA 14 Distancias a las canteras más cercanas de la vía de estudio.....</i>	<i>53</i>
<i>TABLA 15 Tarifa por viaje de las canteras más cercanas a la vía de estudio.....</i>	<i>54</i>
<i>TABLA 16 Costo del transporte de material para diferentes alternativas a implementar en la vía de estudio.....</i>	<i>55</i>
<i>TABLA 17 Presupuesto general de costos para la implementación de pavimento flexible con subrasante tratada con cemento en la vía estudio .....</i>	<i>56</i>

## Lista de Figuras

<i>FIGURA 1. Metodología implementada.....</i>	<i>14</i>
<i>FIGURA 2. Mapa de Colombia con la ubicación georreferenciada y la extensión de las canteras a nivel nacional.....</i>	<i>18</i>
<i>FIGURA 3. Esquema de estructura de insumos de A.P.U códigos en visual Basic para extraer la información de archivos .xlsx.....</i>	<i>30.</i>
<i>FIGURA 4. Costos para pavimentos flexibles con los departamentos con el costo más elevado por mejoramiento.....</i>	<i>43.</i>
<i>FIGURA 5. Costos para pavimentos flexibles con los departamentos con el costo más bajo por mejoramiento.....</i>	<i>44.</i>
<i>FIGURA 6. Costos para pavimentos rígidos con los departamentos con el costo más alto por mejoramiento.....</i>	<i>47.</i>
<i>FIGURA 7. Costos para pavimentos rígidos con los departamentos con el costo más bajo por mejoramiento.....</i>	<i>48.</i>
<i>FIGURA 8. Costos para placa huella con los departamentos con el costo más bajo y alto por mejoramiento.....</i>	<i>49.</i>
<i>FIGURA 9. Foto satelital de la vía de estudio junto con las canteras de suministro más cercanas....</i>	<i>52.</i>
<i>FIGURA 10. Porcentajes de costos de implementación de mejoramiento de pavimento flexible en la vía de estudio "Piedecuesta Sevilla.....</i>	<i>57.</i>

### Lista de Apéndices

*APÉNDICE A Código visual Basic indexación de información A.P.U. invias (.txt) .....*

*APÉNDICE B Hoja de cálculo costos de operación y tiempos de viaje (.xlsx).....*

*APÉNDICE C Herramienta de presupuestación para mantenimientos en vías terciarias (.xlsx).....*

*APÉNDICE D Herramienta de presupuestación para mejoramientos en vías terciarias (.xlsx).....*

“Los apéndices están adjuntos a la entrega y puede visualizarlos en base de datos de la biblioteca UIS”

## Resumen

**Título:** ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS ASOCIADOS A MANTENIMIENTOS Y MEJORAMIENTOS DE VÍAS TERCIARIAS DE COLOMBIA: COSTOS DE USUARIOS DE CARRETERA, OPERACIÓN DE VEHÍCULOS Y TIEMPOS DE VIAJE

**Autor:** Luis Felipe Parra Cristancho

**Palabras Clave:** Vías terciarias, Mejoramientos, Mantenimientos; A.P.U.

**Descripción:** Las vías terciarias en Colombia son esenciales para la conectividad rural; sin embargo, su mantenimiento y mejoramiento enfrentan retos económicos y logísticos. Esta investigación analiza los precios unitarios regionalizados del Instituto Nacional de Vías de Colombia y, con base en ellos, formula presupuestos para las intervenciones de mejoramiento y mantenimiento de vías terciarias, también definidas por dicha entidad. Además, estima costos de operación vehicular y los tiempos de viaje vehicular, con el fin de optimizar su gestión en la planificación vial; El resultado de los análisis hechos en este trabajo se convierten en un insumo fundamental para el proyecto de investigación titulado "Metodología integral para la planificación del mantenimiento y mejoramiento de vías terciarias no pavimentadas en Colombia mediante el uso del software HDM-4". Se realizó una revisión bibliográfica y se consolidó una base de datos con análisis de precios unitarios y presupuestos de estrategias de mejoramiento. Con esta información, se llevó a cabo un análisis económico a nivel departamental y nacional, incluyendo la georreferenciación de canteras para estimar los costos de transporte de materiales granulares. Se compararon distintas alternativas de mejoramiento, identificando las más viables desde el punto de vista económico, también se presenta un ejemplo tipo que ilustra la aplicación de la base de datos y la estimación de costos. Los resultados obtenidos muestran que la implementación de pavimentos rígidos a nivel nacional puede representar un costo aproximadamente 50% superior en comparación con los pavimentos flexibles. No obstante, esta diferencia está sujeta a múltiples variables, incluyendo las características de la vía y las condiciones climáticas de la zona de implementación, así como los costos y la disponibilidad de equipos, materiales, transporte y mano de obra.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabian Martínez Estupiñán Msc. Codirector Sebastián Blackburn Ortiz Ing.

### Abstract

**Title:** ANALYSIS OF UNIT PRICES ASSOCIATED WITH THE MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF GRAVEL ROADS IN COLOMBIA: ROAD USER COSTS, VEHICLE OPERATION, AND TRAVEL TIME.

**Author:** Luis Felipe Parra Cristancho

**Keywords:** Gravel roads, Improvements, Maintenance, Unit Price Analysis (UPA)

**Description:** Gravel roads in Colombia play a fundamental role in rural connectivity; however, their maintenance and improvement face significant economic and logistical challenges. This research analyzes the regionalized unit prices defined by the National Institute of Roads of Colombia (INVIAS). Based on this information, develop cost estimates for maintenance and improvement interventions on gravel roads, following the guidelines established by this entity. Additionally, vehicle operating costs and travel times are estimated to optimize infrastructure management and planning. The findings of this study serve as a key input for the broader research project titled "Comprehensive Methodology for the Planning of Maintenance and Improvement of Unpaved Gravel Roads in Colombia Using the HDM-4 Software." We conducted an extensive literature review and consolidated a database, integrating unit price analyses and budget estimates for various road improvement strategies. Based on this data, we made an economic analysis at the departmental and national levels, including the georeferencing of quarries, to estimate granular material transportation costs.

Furthermore, we evaluated different improvement alternatives to identify the most economically viable options. We presented a case study to illustrate the application of the database and cost estimation in a representative scenario. As a result of the economic analysis of gravel road improvement interventions, it was determined that, at the national level, the implementation of rigid pavements may incur costs approximately 50% higher than those of flexible pavements. However, this cost difference is influenced by multiple factors, including the geometric and geotechnical characteristics of the road, regional climatic conditions, and the costs and availability of equipment, materials, transportation, and labor.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Advisor: Yerly Fabian Martínez Estupiñán Msc. CoAdvisor: Sebastián Blackburn Ortiz Ing.

## Introducción

Las vías terciarias en Colombia son fundamentales para el desarrollo rural, pero su estado deficiente genera altos costos de operación vehicular, mayores tiempos de viaje y dificultades de acceso a servicios esenciales. Según el Departamento Nacional de Planeación DNP en 2022, el 69% de la red vial en Colombia era terciaria, con solo un 6% pavimentado. El 40% estaba en mal estado, reflejando la necesidad de inversión en su mejoramiento.(DNP Colombia, 2021) Ante esta problemática, esta investigación analiza los precios unitarios regionalizados del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS) y formula presupuestos de mejoramientos y mantenimientos de vías terciarias, junto con el análisis de costos de operación vehicular y tiempos de viaje, con el fin de facilitar la planificación de intervenciones en la red vial terciaria.

Dada la importancia de esta infraestructura, surge la necesidad de establecer metodologías eficientes para su mantenimiento y mejoramiento. En este contexto, la presente pasantía de investigación buscó responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tipos de alternativas de mejoramiento y mantenimiento vial resultan más eficientes a nivel nacional desde una perspectiva económica y cuáles son los factores clave que influyen en sus costos a la hora de estudiar su viabilidad financiera?

Para ello, se diseñó una herramienta de presupuestación para las alternativas de mejoramiento con pavimentos flexibles, rígidos y de tipo placa huella, según la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales actualizada en 2023 por el INVIAS (Posada Henao, 2003). De igual manera, se desarrolló una herramienta para la presupuestación de alternativas de mantenimiento, incluyendo bacheo, perfilado y recarga de grava, conforme al Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016 V1 (INVIAS, 2023). La elaboración de estos presupuestos se

basa en los precios unitarios estandarizados y regionalizados del INVIAS, actualizados al año 2024 (INVIAS, 2024)

La sección de costos de usuarios y operación vehicular de esta investigación se fundamenta en la metodología del Highway Development and Management Model (HDM-4), una herramienta de modelación y análisis empleada en la planificación, evaluación económica y gestión del mantenimiento vial. Este modelo permite simular el desempeño de las carreteras a lo largo del tiempo, considerando variables como el volumen de tránsito, la evolución del deterioro estructural y los costos asociados al mantenimiento y operación de la infraestructura. (Posada Henao, 2003)

En este caso se enfatizará su uso para estimar los costos de operación vehicular y de los usuarios (TNM. (2009). Technology and Management Ltd., 2009) Este modelo considera factores como: el consumo de combustible, el desgaste de neumáticos, así como los costos de mantenimiento y reparación. (Posada Henao, 2003).

La metodología incluirá revisión bibliográfica, elaboración de presupuestos y consulta de costos de operación vehicular junto con la consolidación de una base de datos y el análisis económico de la implementación de pavimentos flexibles, rígidos y de tipo placa huella en vías terciarias de Colombia.

Los resultados de esta investigación contribuirán a mejorar la toma de decisiones en la planificación y gestión de la infraestructura vial terciaria en Colombia.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Analizar los precios unitarios asociados a mantenimientos y mejoramientos de vías terciarias de Colombia: costos de usuarios de carretera, operación de vehículos y tiempo de viaje.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Estructurar una base de datos que contenga los análisis de precios unitarios relacionados con las alternativas de mejora y mantenimientos periódicos o rutinarios planeados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para vías terciarias.
- Identificar los costos para los usuarios de las carreteras, incluyendo los costos de operación de vehículos y tiempo de viaje, a fin de establecer su impacto en la planificación vial.
- Establecer los precios unitarios del transporte de material granular para cada región, a partir de la georreferenciación de canteras registradas en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y la Agencia Nacional Minera (ANM).

## 2. Cuerpo del Trabajo

### 2.1 Marco Referencial

Esta investigación se desarrolla como parte del proyecto de Maestría en Ingeniería Civil titulado "Metodología integral para la planificación del mantenimiento y mejoramiento de vías terciarias no pavimentadas en Colombia mediante el uso del software HDM-4", cuyo objetivo es desarrollar una metodología óptima para la planificación de intervenciones en vías terciarias.

### 2.2 Metodología.

En la Figura 1. se presenta un esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, en ella se presentan las actividades desarrolladas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados, los recuadros de color azul hacen parte de la estructuración de una base de datos que contiene los análisis de precios unitarios relacionados con las alternativas de mejora y mantenimientos estipulados por el INVIAS para vías terciarias.

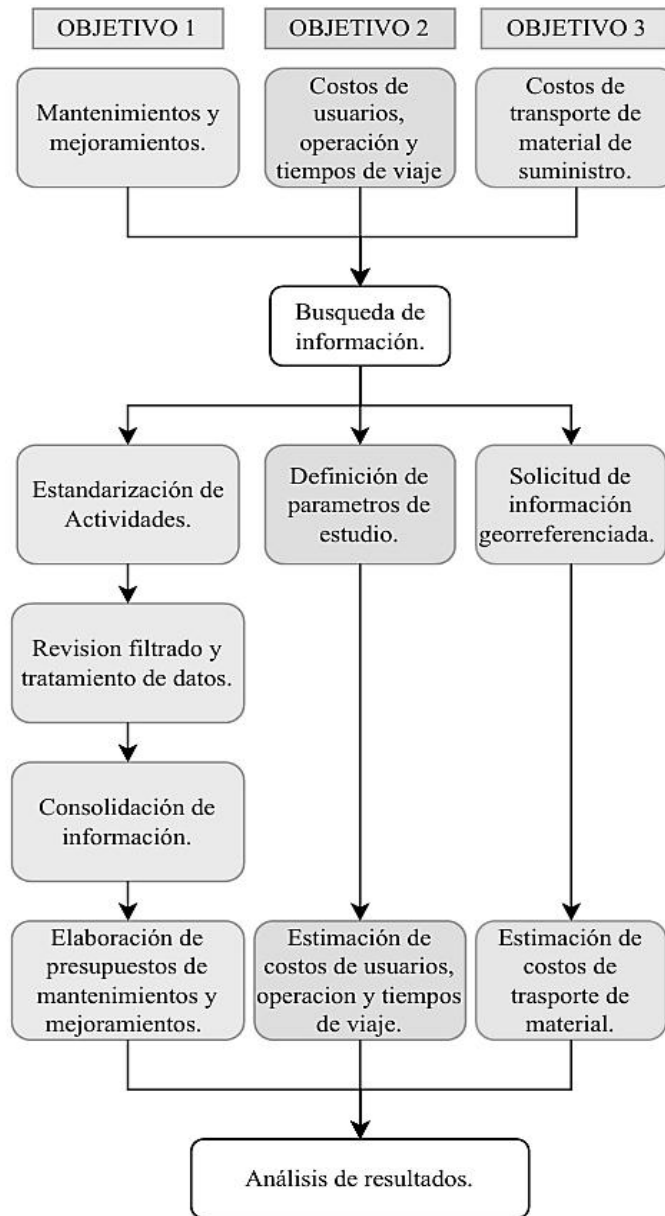
Los recuadros en color verde corresponden a la identificación de los costos para los usuarios de las carreteras, en este apartado se incluyen los costos de operación de vehículos y tiempo de viaje.

Los recuadros de color amarillo son actividades que permitieron establecer los precios unitarios del transporte de material granular, a partir de la georreferenciación de canteras registradas en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y la Agencia Nacional Minera (ANM).

De igual forma los recuadros de color blanco, son actividades que se realizaron en común para cada uno de los tres objetivos de la presente investigación.

#### **Figura 1.**

*Metodología implementada. Fuente: Elaboración propia.*



### 2.2.1 Búsqueda de información de mantenimientos y mejoramientos

Las entidades gubernamentales, como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP), han desarrollado “proyectos tipo” para la optimización de la infraestructura vial en zonas rurales de Colombia.

Uno de los ejemplos de esta clase de proyectos es la elaboración de la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales que estandariza diseños de intervenciones en obras

hídricas y trazados viales para vías terciarias, incluyendo cantidades de obra y especificaciones técnicas ajustadas a las condiciones específicas de cada área basada en los parámetros que presente la zona de estudio.

Debido a su amplia implementación a nivel nacional, se tomó como referencia la Cartilla de Obras Menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS (INVIAS, 2023). Se recopiló información sobre las intervenciones de mejoramiento, incluyendo la implementación de pavimentos flexibles y rígidos, así como soluciones más específicas como la construcción de placa huella.

La información sobre actividades de mantenimiento se obtuvo del Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016 V1 (TNM. (2009). Technology and Management Ltd., 2009) específicamente en las intervenciones de perfilado, recarga de grava y bacheo.

Debido a que el enfoque del estudio es a nivel nacional, en la fase de elaboración de presupuestos se utilizó como fuente principal la base de datos del INVIAS, la cual presenta a nivel nacional de manera regionalizada los análisis de precios unitarios (A.P.U.) de las actividades de obra (INVIAS, 2024), en estos documentos se detalla y relaciona los ítems de pago de las especificaciones generales de construcción de carreteras emitidas por la misma entidad, los costos en esta base de datos provienen de precios unitarios regionalizados actualizados al año 2024.

### **2.2.2 Búsqueda de información para costos de usuarios, operación vehicular y tiempos de viaje**

En cuanto a la información relacionada con costos de usuarios, operación y tiempo de viaje, se recopiló información de estudios de transporte en Colombia realizados por el instituto de desarrollo urbano (IDU) para la ciudad de Bogotá (TNM. (2009). Technology and Management

Ltd., 2009), en este estudio se presenta una adaptación de los parámetros de la metodología HDM-4 para la estimación de costos de operación vehicular, costos de los usuarios y tiempos de viaje. Los ajustes específicos implementados en esta adaptación se detallan en el **Apéndice B**, adjunto a la entrega de este documento.

Otra fuente de información fue la tesis de maestría en Ingeniería con énfasis en Infraestructura Vial titulada Análisis de factores relacionados con la calibración del modelo de efectos de los usuarios (RUE) del HDM-4 para vías de Boyacá (Callejas Pérez, 2019). En este estudio se detalla la adaptación y el uso de los datos necesarios para el cálculo de los costos de operación vehicular según la metodología del HDM-4.

### **2.2.3 Búsqueda de información para costos de transporte de material de suministro**

La estimación del costo de transporte de material depende principalmente de la ubicación geográfica y de la distancia de transporte, es por esto por lo que la información georreferenciada de las canteras de suministro de material es un insumo muy importante.

Se realizó la solicitud de información georreferenciada de las canteras de suministro a las corporaciones autónomas regionales mediante un derecho de petición independiente a cada entidad de cada departamento; La información recopilada corresponde a: títulos mineros, fechas de expedición de licencias de explotación y detalles de clasificación por área y materiales para las canteras a nivel nacional.

En la Figura 2 se presenta un mapa con la localización de las canteras nivel nacional.

#### **Figura 2.**

*Mapa de Colombia con la ubicación georreferenciada y la extensión de las canteras a nivel nacional, Fuente: Elaboración Propia a partir de la información obtenida de las CAR.*



#### 2.2.4 Estandarización de Actividades de mantenimientos y mejoramientos

En la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales, se presentan diferentes obras de mejoramiento vial, entre ellas pavimentos flexibles y rígidos, con diferentes combinaciones de capas estructurales mejoradas o construidas, adicionalmente también hay diseños más particulares como el diseño de Placa huella y cunetas.

En este trabajo se tuvieron en cuenta todas las alternativas de mejoramiento vial presentadas en la Cartilla, las cuales Se presentan en la siguiente lista:

1. Pavimento flexible con subrasante estabilizada con cemento y tratamiento superficial doble, sin subcapas estructurales.
2. Pavimento flexible con base granular y capa asfáltica de rodadura.

3. Pavimento flexible con subrasante, subbase y base granular y capa asfáltica de rodadura.
4. Pavimento flexible con subrasante estabilizada con cemento y capa asfáltica de rodadura.
5. Pavimento flexible con subrasante estabilizada con cal, subbase granular y capa asfáltica de rodadura.
6. Pavimento rígido con capa de rodadura sobre subrasante existente.
7. Pavimento rígido con subbase granular y capa de rodadura.
8. Pavimento rígido con capa de rodadura sobre subrasante estabilizada con CAL.
9. Placa huella de longitud igual a 500 metros.

A continuación, se presenta de manera más detallada la información anterior.

**Tabla 1**

*Alternativas de mejoramiento Fuente: Elaboración propia a partir de la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales, INVIAS.*

		CAPAS ESTRUCTURALES			
		SUBRASANTE	SUBBASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CAPA DE RODADURA
PAVIMENTO FLEXIBLE	1	<i>Mejorada con cemento hidráulico</i>	NO	NO	<i>Tratamiento superficial doble sobre subrasante mejorada</i>
	2	SI	NO	SI	SI
	3	SI	SI	SI	SI
	4	<i>Mejorada con cemento hidráulico</i>	NO	NO	SI
	5	<i>Mejorada con Cal</i>	SI	NO	SI
PAVIMENTO RIGIDO	6	SI	NO	NO	SI
	7	SI	SI	NO	SI
	8	<i>Mejorada con Cal</i>	NO	NO	SI
PLACA HUELLA	9	SI	SI	NO	SI

Teniendo en cuenta las anteriores intervenciones de mejora presentadas, para implementar estas alternativas se han extraído de la base de datos de A.P.U. regionalizados del INVIAS las actividades de obra requeridas según la cartilla de obras menores del INVIAS, estas actividades se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Actividades de obra para mejoramientos. Fuente:(INVIAS, 2022)*

<b>ITEM INVIAS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
310.1	CONFORMACIÓN DE LA CALZADA EXISTENTE
350.1	MATERIAL GRANULAR TRATADO CON CEMENTO (MGTC) CLASE 1, NO INCLUYE SUM. CEMENTO (Analizado para Material fino o granular clase 1, NT1)
350.9	CEMENTO HIDRÁULICO PARA CAPA TRATADA CON CEMENTO
210.1.1	EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR DE LA EXPLANACIÓN Y CANALES
430.3.1	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE CON EMULSIÓN CRR-65 TIPO 3 (Analizado para Agregado para un tratamiento superficial tipo 3)
430.3.2	TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE CON EMULSIÓN CRR-65 TIPO 4 (Analizado para Agregado para tratamiento superficial tipo 4)
350.2	MATERIAL GRANULAR TRATADO CON CEMENTO (MGTC) CLASE 2, NO INCLUYE SUM. CEMENTO (Analizado para Material fino o granular clase 2, NT1)
450.2	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-19 (Mezcla in situ)
330.3.1	BASE GRANULAR CLASE C (Analizada para tipo NT1, de gradación BG 25, clase C)
330.3.2	BASE GRANULAR CLASE C (Analizada para tipo NT1, de gradación BG 27, clase C)
320.3.1	SUBBASE GRANULAR CLASE C (Analizada para tipo de gradación SGB-50, clase C)
320.3.2	SUBBASE GRANULAR CLASE C (Analizada para tipo de gradación SBG-38, clase C)
236.1	SUELO DE SUBRASANTE ESTABILIZADO CON CAL (Incluye suministro de la Cal)
500.1.1	PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO (Analizado para un tránsito NT3)
500.1.2	PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO (Analizado para un tránsito NT2)
610.2	RELLENOS PARA ESTRUCTURAS CON RECEBO (Analizado sin preparación de superficie base del relleno)

640.2	MALLA DE REFUERZO $f_y = 420$ MPa (Analizado para malla de refuerzo $F_y = 420$ Mpa)
671.3	CUNETA DE CONCRETO VACIADA IN SITU; INCLUYE LA CONFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE APOYO
672.3	BORDILLO EN CONCRETO VACIADO IN SITU; INCLUYE LA PREPARACION DE LA SUPERFICIE DE APOYO
320.1.2	SUB-BASE GRANULAR CLASE C (Analizada para tipo de gradación SBG-38 clase C)
630.1.4.1	CONCRETO 21Mpa para: Área de transición Vigas Riostras, Berna Cuneta y Rieles o Huellas (Analizado para concreto reforzada resistencia 21 Mpa, mezcla in situ)
630.1.7	CONCRETO CICLOPEO 17 Mpa (Analizado para concreto ciclópeo con resistencia 17 Mpa)

Nota: Estas son los ítems de pagos de los artículos que se presentan en las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022.

Para la selección de bases y subbases granulares, se eligieron materiales de clase C, dado que corresponden al Nivel de Tránsito 1 (NT1) según las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS (Callejas Pérez, 2019). Además, las vías terciarias sujetas a mejoramiento o mantenimiento deben clasificarse dentro de este nivel de tránsito, conforme a lo establecido por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) (DNP Colombia, 2021)

Se eligieron bases y subbases de clase C con NT1, pero con distintas gradaciones es decir con varios tamaños máximos nominales del agregado, algunos de esos tamaños referentes a la gradación son 25 mm, 27 mm, 50 mm y 38 mm. Se escogieron diferentes gradaciones con el objetivo de obtener diferentes estimaciones de costos, brindar flexibilidad en la utilización de material y permitir una posterior comparación presupuestaria.

Para la selección del material granular tratado con cemento, se optó por el material granular tratado con cemento Clase 1, ya que corresponde a los niveles de tránsito NT1 según las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (INVIAS, 2022), este material está destinado a ser utilizado como una capa estructural y de rodadura en pavimentos unicapa, lo que

se alinea con el uso definido en el diseño tipo estipulado en la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales.

Los tratamientos superficiales utilizados en estas alternativas de mejoramiento son tratamientos superficiales dobles CRR 65 (CRR significa Rápido Curado Catiónico y 65% hace referencia al porcentaje de asfalto puro presente en la emulsión), tal cual lo especifica la cartilla de obras menores, sin embargo, se escogieron dos opciones de tratamiento superficial doble (Tipo 3 y Tipo 4) debido a que estos dos tipos varían en la dosificación y la gradación de la mezcla, esto nuevamente con el objetivo de obtener diferentes estimaciones de costos, brindar flexibilidad en la utilización de material y permitir una posterior comparación presupuestaria.

En el Manual de Mantenimiento de Vías elaborado por el INVIAS en el año 2016 se mencionan diferentes actividades de mantenimiento y se clasifican por su frecuencia de realización:

1. Perfilado (Mantenimiento periódico)
2. Bacheo (Mantenimiento rutinario)
3. Recargas de grava. (Mantenimiento periódico)

El Departamento Nacional de Planeación (DNP) sugiere que los mantenimientos rutinarios, se realicen con una frecuencia de dos veces al año en vías terciarias, mientras que los mantenimientos periódicos sugiere realizarlos una vez al año. (DNP Colombia, 2021)

Del mismo modo que se realizó con los mejoramientos, para los mantenimientos las actividades de obra requeridas se han extraído de la base de datos de análisis de precios unitarios (A.P.U.) regionalizados del INVIAS y se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3***Actividades de obra para mantenimientos*

ITEM INVIAS	ACTIVIDAD
310.1	CONFORMACIÓN DE LA CALZADA EXISTENTE
311	AFIRMADO

Según el Manual de Mantenimiento de Vías del INVIAS (*Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016 VI*, s/f) para la ejecución de actividades de mantenimiento, como bacheo, perfilado o recarga de grava, es necesario llevar a cabo procesos como la escarificación, conformación, renivelación y compactación del afirmado existente. Estas actividades están incluidas en el ítem de actividades de construcción de carreteras del INVÍAS denominado “Conformación de la calzada existente”, por lo que dicho ítem será utilizado para la elaboración de los presupuestos.

Asimismo, para las labores de mantenimiento se empleará material de afirmado que cumpla con los requisitos establecidos en el Manual de Mantenimiento de Vías y en las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS, este material se utilizará específicamente para las recargas de grava y el bacheo.

Cabe mencionar que, en el desarrollo de la herramienta para la estimación de costos de mantenimientos, el área y profundidad de intervención es el dato más relevante y dado que este es un valor que generalmente se obtiene de un estudio de campo realizado en la vía, se establecieron de igual forma valores de entrada, para la correcta estimación de costos para el mantenimiento.

Los valores de entrada que se designaron para cada una de las actividades corresponden a él volumen o el área total del tramo de vía que se vaya a intervenir, ya sea bacheo, perfilado o recarga de grava.

### **2.2.5 Definición de parámetros de estudio para costos de operación de vehículos**

Los parámetros de estudio se establecieron con base en los parámetros de entrada solicitados por las ecuaciones definidas por el HDM-4 debido a que es la herramienta de gestión del proyecto global al cual hace parte esta investigación. En particular se buscó la información accesible y más actual a la fecha, por lo cual se consideraron los datos utilizados en la Herramienta RUC creada con adaptación de HDM4 para la Ciudad de Bogotá de acuerdo con el convenio administrativo indicado en el numeral 1.6.1. Contrato de Consultoría No. IDU-BM-112 de 2009 entre el IDU y TNM limited (TNM. (2009). Technology and Managment Ltd., 2009). Junto con la adaptación utilizada en la tesis titulada Análisis de factores relacionados con la calibración del modelo de efectos de los usuarios (RUE) del HDM-4 para vías de Boyacá (Callejas Pérez, 2019); a partir de esta información en la presente investigación, se identificaron los vehículos representativos de la flota vehicular, los precios y datos fueron actualizados a valores actuales mediante consultas directas a proveedores, garantizando su representatividad en el mercado. La actualización se fundamentó en cotizaciones recientes, listas de precios oficiales y datos de entidades del sector. (las fuentes de actualización de precios se mencionan en la sección 9.1 del presente documento) en esta actualización se incluyeron los siguientes parámetros:




- Vehículo nuevo
- Neumático nuevo
- Combustible
- Aceite Lubricante
- Trabajo de mantenimiento
- Salario del Operador










- Gastos anuales
- Interés Anual
- PIB per cápita (\$/persona)
- Factor multiplicador de PIB per cápita para obtener costo de accidentes fatales
- Costo de lesiones graves como porcentaje de costo de accidentes fatales

Adicionalmente, se recopiló información contenida en el Informe del Sector Automotor a Abril 2024, por la Federación Nacional de Comerciantes FENALCO (*Informe del Sector Automotor a Abril 2024*, 2024). En este se detalla información de los tipos de vehículos registrados en Colombia, los cuales sirven como referencia para la actualización de la flota vehicular actualizada al año 2025 presentada en Tabla 4, esta actualización considera las categorías de cilindraje y tipo de vehículo recomendadas por el HDM-4.

**Tabla 4**

*Flota vehicular de estudio Fuente (Revista Motor | Toda la información sobre carros, motos, vehículos precios y tipos., 2025)*

<b>SELECCION DE VEHICULOS TIPICOS PARA APLICACION DE MODELO HDM4 (SEGUN VEHICULOS DE LA FLOTA VEHICULAR BOGOTANA)</b>			
<b>CLASE</b>	<b>VEHICULO TIPICO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>BREVE DESCRIPCION</b>
Motos	Bajaj Bóxer CT100		Vehículo de dos ruedas impulsado por un motor que acciona la rueda trasera. Transporta hasta dos personas.
Particular (Pequeño mediano y grande)	Chevrolet Aveo		vehículo con cilindraje que varía entre 1400c.c. a 3400 c.c.
Taxi	Kia Picanto Ekotaxi		vehículo liviano tipo sedan de no más de 100 c.c.

			de cilindraje
Utilitarios	Renult Duster		Vehículo usualmente de tracción 4x4 o 4x2 que cuenta con elementos del tipo todoterreno.
Bus liviano	NKR bus Isuzu 4jj1-tcc		Vehículo de peso menor de 3.5 toneladas, empleado para el transporte de hasta 19 pasajeros
Bus mediano	BUSETÓN NQR 3.8 EVI		Vehículo para el transporte de 20 a 49 pasajeros.
Bus Grande	Volvo B450R		Vehículo para el transporte de entre 50 pasajeros y 80 pasajeros.
Bus articulado	Chasis marca Volvo		Vehículo con una articulación para el transporte de hasta 160 pasajeros
Camión C2 pequeño	Chevrolet NHR Isuzu 4JZ1-TCSE euro VI		Camión de dos ejes pequeño
Camión Cc2 grande	Chevrolet NQR Isuzu 4HK1-TCS-TCSE Euro VI		Camión de dos ejes grande
Camión C3-C4	Camión HV613 International		Camión de 3 o 4 ejes. Se incluyen camiones C C1-S2, C3-S1, tractocamión C2-S1, C2-S2.
Camión C≥5	Kenworth T880		Camión de 5 o más ejes, del tipo articulado. Se incluyen tracto camión C3-S2, C3-S3 y más.

### **2.2.6 Solicitud de información georreferenciada de canteras de suministro.**

Posterior a la recepción de la información, se revisaron los datos suministrados y se estableció un formato de consolidación para la elaboración de una base de datos, se asociaron las canteras que tenían como principal material arenas y gravas ya que son la principal fuente para agregados granulares utilizados en mejoramientos y mantenimientos viales, adicionalmente se identificaron los posibles datos faltantes y se realizó una corroboración con las bases de datos de la agencia nacional minera (ANM).

### **3.1.1.7. Tratamiento de datos, revisión, filtrado y consolidación de información para mantenimientos y mejoramientos.**

Dado que el objetivo es realizar un análisis a nivel nacional mediante una herramienta de presupuestación, primero, se trabajó con información del Instituto Nacional de Vías referente a Análisis de Precios Unitarios Regionalizados de Referencia para todas las regiones del país. Esto resultó en un total de 141 archivos en formato .xlsx, cada uno correspondiente a una región específica del país.

## **2.3 Resultados**

Posteriormente, se consolidó la información en un nuevo archivo .xlsx, seleccionando únicamente las actividades necesarias para los trabajos de mejoramiento y mantenimiento, las cuales se presentan en la Tabla 2.

Para filtrar la información de manera adecuada, fue necesario extraer el código de cada actividad y asociarlo con los códigos de los insumos dentro de su respectiva subcategoría. Cada actividad en los A.P.U. está compuesta por cuatro subcategorías de insumos:

1. Mano de obra

2. Materiales
3. Equipos
4. Transporte

La asociación de estos códigos permitió extraer información detallada sobre valores unitarios, tarifas por hora, unidades, cantidades, jornales, prestaciones y rendimientos.

Finalmente, se presenta un esquema que muestra la estructuración para la asociación de los parámetros. En este esquema, los códigos subrayados fueron utilizados como identificadores de indexación para cada subactividad y actividad, gracias a este proceso fue posible obtener datos específicos para cada una de las actividades analizadas.

Luego de descargar los datos de la base de datos del InVIAS, se realizó una depuración y homogenización de los datos para poder extraer los datos correctamente.

Se creó un código en el lenguaje Visual Basic para extraer la información requerida de los 141 archivos .xlsx, a continuación, se presenta una imagen de una sección del código realizado, Para más detalles, el código se encuentra en el Apéndice A, adjunto a la entrega de este documento.

**Figura 3.**

*Códigos en Visual Basic para extraer la información de archivos .xlsx. Fuente: Elaboración propia.*

```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - 01.COSTOS OPERACION USUARIOS Y TIEMPO DE VIAJE.xlsx - (Módulo1 Código)
Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda
Propiedades - Módulo1 [General] ExtraerFilasCoincidentes
Módulo1 Módulo
Alfabetica Por categorías
(Tema) Módulo1

Sub ExtraerFilasCoincidentes()
Dim wbOrigen As Workbook
Dim wbDestino As Workbook
Dim wsOrigen As Worksheet
Dim wsDestino As Worksheet
Dim tablaOrigen As ListObject
Dim tablaDestino As ListObject
Dim rngCelda As Range
Dim i As Long, j As Long

' Abre los libros de origen y destino (ajusta las rutas)
Set wbOrigen = Workbooks.Open("C:\Users\lfeli\TRABAJO DE GRADO LOCAL\TRABAJO\APU_4101_HUILA_CENTRO_2024_1.xlsx")
Set wbDestino = Workbooks.Open("C:\Users\lfeli\TRABAJO DE GRADO LOCAL\TRABAJO\0_BASE DE DATOS.xlsx")

' Selecciona las hojas y tablas (ajusta los nombres)
'MANO DE OBRA // MATERIALES // EQUIPO // TRANSPORTE
Set wsOrigen = wbOrigen.Sheets("MANO DE OBRA")
Set wsDestino = wbDestino.Sheets("Extraer Datos")
Set tablaOrigen = wsOrigen.ListObjects("Tabla1")
Set tablaDestino = wsDestino.ListObjects("MANODEOBRA")

' Recorre cada fila de la tabla de origen
For i = 1 To tablaOrigen.ListRows.Count
' Recorre cada celda de la fila actual en la tabla de origen
For Each rngCelda In tablaOrigen.ListRows(i).Range
' Compara el valor de la celda con todos los valores de la columna de búsqueda en la tabla de destino
For j = 1 To tablaDestino.ListColumns(1).DataBodyRange.Rows.Count ' Ajusta el número de columna si es necesario
If rngCelda.Value = tablaDestino.DataBodyRange(j, 1).Value Then
' Si encuentra una coincidencia, copia la fila completa a la tabla de destino
tablaOrigen.ListRows(i).Range.Copy
With wbDestino.Sheets(wbDestino.Name).Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).Offset(1, 0) ' Ajusta la columna de destino si es necesario
.PasteSpecial xlPasteValues
End With
Exit For ' Sale del bucle interno si encuentra una coincidencia
End If
Next j
Next rngCelda
Next i

Set wbOrigen = Workbooks.Open("C:\Users\lfeli\TRABAJO DE GRADO LOCAL\TRABAJO\APU_4101_HUILA_CENTRO_2024_1.xlsx")
Set wbDestino = Workbooks.Open("C:\Users\lfeli\TRABAJO DE GRADO LOCAL\TRABAJO\0_BASE DE DATOS.xlsx")

' Selecciona las hojas y tablas (ajusta los nombres)
'MANO DE OBRA // MATERIALES // EQUIPO // TRANSPORTE
Set wsOrigen = wbOrigen.Sheets("MATERIALES")
Set wsDestino = wbDestino.Sheets("Extraer Datos")
Set tablaOrigen = wsOrigen.ListObjects("Tabla2")
Set tablaDestino = wsDestino.ListObjects("MATERIALES")

' Recorre cada fila de la tabla de origen
For i = 1 To tablaOrigen.ListRows.Count

```

### 2.3.1. Elaboración de presupuestos de mantenimientos y mejoramientos

Para el desarrollo de la herramienta en el software Excel que permite calcular los presupuestos de mejoramientos, para diferentes departamentos y alternativas a nivel nacional, se usó la información recopilada en la base de datos mencionada en la sección anterior, la herramienta se diseñó para definir los siguientes valores de entrada relacionados con las características de la vía a intervenir, estos valores se definen en la sección “Datos de Diseño”; de la herramienta de estimación presupuestal para mejoramientos la cual se puede detallar como el Apéndice D, adjunto a la entrega de este documento.

1. Longitud del tramo a intervenir.
2. Ancho de vía.
3. Carga de diseño (Ejes equivalentes de 8,2t).
4. CBR [%] de subrasante.

5. Temperatura media anual.
6. Condiciones de drenaje.
7. Condición de transferencia de carga para pavimentos rígidos.
8. Porcentaje de cemento para mezcla de suelos mejorados con cemento.

Para determinar el costo de las alternativas de mejoramiento con diseño de capas de suelo-cemento, se estableció que el contenido de cemento en peso generalmente oscila entre el 3% y el 7% del peso de los materiales secos (SILVA, 2022). Además, con base en diversos casos reales de obra, se evidencia que la cantidad de cemento hidráulico utilizada ha sido del 4.5% en peso del material granular seco, equivalente a 89.5 kg de cemento por cada metro cúbico de material granular (*Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016 VI*, s/f). Por lo tanto, se define el intervalo del parámetro de entrada para el porcentaje de cemento en peso del material seco dentro del rango del 3% al 7%.

Cabe mencionar que estos valores de entrada se pueden obtener de un estudio de campo donde se especifiquen las propiedades mecánicas, hidrológicas y de tránsito de la vía, de igual forma se usó como fuente la información que brinda el estudio general en el cual se enmarca esta investigación donde se recopila la información de inventarios viales de vías terciarias a nivel nacional.

Para la presentación de presupuestos de mejoramientos y mantenimientos, se utilizó como principal fuente el formato el usado en la calculadora de costos para proyectos tipos de infraestructura de transporte realizada por la Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte (UPIT). En la Figura 4, se presenta un esquema del formato de presupuestos base con las actividades, estas actividades para la presente investigación se obtuvieron de los Análisis de Precios Unitarios Regionalizados elaborados por el INVIAS, este esquema se generó para cada

una de las alternativas de mejoramiento presentadas en la sección 3.4 del presente documento, las cantidades para el caso de esta investigación se obtuvieron de los diseños tipo que tiene la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales.

La integración de los presupuestos en el formato presentado, junto con los campos destinados a la asignación de parámetros de entrada, se encuentran en las secciones “Presupuestos de Mejoramientos” y “Datos de Diseño” de la herramienta de estimación presupuestal, respectivamente.

Para la formulación de presupuestos de mantenimientos se utilizó el mismo formato usado en los mejoramientos, sin embargo, en contraste estos contienen las actividades de mantenimiento presentadas en la Tabla 3 de la sección 5 del presente documento, estas se obtuvieron de los Análisis de Precios Unitarios Regionalizados elaborados por el INVIAS.

De manera similar, la herramienta de estimación presupuestal para mantenimientos se detalla en el **Apéndice C**, mientras que la herramienta de estimación presupuestal para mejoramientos se presenta en el **Apéndice D**. Ambos Apéndices se encuentran adjuntos a la entrega de este documento.

### **2.3.2 Estimación de costos de usuarios, operación y tiempos de viaje**

Los costos vinculados a la operación de los vehículos incluyen aquellos relacionados con su mantenimiento, como la revisión técnico-mecánica obligatoria y la sustitución de lubricantes y aceites los cuales se presentan en la Tabla 5. La estimación de estos costos para cada tipo de vehículo dentro del modelo de flota vehicular se obtuvo a partir de cotizaciones realizadas de manera presencial en un centro de diagnóstico automotor (*CDA - HIGUERAS MOTOR, s/f*).

#### **Tabla 5**

*Costos de mantenimiento Fuente: Elaboración propia, cotización en CDA. (Precios actualizados primer trimestre de 2025)*

Descripción del Vehículo	Modelo Vehículo	Suministro de Aceite		Mantenimiento	
		Tipo	Valor (\$/litro) (\$ COP)	Tecno mecánica (\$ COP)	Cambio de Aceite (\$ COP)
Motocicleta	AKT NKD 125 2025	Mobil 4t 20W-50	33,200	233,119	65,132
Taxi	Kia picanto ekotaxi 2025	Mobil 5W-30	52,300	348,819	118,400
Liviano particular	Chevrolet ónix sedan premier 2025	Mobil 5W-31	52,300	348,819	118,400
Utilitario	Renault duster Iconic ctv. 2025	Mobil 5W-32	52,300	348,819	118,400
Bus Liviano	Microbús NKR euro vi 2025	15W-40 Diesel	33,900	533,619	396,655
Bus Mediano	Busetón NQR 3.8 evi 2025	15W-40 Diesel	33,900	533,619	396,655
Bus Grande	volvo b450r	15W-40 Diesel	33,900	533,619	396,655
Camión Liviano	Chevrolet NHR isuzu	15W-40 Diesel	33,900	533,619	429,000
Camión Mediano	Chevrolet NPR isuzu	15W-40 Diesel	33,900	533,619	510,000
Camión Pesado	Camión hv613 international	15W-40 Diesel	33,900	533,619	980,000
Camión Articulado	Kenworth t880	15W-40 Diesel	33,900	533,619	1,357,000

En la metodología del HDM-4, el costo de mantenimiento se representa en (\$/hora), ya que incluye elementos como la revisión técnico-mecánica y el cambio de aceite. Para su cálculo, se obtuvieron cotizaciones en el centro de diagnóstico automotor tanto del costo de los mantenimientos como del tiempo requerido para realizarlos en cada categoría de vehículo, determinando un tiempo promedio de 1.5 horas para aquellos con cilindraje inferior a 3000 cc y de 2.5 horas para los de mayor cilindraje. A partir de estos datos, el costo por hora se estimó dividiendo el costo total del mantenimiento entre la duración promedio del servicio. Es importante señalar que el suministro de aceite no se incorpora en este cálculo, este costo fue

obtenido a a partir de cotización vía web de diferentes proveedores (*Livianos | Lubricantes Mobil™ Colombia*, s/f) ya que constituye un parámetro de entrada independiente dentro de la metodología del HDM-4.

Por otra parte, el desgaste de los neumáticos es otro gasto asociado a la operación de los vehículos, los costos de neumáticos se estimaron por medio de cotizaciones vía web consolidando diferentes distribuidores de neumáticos (*Llantas en Bogotá, Medellín, Cali y toda Colombia tullanta.com*, s/f), en la Tabla 6 se ve cuantificado el valor operacional asociado a los neumáticos.

**Tabla 6**

*Costo de Neumáticos nuevos Fuente: Elaboración propia. (Precios actualizados primer trimestre de 2025)*

Descripción del Vehículo	Valores de neumáticos cotizados para principales distribuidores a nivel nacional		
	Modelo Vehículo	Tipo	Valor
Motocicleta	AKT NKD 125 2025	2.75-18	\$ 131,107.00
Taxi	Kia picanto ekotaxi 2025	175/65 R14	\$ 210,000.00
Liviano particular	Chevrolet ónix sedan premier 2025	195/55R16	\$ 235,000.00
Utilitario	Renault duster Iconic ctv. 2025	215/65R16	\$ 235,000.00
Bus Liviano	Microbús NKR euro vi 2025	205/75R17.5	\$ 850,000.00
Bus Mediano	Busetón NQR 3.8 evi 2025	205/75R17.6	\$ 850,000.00
Bus Grande	volvo b450r	295/80R22.5	\$2,000,000.00
Camión Liviano	Chevrolet NHR isuzu	205/75R17.5	\$ 850,000.00
Camión Mediano	Chevrolet NPR isuzu	205/75R17.6	\$ 850,000.00
Camión Pesado	Camión hv613 international	295/80R22.5	\$ 2,000,000.00
Camión Articulado	Kenworth t880	295/80R22.6	\$ 2,000,000.00

El valor de vehículo nuevo es otro costo asumido por los usuarios, razón por la cual se tiene en cuenta en este estudio, en la Tabla 7 se presentan los costos de los tipos de vehículo de la

flota vehicular con precio y modelo actualizado al primer trimestre del año 2025, los precios se sustentan en estadísticas de la Cámara de Industria Automotriz de la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 2024).

**Tabla 7**

*Costo de vehículos nuevos Fuente: Elaboración propia. (Precios actualizados primer trimestre de 2025)*

Descripción del Vehículo	Valores cotizados para principales concesionarios a nivel nacional	
	Modelo Vehículo	Valor (\$ COP)
Motocicleta	AKT NKD 125 2025	\$ 5,000,000.00
Taxi	Kia picanto ekotaxi 2025	\$ 57,000,000.00
Liviano particular	Chevrolet ónix sedan premier 2025	\$ 91,000,000.00
Utilitario	Renault duster Iconic ctv. 2025	\$ 113,000,000.00
Bus Liviano	Microbús NKR euro vi 2025	\$ 205,000,000.00
Bus Mediano	Busetón NQR 3.8 evi 2025	\$ 300,000,000.00
Bus Grande	volvo b450r	\$ 800,000,000.00
Camión Liviano	Chevrolet NHR isuzu	\$ 130,000,000.00
Camión Mediano	Chevrolet NPR isuzu	\$ 265,200,000.00
Camión Pesado	Camión hv613 international	\$ 767,000,000.00
Camión Articulado	Kenworth t880	\$ 850,000,000.00

El valor del combustible según la Unidad de Planeación Minero Energética (Ministerio de Ambiente, s/f) para el primer trimestre de 2025 se sitúa en 4,295.00\$ COP por Litro, mientras que el valor del ACPM se sitúa en 2,864.00 \$ COP por Litro, estos fueron los valores actualizados para este estudio.

Por otra parte, acorde al HDM4 los costos asociados al usuario y que se generan por el uso del vehículo, son los gastos anuales que provienen de seguros, estos son según la Superintendencia de Industria de Colombia, el Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito SOAT y el impuesto vehicular con la matrícula para carros nuevos según el Ministerio de

Hacienda de Colombia (Hacienda, s/f). En la tabla 8 se consolidan estos gastos para los diferentes tipos de vehículo según el estudio de flota vehicular.

**Tabla 8**

*Tabla de Gastos anuales vehiculares Fuente: Elaboración propia. (Precios actualizados primer trimestre de 2025)*

Descripción del Vehículo	Gastos Anuales de vehículos			
	SOAT	Impuesto	Matricula	TOTAL
Motocicleta	\$326,300	\$75,000.00	\$353,300	\$754,600
Taxi	\$789,600	\$1,425,000	\$587,000	\$2,801,600
Liviano particular	\$789,600	\$2,275,000	\$587,000	\$3,651,600
Utilitario	\$1,105,900	\$2,825,000	\$587,000	\$4,517,900
Bus Liviano	\$640,000	\$7,175,000	\$587,000	\$8,402,000
Bus Mediano	\$917,700	\$10,500,000	\$540,900	\$11,958,600
Bus Grande	\$917,700	\$28,000,000	\$540,900	\$29,458,600
Camión Liviano	\$884,700	\$4,550,000	\$540,900	\$5,975,600
Camión Mediano	\$1,277,600	\$9,282,000	\$540,900	\$11,100,500
Camión Pesado	\$1,615,000	\$26,845,000	\$540,900	\$29,000,900
Camión Articulado	\$1,615,000	\$29,750,000	\$540,900	\$31,905,900

Los salarios de operador corresponden a los salarios de la flota de conductores, en este caso, los vehículos tipo Taxi, Buses y Camiones son los únicos que tienen este costo, el valor por hora trabajada en Colombia es \$ 6,189.0 COP \$ (*Presidente decretó salario mínimo para 2025, quedó en \$1.623.500 incluido auxilio de transporte - Ministerio del trabajo, s/f*), en los casos en los que la tripulación de conductores se compone de dos personas, este valor se duplica.

El interés anual que se contempla dentro del modelo HDM4, corresponde a la tasa de interés política monetaria del Banco de la República de Colombia, la cual en el primer trimestre de 2025 es de 9,50% esta se usa como referencia para inversiones de proyectos viales públicos.

Este análisis incorpora las características particulares de la flota vehicular. Dado que el estudio más reciente sobre estas variables se llevó a cabo en 2008, se emplearán dichos datos, ya que representan la fuente oficial más actualizada disponible.

En este contexto, se consideran las especificaciones de la flota vehicular de acuerdo con la metodología HDM-4, tomando como referencia el estudio de 2008 sobre la flota vehicular de Bogotá. En este estudio se recopilaron variables como el kilometraje anual recorrido por cada tipo de vehículo, las horas anuales de operación, los viajes de trabajo de pasajeros, entre otros parámetros relevantes. En la tabla 9 se presentan las características detalladas de la flota vehicular analizada.

- Indicador 1: kilómetros anuales conducidos (km).
- Indicador 2: Horas de trabajo anuales (horas).
- Indicador 3: Vida de servicio (años)
- Indicador 4: Uso privado (%)
- Indicador 5: Número de pasajeros (#)
- Indicador 6: Viajes de trabajo de pasajeros (#)
- Indicador 7: Peso Bruto del vehículo (t)

**Tabla 9**

*Características de la flota vehicular. Fuente: Herramienta RUC creada con adaptación de HDM4 para la Ciudad de Bogotá de acuerdo con el convenio administrativo indicado en el numeral 1.6.1. Contrato de Consultoría No. IDU-BM-112 de 2009 entre el IDU y TNM limited.*

Características de Flota vehicular							
Descripción de vehículo	Ind 1 (km)	Ind 2 (horas)	Ind 3 (años)	Ind 4 (%)	Ind 5 (#)	Ind 6 (#)	Ind 7 (t)
Motocicleta	15560	615	8	100	1264	41	0.1
Taxi	87360	3626	15	7	1264	22	0.95
Liviano particular	20000	791	15	100	1264	35	1.2
Utilitario	20000	791	15	100	1264	35	1.3
Bus Liviano	47100	2479	20	0	11.5	28	5
Bus Mediano	47184	2483	20	0	30.23	28	19
Bus Grande	47760	2514	20	0	48.36	28	29
Camión Liviano	46670	2456	30	0	0	0	4.6
Camión Mediano	43330	2281	30	0	0	0	9.5
Camión Pesado	20000	1235	30	0	0	0	28
Camión Articulado	20000	1235	30	0	0	0	45

Los costos asociados a la accidentalidad se estimaron con base en la información proporcionada por el Banco Mundial, que reporta datos sobre el porcentaje de accidentes fatales y las muertes causadas por lesiones generadas en accidentes de tránsito (World Bank, s/f). La metodología del HDM-4 establece un factor multiplicador estándar para calcular el costo de estos accidentes, en función del PIB per cápita de cada país. Estos mismos valores estándar fueron empleados en las adaptaciones previas del HDM-4 mencionadas anteriormente, por lo que en la presente investigación se mantuvieron los mismos parámetros, con la excepción del PIB per cápita, el cual se ajustó según su actualización al año presente. De esta manera los costos asociados a accidentalidad para países en desarrollo en función del PIB per cápita para Colombia al año 2025 se pueden observar en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Costos asociados a seguridad vial. Fuente: Indicadores del Banco Mundial (World Bank, s/f) y Herramienta RUC creada con adaptación de HDM4 para la Ciudad de Bogotá de acuerdo con el*

*convenio administrativo indicado en el numeral 1.6.1. Contrato de Consultoría No. IDU-BM-112 de 2009 entre el IDU y TNM limited.*

<b>Costos de seguridad vial</b>	
PIB per cápita 2025 \$/persona)	\$27,789,600
Factor multiplicador de PIB per cápita para obtener costo de accidentes fatales	70.00
Costo de lesiones graves como porcentaje de costo de accidentes fatales	25.00%
Costo de accidentes fatales (\$/accidente fatal)	\$1,945,272,000
Costo de lesiones graves (\$/lesión grave)	\$486,318,000

Los costos presentados en las tablas 5-10, se pueden detallar en el **Apéndice B** adjunto a la entrega de este documento.

### **2.3.3 Estimación de costos de transporte de material**

La estimación del costo de transporte de material granular requerido para las intervenciones viales se realizó con la información solicitada a las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y la determinación de tarifas de transporte por kilómetro (\$/km) establecidas en los Análisis de Precios Unitarios regionalizados del INVIAS.

Para la estimación de la distancia de transporte, se utilizó como parámetro de entrada la ubicación geográfica (latitud y longitud) del punto de inicio de la vía. Esta decisión se fundamenta en la elevada demanda computacional que implicaría desarrollar una metodología de cálculo de distancia aplicable a todas las vías terciarias a nivel nacional, lo cual excede el alcance de la presente investigación. En consecuencia, se estableció este valor como dato de entrada, permitiendo así la estimación del costo de transporte para casos específicos.

La localización geográfica de la vía es un dato de entrada que puede obtenerse mediante geolocalización en Google Earth. o a partir de la base de datos del estudio general en el cual se enmarca esta investigación. Por esta razón, se dejó como un parámetro de entrada adaptable según la disponibilidad de información.

Posteriormente, la distancia entre la cantera de suministro y el punto de origen de la vía fue calculada mediante una proyección simplificada del método de Vincenty (WGS84) en Microsoft Excel (Vincenty, s/f).

Este método simplificado usa fórmulas trigonométricas para calcular la distancia entre dos puntos geográficos en el sistema WGS84. Se aplican funciones trigonométricas como seno, coseno y arco tangente para estimar la distancia. Se asume que la curvatura terrestre tiene un efecto mínimo en distancias cortas. Esto permite obtener resultados rápidos sin iteraciones complejas. (Vincenty, s/f)

Es importante señalar que esta metodología proporciona una aproximación a la distancia de transporte, ya que no considera la trazabilidad real del recorrido que efectuaría el camión transportador. Implementar una trazabilidad detallada a nivel nacional implicaría una complejidad computacional considerable y excede los alcances de esta investigación. Por lo tanto, el valor estimado representa un mínimo referencial del costo de transporte, el cual podría incrementarse significativamente, dependiendo de la red vial disponible y la ruta efectiva que deba seguir el vehículo.

El cálculo de costos asociados al transporte previamente descrito se puede detallar en la sección “Costos de Transporte” de la herramienta de presupuestación de mejoramientos la cual corresponde al **Apéndice D** adjunto a la entrega de este documento.

#### **2.3.4 Análisis de presupuestos de mejoramientos**

Una vez consolidada toda la información y desarrollada la herramienta de estimación presupuestal para los mejoramientos; Es posible consultar los costos de las distintas alternativas de mejoramiento para cada departamento y provincia del país tras definir los parámetros de entrada descritos en la sección 3.8 de este documento.

Para el cálculo de presupuestos en esta investigación, se realizó una estimación de costos para un kilómetro de vía en cada una de las alternativas de mejoramiento al igual que lo hace la calculadora de Estimación de Presupuestos creada por la UPIT, con excepción de la placa huella, las cantidades estimadas para esta alternativa se establecieron para un tramo de 500 metros lineales siguiendo la sugerencia de la longitud máxima para proyectos públicos de placa huella, según el DNP.

Se realizaron consultas en la base de datos para todas las provincias de todos los departamentos con los siguientes datos de entrada:

1. Longitud del tramo a intervenir
  - 1 kilómetro.
2. Ancho de vía
  - 4 metros.
3. Carga de diseño
  - $N \leq 150000$
4. CBR de subrasante.
  - $5\% \leq \text{CBR}\% \leq 7\%$
5. Temperatura media anual.
  - $13^\circ\text{C} < T \leq 20^\circ\text{C}$
6. Precipitación
  - $2000 \leq P \leq 4000$
7. Condiciones de drenaje.
  - NO tiene condiciones de drenaje
8. Condición de transferencia de carga para pavimentos rígidos.

- Dovelas y confinamiento

9. Porcentaje de cemento para mezcla de suelos mejorado con cemento.

- 4.5%

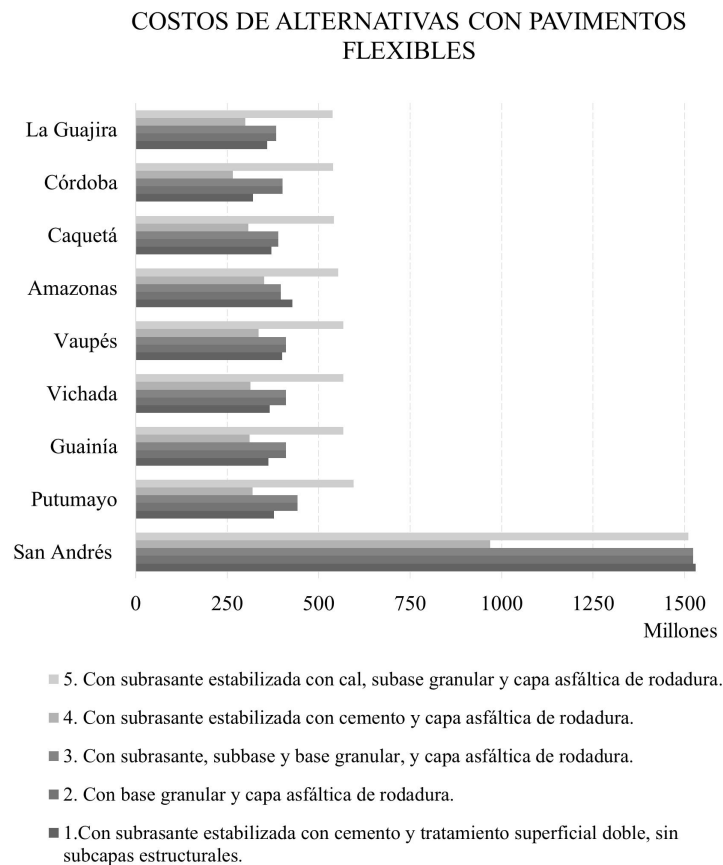
La selección de estos parámetros de entrada se basa en su capacidad para garantizar la viabilidad de la implementación y evaluación de todas las alternativas de mejoramiento. Puede presentarse el caso en el que la subrasante presente condiciones altamente deficientes, la composición del suelo no sea adecuada o la precipitación media anual sea excesiva. Bajo estas circunstancias, la Cartilla de Obras Menores no proporciona diseños específicos para ciertas soluciones, ya que las condiciones del terreno son demasiado adversas para la aplicación de pavimentos rígidos o flexibles. En estos casos extremos, es necesario realizar intervenciones previas, como la mejora y estabilización de suelos, antes de proceder con el mejoramiento vial.

Una vez definidos los valores de entrada se llevó a cabo un análisis a nivel departamental de cada una de las alternativas de mejoramiento, tanto para pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y placa huella.

La Figura 6 presenta los costos de las alternativas de pavimento flexible para los diez departamentos con los valores más elevados. Es importante señalar que este análisis no incluye los costos asociados al transporte de material granular, cemento o materiales asfálticos.

**Figura 4.**

*Costos para pavimentos flexibles con los departamentos con el costo más elevado por mejoramiento.*



El mayor costo de intervención se presenta en el archipiélago de San Andrés y Providencia, seguido de los departamentos de Putumayo y Vaupés. Esta tendencia se debe a factores como aumento de precio de los materiales debido a la lejanía de centros de extracción, dificultades logísticas y baja disponibilidad de insumos como equipo y mano de obra, que incrementan significativamente los costos de ejecución.

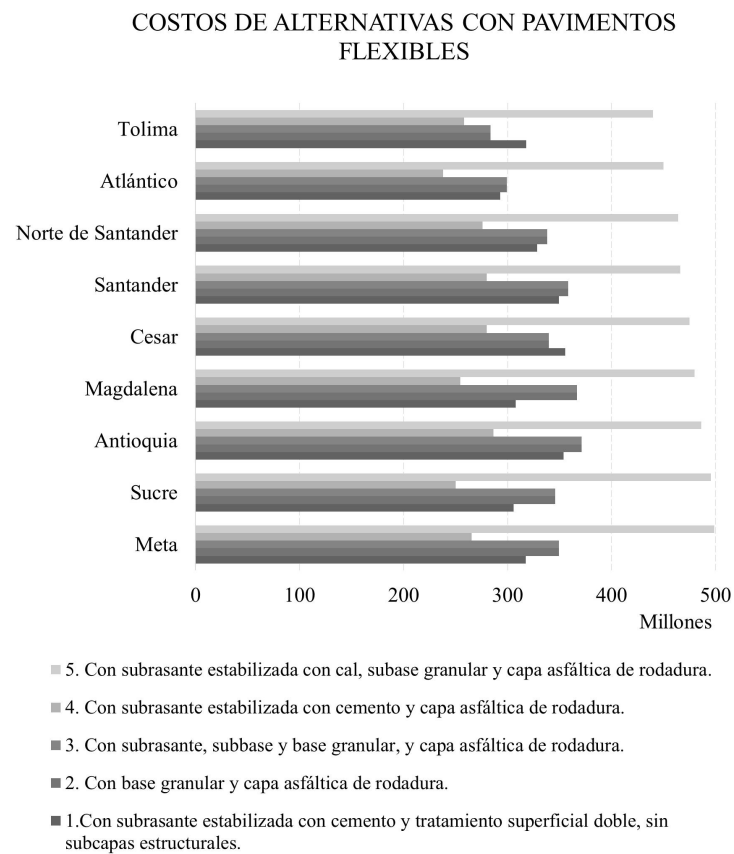
Los resultados del análisis indican que el costo promedio de implementación de pavimentos flexibles puede ascender hasta 600 millones de pesos colombianos por kilómetro de vía en los escenarios de mayor costo, sin considerar los gastos asociados al transporte de materiales. Sin embargo, en el caso del archipiélago de San Andrés y Providencia, su condición insular y las

restricciones logísticas derivadas de su ubicación geográfica generan un incremento de tres veces el valor promedio del país en los costos de mejoramiento vial, debido a los sobrecostos asociados a la limitada disponibilidad de insumos en la región.

Del mismo modo, la Figura 6 presenta los departamentos con los costos de inversión más reducidos.

**Figura 5.**

*Costos para pavimentos flexibles con los departamentos con el costo más bajo por mejoramiento*

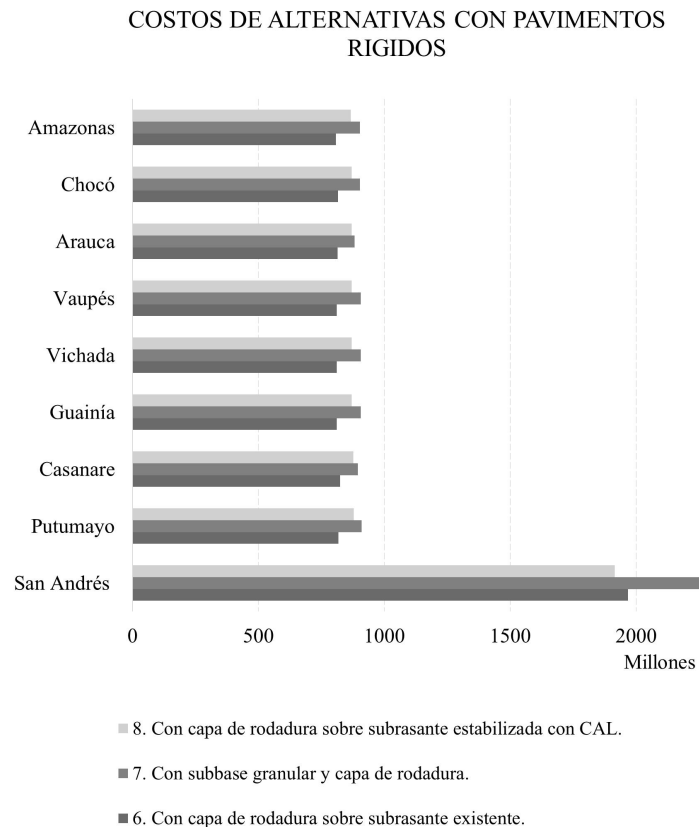


A nivel departamental, el menor costo promedio de mejoramiento con pavimento flexible se presenta en el departamento del Atlántico, seguido por Tolima, Sucre y Norte de Santander. Este resultado puede atribuirse a factores como alta disponibilidad de mano de obra, bajas tarifas de costos de materiales y préstamo de equipos en estos departamentos.

Para el caso de pavimentos rígidos los departamentos con el costo más elevado se presentan en la Figura 8

**Figura 6.**

*Costos para pavimentos rígidos con los departamentos con el costo más alto por mejoramiento.*

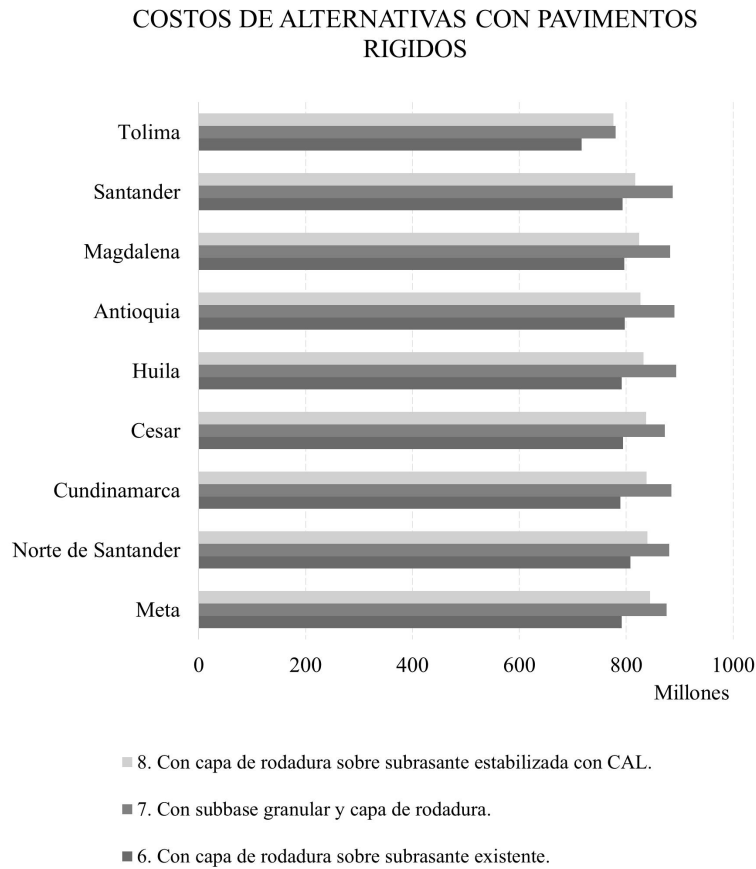


El estudio realizado evidencia que la inversión requerida para la construcción de pavimentos rígidos puede superar los 800 millones de pesos colombianos por kilómetro en los contextos de mayor costo, sin incluir los gastos relacionados con el traslado de materiales. En el archipiélago de San Andrés y Providencia se presenta un aumento del doble del costo promedio en el resto del país, esto, debido a las particularidades de su aislamiento geográfico y las dificultades logísticas previamente mencionadas.

Asimismo, en la Figura 8 se enseñan los costos de pavimentos rígidos para los departamentos que tienen los menores valores de inversión.

**Figura 7.**

*Costos para pavimentos rígidos con los departamentos con el costo más bajo por mejoramiento.*

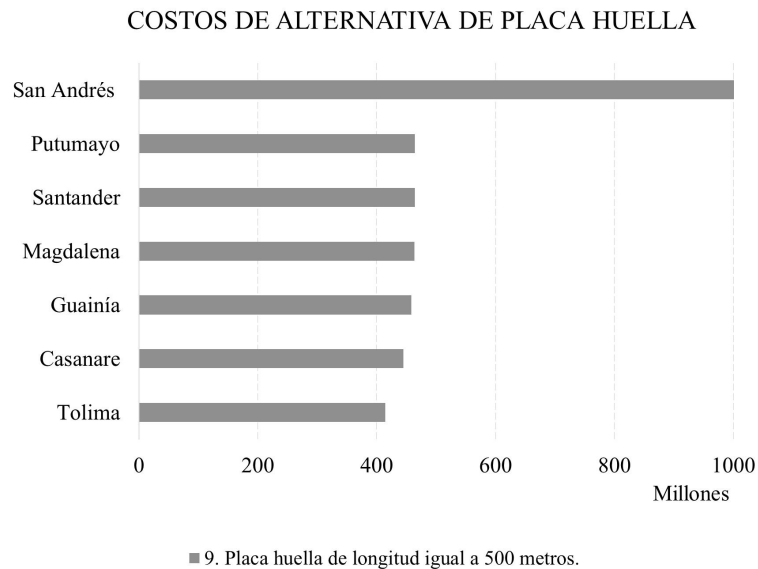


Por su parte, el menor costo promedio de mejoramiento con pavimento rígido se registra en el departamento del Tolima, seguido de Santander y Magdalena.

Para el caso de implementación de placa huella en la Figura 9 se presentan los costos para los departamentos con los valores en ambos extremos, tanto altos como bajos.

**Figura 8.**

*Costos para placa huella con los departamentos con el costo más bajo y alto por mejoramiento.*



El valor de construcción de placa huella presenta una consistencia a nivel nacional, con un costo aproximado de 400 millones de pesos por cada 500 metros de vía. Sin embargo, en el archipiélago de San Andrés y Providencia, este costo se ve incrementado el doble debido a las limitaciones logísticas y condiciones particulares previamente señaladas.

El análisis anterior para todos los departamentos y para todas las alternativas de mejoramientos se puede detallar en la gráfica que se encuentra en la sección “Análisis General de Costos” de la herramienta de presupuestación de mejoramientos la cual corresponde al Apéndice D adjunto a la entrega de este documento.

### 2.3.5 Análisis de presupuestos de mantenimientos

La herramienta presupuestal de mantenimientos permitió determinar los costos para las alternativas de bacheo, recarga de grava y perfilado.

Debido a que la cantidad del tramo de la vía al que se le vaya a realizar el mantenimiento es de vital importancia para estimar el costo, estos valores se designaron como valores de entrada

en la herramienta presupuestal de mantenimientos, para el análisis se tuvieron en cuenta los siguientes valores a modo de ejemplo:

- Espesor de capa: 0.10 m
- Área total de Bacheo: 1000 m<sup>2</sup>
- Ancho de la vía: 4 m
- Longitud del tramo de vía a intervenir: 1000 m

Los costos presentados en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13, son costos correspondientes a la provincia Soto del municipio de Santander.

**Tabla 11**

*Presupuesto para mantenimiento con Bacheo. Fuente: Elaboración propia.*

ITEM	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Conformación de la calzada existente.	m <sup>2</sup>	1000	\$1,623.15	\$1,623,153
Afirmado	m <sup>3</sup>	100	\$90,104.40	\$9,010,439
TOTAL				\$10,633,592

En la tabla 11 se presenta que el costo para un área total de bacheo de 1000 m<sup>2</sup> con una capa de afirmado de 0.1 metros de espesor es de \$10,633,592.

**Tabla 12**

*Presupuesto para mantenimiento con recarga de grava. Fuente: Elaboración propia.*

ITEM	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
Conformación de la calzada existente.	m <sup>2</sup>	4000	\$1,623.15	\$6,492,613

Afirmado	m3	400	\$90,104.40	\$36,041,758
TOTAL				\$42,534,371

En la tabla 12 se puede identificar que el costo para la recarga de grava de 1 km de vía con una capa de afirmado con espesor de 0.1m es de \$42,534,371.

**Tabla 13**

*Presupuesto para mantenimiento con perfilado pesado. Fuente: Elaboración propia.*

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO
Conformación de la calzada existente.	m2	4000.0	\$ 6,492,613.44
TOTAL			\$ 6,492,613.44

En la tabla 13 se evidencia que el costo de perfilado para 1 kilómetro de vía es de \$ 6,492,613.44

Es importante señalar que los valores previamente presentados no consideran el costo del transporte del material de afirmado, lo que puede impactar significativamente el presupuesto final. A partir de los presupuestos obtenidos se puede evidenciar que el costo del material de afirmado para las alternativas del mantenimiento conforma más del 80% del costo total de la intervención. La herramienta de presupuestación de mantenimientos corresponde al **Apéndice C** adjunto a la entrega de este documento

### **2.3.6 Análisis de costos estimados para el transporte de agregados para mantenimientos y mejoramientos**

La herramienta de presupuestación de mejoramientos corresponde al Apéndice D adjunto a la entrega de este documento, contiene la información recopilada previamente y permite realizar una consulta de la estimación del costo de transporte del material para las 5 canteras más

cercanas al proyecto de estudio, a continuación, se presenta la metodología de cálculo para estimar el costo de transporte.

Es necesario tomar casos de estudio particular, debido a que se requiere la localización de la carretera a intervenir, para el primer caso se presenta el tramo vial que se analiza en el estudio que conforma el marco general del proyecto al que hace parte esta investigación, esta es La vía identificada con el código 68547-01 denominada "Vía Piedecuesta - Sevilla" es una vía terciaria con una longitud reportada de 32,17 km y un ancho de 4 m que conecta la troncal 45a con la transversal 66 con inclinaciones promedio de 10.6% y -8.0%. La última actualización del 9 de abril de 2021 en el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras (SINC) reporta siete tramos entre los que se encuentran cuatro tramos en afirmados y tres con placa huella. Para este caso las coordenadas de latitud y longitud del inicio del tramo de interés se obtuvieron con la herramienta de georeferenciación de Google Earth, en la Figura 10, se presenta una imagen satelital de la vía.

**Figura 9.**

*Foto satelital de la vía de estudio junto con las canteras de suministro más cercanas. Fuente: Google Earth.*



Las coordenadas son:

Latitud: 7,0940401

Longitud: -72,9993833

Una vez definida la georeferenciación de la vía; mediante la herramienta de presupuestación diseñada (la cual esta enlazada con la base de datos de la localización de las canteras mencionada en la sección 4.2 del presente documento), se calcula la distancia a las 5 canteras más cercanas a la ubicación suministrada siguiendo la metodología de cálculo establecida en la sección 9.2 del presente documento. Estas distancias se consignan en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Distancias a las canteras más cercanas de la vía de estudio. Fuente: Elaboración propia*

No	Distancia (km)	Lat.	Long.	Ubicación	Minerales
1	9.02	7.013	-72.99	Santander, Piedecuesta	Arenas

2	9.88	7.183	-72.99	Santander, Tona	Gravas (de rio)
3	11.32	7.010	-73.06	Santander, Piedecuesta	Arenas (de rio), gravas (de rio)
4	11.50	7.160	-73.08	Santander, Bucaraman ga	Arenas, arenas (de rio), Gravas, gravas (de rio), Recebo
5	12.44	6.990	-73.04	Santander, Piedecuesta	Arenas, Areniscas, Gravas

La tarifa para el transporte de materiales según los A.P.U. para el transporte de material es 1.204,2 (\$/km) para la región SOTO del departamento de SANTANDER. La tarifa por viaje se presenta en la Tabla 15, esta se obtiene de multiplicar la tarifa de transporte departamental (\$/km) por la distancia previamente calculada.

**Tabla 15**

*Tarifa por viaje de las canteras más cercanas a la vía de estudio. Fuente: Elaboración propia*

<b>Distancia (km)</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Minerales</b>	<b>Tarifa por Viaje</b>
9.02	Santander, Piedecuesta.	Arenas	\$11,235.31
9.88	Santander, Tona	Gravas (de rio)	\$12,300.38
11.32	Santander, Piedecuesta	Arenas (de rio), gravas (de rio)	\$14,091.87
11.50	Santander, Bucaramanga	Arenas, arenas (de rio), Gravas, gravas (de rio), Recebo	\$14,313.23
12.44	Santander, Piedecuesta	Arenas, Areniscas, Gravas	\$15,485.63

Otro aspecto relevante en este caso particular es la capacidad del vehículo de transporte. Para este análisis, se establece que el camión utilizado para el transporte de material granular tendrá

una capacidad de 7 m<sup>3</sup>. Esta elección se basa en el informe de mercado y tecnologías vehiculares del Ministerio de Transporte (*MERCADO Y TECNOLOGÍAS VEHICULARES EN EL TRANSPORTE DE CARGA*, s/f), el cual indica que los camiones de 7 m<sup>3</sup> son ampliamente utilizados en todo el país.

De igual forma se tomará la tarifa por viaje más elevada dentro del rango analizado. Esta decisión responde a un criterio de prudencia financiera en la formulación de presupuestos, para evitar la subestimación de costos.

En la Tabla 16 se presenta el coste del transporte de material granular que necesita cada alternativa de mejoramiento para el último tramo de la vía de estudio denominada "Vía Piedecuesta – Sevilla" el cual tiene una longitud de 19,64 km.

**Tabla 16**

*Costo del transporte de material para diferentes alternativas a implementar en la vía de estudio.*

*Fuente: Elaboración propia*

<b>Mejoramiento tipo</b>	<b>Material</b>	<b>Núm. de viajes</b>	<b>Tarifa por viaje</b>	<b>Total costo de transporte</b>	
<b>Pavimento flexible</b>	1	22979 m <sup>3</sup>	3283	\$15,485	\$50,834,466
	2	19149 m <sup>3</sup>	2736	\$15,485	\$42,362,055
	3	19149 m <sup>3</sup>	2736	\$15,485	\$42,362,055
	4	15319 m <sup>3</sup>	2188	\$15,485	\$33,889,644
	5	15319 m <sup>3</sup>	2188	\$15,485	\$33,889,644
<b>Pavimento rígido</b>	7	11489 m <sup>3</sup>	1641	\$15,485	\$25,417,233
<b>Placa huella</b>	405 m <sup>3</sup>	58	\$15,485	\$895,954.48	

Cabe recordar lo mencionado en la sección 9.2 del presente documento, en donde se menciona que, en este análisis, la distancia utilizada corresponde a la línea recta entre la cantera y el punto de origen de la vía, lo que subestima la distancia real recorrida.

Finalmente, se pueden incluir el costo asociado al transporte al análisis de las alternativas de mejoramiento.

Para este caso estudio las condiciones de la vía fueron:

1. Longitud del tramo a intervenir

- **19640 metros.** (Longitud del último tramo de la vía, definido por el inventario vial elaborado en la investigación general a la que pertenece el presente proyecto.)

2. Ancho de vía

- **4 metros** (Ancho de la vía definido por el inventario vial elaborado en la investigación general a la que pertenece el presente proyecto).

3. Carga de diseño

- **$N \leq 150000$**  (Valores estimados basados en referencias de proyectos similares (Antonio, s/f) a falta de estudios de Campo)

4. CBR de subrasante.

- **$5\% \leq \text{CBR}\% \leq 7\%$**  (Valores estimados basados en referencias de proyectos similares (Antonio, s/f) a falta de estudios de Campo)

5. Temperatura media anual.

- **$20^\circ\text{C} < T \leq 30^\circ\text{C}$**  (El intervalo de temperatura de la zona de estudio se estableció con datos del IDEAM, tomando como referencia las estaciones climatológicas más cercanas. La temperatura mínima promedio es de  $20^\circ\text{C}$  y la máxima de  $26^\circ\text{C}$ .)

## 6. Precipitación

- **P ≤ 2000** (Valor definido para la zona de estudio, usando como fuente los datos publicados por el IDEAM de las estaciones pluviométricas más cercanas a la ubicación de estudio, este valor fue 1153.30mm/año)

## 7. Condiciones de drenaje.

- **SI tiene condiciones de drenaje** (Con el fin de prevenir erosión en la superficie del pavimento y socavación en los bordes de la vía)

## 8. Condición de transferencia de carga para pavimentos rígidos.

- **Dovelas y confinamiento** (Para garantizar la eficiencia estructural y la durabilidad del sistema.)

## 9. Porcentaje de cemento para mezcla de suelos mejorado con cemento.

- **4.5%** (Valores estimados basados en referencias de proyectos similares (SILVA, 2022) a falta de estudios de Campo)

**Tabla 17**

*Presupuesto general de costos para la implementación de pavimento flexible con subrasante tratada con cemento en la vía estudio "Piedecuesta-Sevilla". Fuente: Elaboración propia*

UNIDAD	CANTIDAD	ITEM	VALOR
m3	19915	Excavación sin clasificar de la explanación y canales.	\$583,870,475.75
m2	76596	Conformación de la calzada existente.	\$124,327,054.83
m3	4596	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19.	\$1,581,141,174
Kg	1371068	Cemento hidráulico para capa tratada con cemento.	\$1,135,744,916

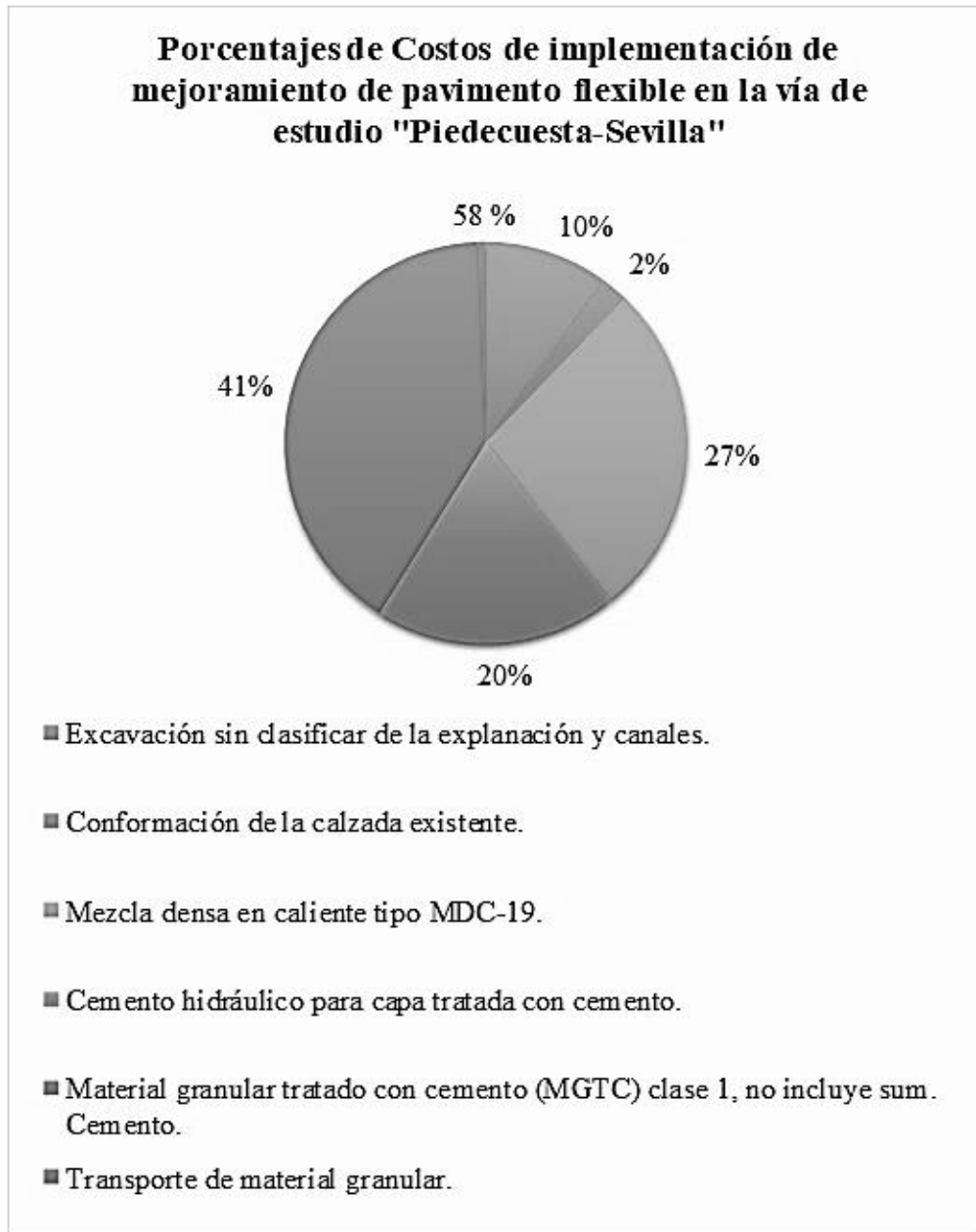
m3	15319	Material granular tratado con cemento (MGTC) clase 1, no incluye sum. Cemento.	\$2,362,221,276
-	-	Transporte de material granular.	\$33,889,644.01
<b>TOTAL</b>			<b>\$5,821,194,542.40</b>

En este caso particular, el análisis de costos para la implementación de pavimento flexible con subrasante tratada con cemento en la vía identificada con el código 68547-01, denominada "Vía Piedecuesta - Sevilla", arroja un valor de \$5,821,194,542.40.

Adicionalmente en la figura 11 se representa el porcentaje del costo total para cada una de las actividades del presupuesto de la Tabla 17.

**Figura 10.**

*Porcentajes de Costos de implementación de mejoramiento de pavimento flexible en la vía de estudio "Piedecuesta-Sevilla".*



El análisis detallado del caso de estudio se encuentra documentado en la sección "Análisis de costos del caso de estudio" dentro de la herramienta de presupuestación para mejoramientos. Dicha herramienta está incluida en el Apéndice 4, el cual se adjunta a la entrega del presente documento.

### 3. Conclusiones

1. El análisis de los presupuestos elaborados a partir de la base de datos de precios unitarios regionalizados del INVIAS permitió identificar las opciones de mejoramiento más eficientes en términos de costos, el pavimento flexible con subrasante estabilizada con cemento y capa asfáltica de rodadura es la alternativa más económica, con un costo promedio de \$309'351.019 por kilómetro, mientras que el pavimento rígido con base granular representa la opción más costosa, con un valor promedio de \$933'035.779 por kilómetro.
2. El análisis de los presupuestos elaborados a partir de la base de datos de precios unitarios regionalizados del INVIAS permitió evidenciar que el costo del material de afirmado constituye la parte más significativa siendo superior al 80% del costo total del mantenimiento para las alternativas de bacheo y recarga de grava.
3. El análisis confirmó la limitada implementación de la metodología HDM-4 en Colombia para la evaluación de costos de usuarios y tiempos de viaje. La disponibilidad de datos representativos a nivel nacional sobre tiempos de viaje se ve restringida por la escasez de estudios de tránsito. No obstante, en la actualización de costos de operación vehicular se identificó una tendencia general al alza, reflejada en el incremento de impuestos, costos de mantenimiento, lubricantes, neumáticos y precios de vehículos, fenómeno impulsado por el aumento del costo de vida y la inflación presentada en el país en los últimos años.
4. El estudio realizado para el tramo de la vía "Piedecuesta - Sevilla", permitió establecer que el componente con mayor impacto económico en la implementación de pavimento flexible con subrasante tratada con cemento es el costo del material granular que conforma la capa estructural.

5. El análisis a nivel nacional de costos también permitió identificar que el pavimento rígido puede ser, como mínimo, un 53% más costoso que el pavimento flexible. Esta diferencia se obtuvo considerando la alternativa más costosa de pavimento flexible frente a la opción más económica de pavimento rígido, lo que resalta la necesidad de evaluar cuidadosamente la relación costo-beneficio al seleccionar la tipología de pavimentación.

### Referencias Bibliográficas

- Antonio, J. A. H. (s/f). ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA Terciaria LOCALIZADA EN EL TRAMO ENTRE K+000 Y K 0+540 VEREDA LA PLAYA Y EL CORREGIMIENTO DE FRÍAS.
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (2024, agosto 1). ANDI - Boletines de la industria Automotriz. ANDI. <https://www.andi.com.co/home/camara/4-automotriz>
- Callejas Pérez, J. F. (2019). Análisis de factores relacionados con la calibración del modelo de efectos de los usuarios (RUE) del HDM-4 para vías de Boyacá. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3702>
- CDA - HIGUERAS MOTOR. (s/f). Recuperado el 25 de marzo de 2025, de <https://cdahiguerasmotor.com/>
- DNP Colombia. (2021). Mejoramiento de vías terciarias—Vías de Tercer Orden. Departamento Nacional de Planeacion Colombiano. [https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=125:mejoramiento-de-vias-terciarias-vias-de-tercer-orden&Itemid=207](https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=125:mejoramiento-de-vias-terciarias-vias-de-tercer-orden&Itemid=207)
- Hacienda, S. D. de. (s/f). Impuesto sobre Vehículos Automotores | Secretaría Distrital de Hacienda. Recuperado el 25 de marzo de 2025, de <https://back.haciendabogota.gov.co/es/entity/path/impuestos/impuesto-sobre-vehiculos-automotores>
- Informe del Sector Automotor a Abril 2024. (2024, mayo 2). Fenalco. <https://www.fenalco.com.co/blog/gremial-4/informe-del-sector-automotor-a-abril-2024-2855>

INVIAS. (2023, marzo 2). Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/14788-cartilla-de-obras-menores-de-drenaje-y-estructuras-viales>

INVIAS, Min. T. (2022, mayo 6). Especificaciones generales de construcción de carreteras.

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/4570-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras>

INVIAS, Min. T. (2024, Diciembre). Análisis de Precios Unitarios. Análisis de Precios Unitarios

(APU) Regionalizados de Referencia. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios>

Livianos | Lubricantes Mobil™ Colombia. (s/f). Recuperado el 26 de marzo de 2025, de

<https://www.terpel.com/productos/livianos>

Llantas en Bogotá, Medellín, Cali y toda Colombia tullanta.com. (s/f). Recuperado el 25 de

marzo de 2025, de <https://tullanta.com/home>

Manual de Mantenimiento de Carreteras 2016 V1. (s/f). Recuperado el 26 de marzo de 2025, de

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7713-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-v1>

MERCADO Y TECNOLOGÍAS VEHICULARES EN EL TRANSPORTE DE CARGA. (s/f).

Ministerio de Ambiente. (s/f). UPME. Unidad de Planeación minero energética. Recuperado el

25 de marzo de 2025, de <https://www1.upme.gov.co/sipg/Paginas/Estructura-precios-combustibles.aspx>

Posada Henao, J. J. (2003). HDM-4 Guía básica para su uso.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21346>

Presidente decretó salario mínimo para 2025, quedó en \$1.623.500 incluido auxilio de transporte—Ministerio del trabajo. (s/f). Recuperado el 29 de marzo de 2025, de <https://www.mintrabajo.gov.co/presidente-decreto-salario-minimo-para-2025-queda-en-1.623.500-incluido-auxilio-de-transporte>

Revista Motor | Toda la información sobre carros, motos, vehículos precios y tips. (2025, febrero 28). Motor Colombia. <https://www.motor.com.co/>

SILVA, O. J. (2022, junio 10). GENERALIDADES Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO-CEMENTO: ¿QUÉ Y PARA QUÉ? 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/caracteristicas-del-suelo-cemento-que-y-para-que/>

TNM. (2009). Technology and Managment Ltd. (2009). Contrato IDU-BM-112 DE 2009. Evaluación de costos de usuario de acuerdo a las intervenciones que realiza el instituto en Bogotá D.C. <https://tnmlimited.com/index.php/projects/asset-management-system-on-the-urban-road-network-of-bogota/>

Vincenty, T. (s/f). DIRECT AND INVERSE SOLUTIONS OF GEODESICS 0 THE ELLIPSOID WLTH APPLICATION OF ESTED EQUATIO S.

World Bank, G. (s/f). Cause of death, by injury (% of total) World Bank. World Bank Open Data. Recuperado el 10 de marzo de 2025, de <https://data.worldbank.org>