

**Propuesta de mejoramiento de la movilidad vial mediante el diseño de placa huella en la
vereda La Judía, Municipio de Floridablanca**

Andrés Felipe Rueda Salazar, Juan José Rodríguez Nova

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Edwin Fabián Restrepo Rojas

Especialista en Vías Terrestres

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Civil

2024

Contenido

Introducción	11
1. Propuesta de mejoramiento de la movilidad vial mediante el diseño de placa huella en la vereda La Judía, municipio de Floridablanca	14
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
2. Estado del arte	18
3. Metodología.....	20
4. Desarrollo del proyecto	22
4.1 Localización del proyecto	22
4.2 Topografía y diagnóstico de la vía	23
4.3 Caracterización Vial.....	26
4.4 Caracterización del suelo de subrasante.....	28
4.4.1 Granulometría material subrasante.....	29
4.4.2 Límite de Atterberg	31
4.4.3 Proctor modificado	33
4.4.4 Laboratorio de CBR	35
4.4.5 Granulometría muestra N°2.....	36
4.4.6 Límites en el resultado granulométrico	38
4.4.7 Prueba Proctor modificado muestra N°2.....	39

4.4.8 Ensayo CBR muestra N°2	40
4.5 Estudio de tránsito	42
4.6 Alineamiento	50
4.7 Implementación de la guía para el diseño de pavimento de placa huella.....	51
4.8 Perfil longitudinal.....	53
4.9 Estructura de placa huella.....	55
5. Presupuesto	58
6. Conclusiones	60
Referencias.....	63

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Metodología de objetivos y actividades</i>	21
Tabla 2. <i>Alcantarillas proyectadas georreferenciadas en mapa de ArcGIS PRO</i>	27
Tabla 3. <i>Postes y alcantarilla existente georreferenciados en mapa de ArcGIS PRO</i>	28
Tabla 4. <i>Análisis de granulometría</i>	29
Tabla 5. <i>Tamaño de partículas</i>	31
Tabla 6. <i>Coefficientes de uniformidad y curvatura</i>	31
Tabla 7. <i>Limite líquido</i>	32
Tabla 8. <i>Limite plástico</i>	33
Tabla 9. <i>Resultado índice plástico</i>	33
Tabla 10. <i>Resultados Proctor modificado</i>	34
Tabla 11. <i>Resultados CBR</i>	36
Tabla 12. <i>Granulometría muestra N°2</i>	37
Tabla 13. <i>Resultado para la curva granulométrica</i>	37
Tabla 14. <i>Limite liquido del resultado granulométrico</i>	38
Tabla 15. <i>Límite plástico del resultado granulométrico</i>	39
Tabla 16. <i>Resultado índice plástico muestra N°2</i>	39
Tabla 17. <i>Proctor modificado muestra N°2</i>	39
Tabla 18. <i>Datos del CBR</i>	40
Tabla 19. <i>Resultados CBR muestra N°2</i>	41
Tabla 20. <i>Resultados de laboratorio</i>	42
Tabla 21. <i>Resultado del aforo realizado en campo</i>	46
Tabla 22. <i>Tránsito diario</i>	46

Tabla 23. <i>Resultado tránsito semana y tránsito promedio diario semanal.</i>	47
Tabla 24. <i>Composición vehicular del tránsito.</i>	47
Tabla 25. <i>Cargas por equivalencia de ejes.</i>	47
Tabla 26. <i>Cálculo del factor de equivalencia y factor camión.</i>	48
Tabla 27. <i>Factor direccional.</i>	49
Tabla 28. <i>Factor distribución por carril.</i>	49
Tabla 29. <i>Tasa de crecimientos.</i>	49
Tabla 30. <i>Parámetros para cálculo de número de ejes equivalentes.</i>	50
Tabla 31. <i>Perfil longitudinal.</i>	53
Tabla 32. <i>Presupuesto general.</i>	59

Lista de figuras

Figura 1. <i>Árbol de problemas de movilidad vial.</i>	14
Figura 2. <i>Localización del municipio de Floridablanca, Santander.</i>	23
Figura 3. <i>Levantamiento topográfico.</i>	24
Figura 4. <i>Estado de la vía.</i>	25
Figura 5. <i>Poste eléctrico</i>	25
Figura 6. <i>Alcantarilla.</i>	26
Figura 7. <i>Mapa con trazado, postas y alcantarillado propuesto en ArcGIS Pro.</i>	27
Figura 8. <i>Recolección de material de apiques.</i>	28
Figura 9. <i>Muestras obtenidas de apiques.</i>	29
Figura 10. <i>Curva granulométrica.</i>	30
Figura 11. <i>Ensayo límites de Atterberg.</i>	31
Figura 12. <i>Limite líquido.</i>	32
Figura 13. <i>Ensayo Proctor modificado.</i>	33
Figura 14. <i>Resultados gráficos Proctor modificado.</i>	35
Figura 15. <i>Ensayo CBR.</i>	35
Figura 16. <i>Gráfica carga vs deformación de material CBR.</i>	36
Figura 17. <i>Gráfica del límite líquido granulométrico.</i>	38
Figura 18. <i>Densidad del suelo seco.</i>	41
Figura 19. <i>Análisis CBR.</i>	42
Figura 20. <i>Franja horaria de aforo vehicular.</i>	43
Figura 21. <i>Estación de conteo vehicular.</i>	43
Figura 22. <i>Clasificación de vehículos.</i>	44

Figura 23. <i>Aforo vehicular día 1. Hoja 1 de 2.</i>	45
Figura 24. <i>Aforo vehicular día 1. Hoja 2 de 2.</i>	45
Figura 25. <i>Ecuación factor de equivalencia de carga.</i>	48
Figura 26. <i>Alineamiento en google earth</i>	51
Figura 27. <i>Coordenadas para la ejecución del proyecto</i>	53
Figura 28. <i>Perfiles de obra (1)</i>	56
Figura 29. <i>Perfiles de obra (2)</i>	57
Figura 30. <i>Planta de placa huella</i>	58

Lista de apéndices

Apéndice A. *Plano de mapa con caracterización vial.*

Apéndice B. *Tablas aforo vehicular.*

Apéndice C. *Planos de diseño, planta perfil y secciones transversales via La Judia.*

Apéndice D. *Detalles estructurales placa huella.*

Apéndice E. *Análisis de precios unitarios (APU's).*

Apéndice F. *Memorias de cálculo.*

Nota: véase archivos en fuente externa

Resumen

Las vías terciarias en Colombia han estado desentendidas mucho tiempo, junto a ellas se ha dejado de lado todos los problemas que genera no tener vías de conexión terciarias en veredas y lo eficaces para el campesino y el transporte alternativo de productos que podrían llegar a ser. Esta investigación busca poner a partir de una propuesta, sus ojos en las vías terciarias de la región.

Para hacer frente a esto, se busca conocer ¿Cómo se puede diseñar una solución de mejoramiento vial mediante placa-huella para la vereda La Judía, que sea técnica y económicamente viable, resiliente ante los desafíos climáticos, y que contribuya de manera significativa al desarrollo socioeconómico y turístico de la zona, alineándose con las estrategias de desarrollo regional del departamento de Santander?

Como objetivo la propuesta busca realizar una propuesta de mejoramiento vial con el diseño de placa-huella, conforme a los criterios establecidos en la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS, con el fin de incrementar la comodidad y seguridad de los ciudadanos, al momento de hacer uso de las vías que se dirigen a “La Judía”, ubicada en el municipio de Floridablanca.

Palabras clave: placa huella, vías terciarias, veredas, transporte alternativo

Abstract

The tertiary roads in Colombia have been ignored for a long time, along with them, all the problems generated by not having tertiary connection roads on sidewalks and how effective for the farmer and the alternative transportation of products they could become have been left aside. This research seeks to put its eyes on the tertiary roads of the region based on a proposal.

To address this, we seek to know how a road improvement solution can be designed using a footprint plate for the La Judía village, which is technically and economically viable, resilient to climate challenges, and which contributes significantly to development? socioeconomic and touristic of the area, aligning with the regional development strategies of the department of Santander?

The objective of the proposal is to make a road improvement proposal with the design of a footprint plate, in accordance with the criteria established in the INVIAS minor drainage works and road structures booklet, to increase the comfort and safety of citizens, when using the roads that go to “La Judía”, located in the municipality of Floridablanca.

Keywords: track plate, tertiary roads, sidewalks, alternative transportation

Introducción

Para el desarrollo socioeconómico de las regiones rurales de Colombia y locales en Santander, se hace indispensable el mejoramiento de la infraestructura vial que por años ha sido el punto de inflexión en un conflicto de conectividad, en especial de la red terciaria nacional a la que no siempre se le ha brindado la importancia que merece.

En Santander, es un hecho que se necesita pronta intervención en el asunto, las estadísticas presentadas en el informe Prosantander [1] son realmente alarmantes. Estas muestran que solo el 9% de la red vial del departamento está pavimentada. Más de la mitad de la red vial pavimentada se encuentra en mal estado. La situación empeora cuando se evalúan y se hablan de las redes terciarias, debido a que la pavimentación de las mismas representa tan solo el 0,1%, del total de los 19.467 kilómetros de vías terciarias a cargo de los municipios y del Instituto Nacional de Vías (INVIAS). [2]

En el departamento, solo 29 km de vías terciarias tienen registro de encontrarse pavimentados, la cifra se hace alarmante al advertir que apenas 17 km de estas vías se encuentran en buen estado. Estas cifras reflejan el desarrollo económico del departamento presentado desde los inconvenientes en conectividad y calidad de vida en el sector rural principalmente donde se extraen las materias primas tanto agrícolas como industriales.

A nivel local encontramos el caso de la vereda “La Judía”, ubicada a las afueras del municipio de Floridablanca, Santander. Esta vereda se posiciona como un caso representativo de esta problemática de la falta de pavimentación de vías terciarias tan cercanas a un casco urbano principal como el caso de Floridablanca.

Este sector mencionado, ha sido, durante los últimos 10 años, objetivo de intervenciones para atraer el turismo en la zona. En él se han realizado obras importantes como el ecoparque “El

santísimo” junto al teleférico y espacio de observatorio a la ciudad junto a su respectiva adecuación de vías con implementación de placas huellas y pavimentación según la zona. A 250 metros antes del ecoparque en mención comienza el Cerro La Judía, el cual cuenta con el atractivo especial y natural de la cascada La Judía, la cual, a pesar de su proximidad, tiene un acceso realmente difícil, debido a que no cuenta con pavimentación, haciendo arduo el desarrollo económico y el potencial turístico de la zona.

Esta problemática ha sido un foco constante de las administraciones locales que custodian dichas vías. Se evidencian iniciativas como el Pacto Funcional de Santander [3], aprobado en 2022, donde se incluyen diversos proyectos que buscan potenciar las actividades económicas, rurales y del turismo en la zona. De igual forma, se destaca en esta iniciativa el proyecto de construcción de una placa huella entre Vélez y Guavatá dos poblaciones cercanas a la vereda.

La priorización de hacer de la zona un eje turístico y competitivo, según el informe Prosantander [1], hace resaltar el impulso de proyectos con alto potencial económico y social, en ese sentido, la vereda “La Judía” resalta como un candidato ejemplar para ser incluido dentro de esta iniciativa. La zona posee un gran potencial turístico que puede desencadenar un gran impacto económico y social pero su carencia en infraestructura vial hace que sea una oportunidad única de avanzar en la consecución de recursos para la construcción y/o pavimentación de vías terciarias.

Dando respuesta a la situación presentada, se plantea un proyecto, en el cual se realiza una propuesta de mejoramiento vial mediante el diseño de una placa-huella de la vía que atraviesa la vereda “La Judía”. El diseño se realizará conforme a los criterios establecidos por INVIAS [2], siguiendo los lineamientos de seguridad y confiabilidad para la vía. La elección de placa huella se realiza con base en las condiciones de la carretera, según el INVIAS [2], para las vías terciarias con un gran grado de inclinación, esta es la técnica óptima en términos de durabilidad y resistencia.

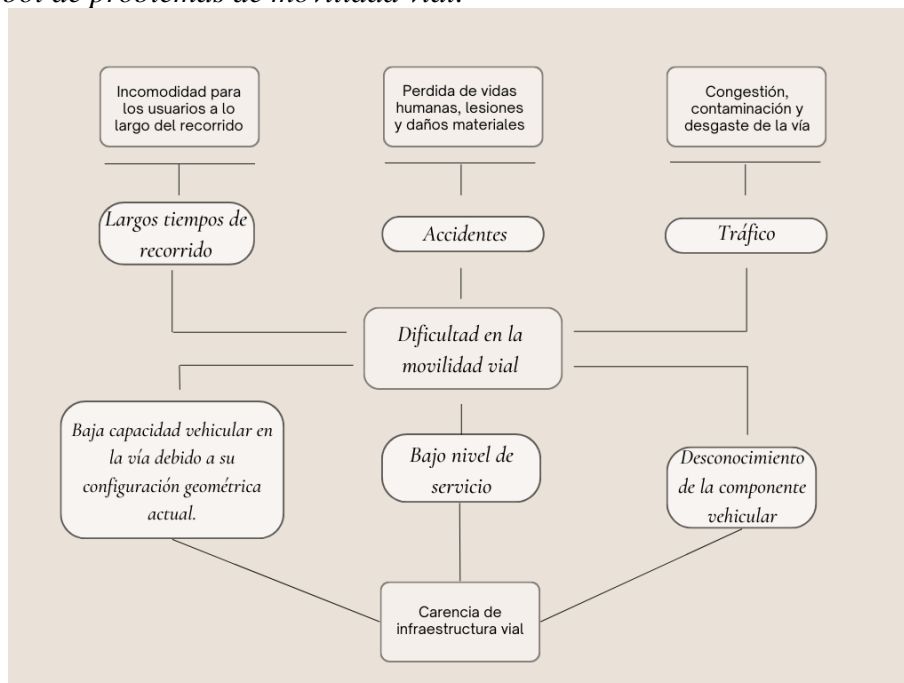
El proyecto se expone como un gran candidato para futuras obras públicas y sigue las recomendaciones del informe Prosantander [1], donde se prioriza el mejoramiento de vías terciarias en áreas con potencial turístico, y el mejoramiento de la conectividad para las zonas rurales. De igual forma, este proyecto podrá ser un caso de ejemplo para futuras intervenciones en otras áreas rurales del departamento y la región.

1. Propuesta de mejoramiento de la movilidad vial mediante el diseño de placa huella en la vereda La Judía, municipio de Floridablanca

1.1 Planteamiento del problema

El departamento de Santander enfrenta un desafío crítico en su infraestructura vial, especialmente en el área de conexión en las vías terciarias. El informe Prosantander [1] revela una situación alarmante, la situación de las vías terciarias es del 0.1 % de pavimentación en total para todo el departamento, lo que refleja una serie de problemas planteados de manera gráfica desde el siguiente árbol de problemas.

Figura 1. *Árbol de problemas de movilidad vial.*



Esta figura permite ilustrar cómo la falta de infraestructura vial adecuada se ramifica en diversos problemas que afectan directamente a la comunidad. Las causas principales incluyen la

falta de inversión en infraestructura, la ausencia de mantenimiento vial, y la vulnerabilidad ante condiciones climáticas adversas. Estas causas conducen a problemas como el deterioro de la calidad de vida, el aislamiento de las comunidades rurales, y el estancamiento económico.

El gobierno departamental ha reconocido la urgencia de abordar esta situación, como se refleja en iniciativas como el Pacto Funcional de Santander (Gobernación de Santander) [3]. Este pacto incluye proyectos de mejoramiento vial, como el caso de la construcción de una placa huella entre Vélez y Guavatá, orientados a potenciar las actividades económicas y el turismo regional. Sin embargo, la selección y priorización de proyectos de mejoramiento vial en áreas con alto potencial de impacto económico y social sigue siendo un desafío crucial.

La complejidad de la situación se amplifica cuando se consideran factores como el cambio climático y sus efectos en la estabilidad de las vías no pavimentadas. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [4], se prevé un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos en la región, lo que podría exacerbar los problemas de accesibilidad y seguridad vial en áreas rurales como la vereda “La Judía”.

Considerando estos antecedentes y la complejidad del problema esta investigación se plantea como pregunta central ¿Cómo se puede diseñar una solución de mejoramiento vial mediante placa-huella para la vereda La Judía, que sea técnica y económicamente viable, resiliente ante los desafíos climáticos, y que contribuya de manera significativa al desarrollo socioeconómico y turístico de la zona, alineándose con las estrategias de desarrollo regional del departamento de Santander?

Esta pregunta no solo aborda la necesidad de encontrar soluciones específicas y adaptadas a las condiciones locales, sino que también busca integrar aspectos de sostenibilidad y resiliencia climática. Además, se alinea con las recomendaciones del informe Prosantander que propone

identificar y gestionar recursos para el mejoramiento de la red vial terciaria con prioridad en centros de producción y con impacto social [1].

La respuesta a esta pregunta tiene el potencial de mejorar la infraestructura vial de la vereda La Judía, y, a su vez, servir como un modelo replicable para otras comunidades rurales en Santander, así como en otros departamentos del país. De igual manera, aborda la intersección crítica entre infraestructura, desarrollo económico, turismo sostenible y adaptación al cambio climático, ofreciendo una oportunidad única para un estudio de caso integral sobre desarrollo rural sostenible.

1.2 Justificación

La mejora de la infraestructura vial en áreas rurales como la vereda La Judía, ubicada en el municipio de Floridablanca, es fundamental para promover el desarrollo socioeconómico y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Actualmente, la vía que atraviesa esta comunidad presenta condiciones precarias que dificultan el acceso y la movilidad de los residentes, así como el transporte de bienes y servicios, lo que limita su integración con el resto del municipio y afecta negativamente su desarrollo.

La implementación de placa-huella como solución vial se presenta como una alternativa viable y sostenible para mejorar las condiciones de las vías. Esta técnica, respaldada por la cartilla de obras menores del INVIAS [2], ofrece beneficios significativos en términos de durabilidad, resistencia y bajo costo de mantenimiento.

Al utilizar materiales locales y técnicas de construcción accesibles, se facilita su implementación en áreas rurales y de difícil acceso, donde las necesidades de infraestructura vial

suelen ser más urgentes. Además, el diseño integral de placa-huella, en conjunto con la correcta señalización en la vía, garantizan la adecuada funcionalidad y seguridad del sistema vial.

En este contexto, el presente proyecto aporta por su relevancia para mejorar la accesibilidad y conectividad de la vereda La Judía, así como para promover el desarrollo económico y social de la comunidad. La propuesta de mejoramiento vial mediante el diseño de placa-huella busca optimizar los recursos disponibles y brindar soluciones efectivas y sostenibles que contribuyan a la construcción de una infraestructura vial resiliente y adaptada a las necesidades y condiciones locales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de mejoramiento vial con el diseño de placa-huella, conforme a los criterios establecidos en la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS, con el fin de incrementar la comodidad y seguridad de los ciudadanos, al momento de hacer uso de las vías que se dirigen a “La Judía”, ubicada en el municipio de Floridablanca.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar la configuración geométrica a partir de un levantamiento topográfico que facilite el diseño en planta, perfil y sección transversal de la placa huella.

Evaluar el estado actual del derecho vial mediante un diagnóstico con información georreferenciada en GIS.

Analizar las características mecánicas y propiedades del suelo de subrasante empleando diversos ensayos de laboratorio para determinar su capacidad portante y su clasificación.

Identificar la componente vehicular del sector con un estudio de tránsito que proporcione el número de ejes equivalentes necesario para el cálculo estructural del pavimento.

Realizar una evaluación económica de la propuesta de mejoramiento vial con placa huella a través de la elaboración de un presupuesto que permita obtener el índice de factibilidad.

2. Estado del arte

En la Universidad Cooperativa de Colombia (sede de Ibagué) en 2023 se realizó una investigación transversal y descriptiva con una orientación mixta aplicada sobre "El Diseño en placa huella de la vía terciaria Ibagué-Vereda Cay implementando la guía de pavimentos INVIAS" [5]. Esta investigación denotó un deterioro en la vía de acceso principal entre las diferentes veredas con la ciudad.

Dicha investigación se realizó como un mecanismo de obtener datos para plantear una solución basada en estudios técnicos y laboratorios previos que mejorara la malla vial y el bienestar de la zona. El objetivo de dicho estudio fue diseñar un pavimento de placa huella bajo la norma INVIAS [2] verificando la calidad y las características de los materiales de la zona.

Por otra parte, Niño en la Universidad Militar Nueva Granada realizó un proyecto de aplicación el cual lleva como título "Diseño de Pavimento con placa huella vía que comunica el municipio de Pacarni con la vereda el Vergel en el departamento del Huila" [6]. Este proyecto buscaba aportar a las condiciones actuales del tramo en estudio, el cual fue diseñado en base a la guía de diseño de Pavimentos con Placa Huella del INVIAS la cual está orientada a vías terciarias de bajo tránsito.

En 2019, en la universidad UNIMINUTO se planteó un proyecto titulado "Diseño de un plan vial de vías terciarias para la construcción de placa huella en el municipio de San Vicente Ferrer, departamento de Antioquia" [7] el cual tuvo en cuenta los lineamientos establecidos por el INVIAS para planear y mejorar las capacidades del municipio de San Vicente de Ferrer. Esta investigación fue de tipo descriptiva y cuantitativa y su principal hipótesis es que la construcción de estas placas huella mejorará el estado de las vías afectadas por diversos factores.

En la Corporación Universitaria de UNITEC, muy similar a las otras investigaciones, realizaron un “análisis de los beneficios sociales de la pavimentación de vías rurales en la vereda Comeza de Baho del municipio de Socotá departamento de Boyacá” [8]. Esta tesis se elaboró para optar por su título de Especialización en Gerencia de Proyectos y consistió en identificar los beneficios sociales que genera la construcción de un tramo de pavimento con placa huella en la vía de la vereda Cómeza Baho, para esto se dividió en dos fases: la cuantitativa en la cual se encuestaron residentes del sector y la fase cualitativa en la cual hicieron una entrevista a 3 líderes sociales.

En un contexto más internacional acerca de los antecedentes de la investigación, se estudió la tesis titulada propuesta de mejoramiento vial de la calle principal “subida al Belén” [9] de longitud 2.9 km, sector el Belén, ubicado en la parroquia rural Tambillo, Cantón Mejía, provincia de Pichincha (2023). Esta investigación planteó como objetivo general diseñar una propuesta vial utilizando las normativas AASHTO93 para generar un bienestar social ya que no va beneficiar a un sector sino a varios. Esto lo realizará mediante una metodología que se divide en: Investigación de campo (Interacción con residentes locales, análisis de condiciones de la carretera, realización de estudios topográficos), Investigación Bibliográfica (búsqueda sobre normas nacionales e internacionales, lineamientos, manuales de diseño) e Investigación Experimental (análisis de

muestras tomadas durante la investigación de campo a fin de establecer propiedades mecánicas y físicas del suelo.).

En resumen, las investigaciones realizadas en diversas instituciones educativas sobre el diseño de pavimentos con placa huella reflejan un compromiso significativo por mejorar las condiciones de las vías terciarias en Colombia. Cada uno de estos estudios, ubicados en Ibagué, Huila, Antioquia y Boyacá, aborda el deterioro de las infraestructuras viales y propone soluciones técnicas fundamentadas en normas establecidas como las del INVIAS y AASHTO93.

La implementación de pavimentos de placa huella no solo busca optimizar la calidad de las vías, sino también fomentar el bienestar social de las comunidades afectadas, al facilitar el acceso y mejorar la conectividad. Los enfoques mixtos y metodologías integradas, que combinan investigación cuantitativa y cualitativa, destacan la importancia de involucrar a la comunidad en estos procesos.

3. Metodología

Si bien el enfoque principal de la investigación se centra en aspectos cuantitativos, tales como mediciones topográficas, resultados de ensayos de laboratorio, estudios de tránsito, normativas técnicas y parámetros específicos, se incorporará de igual forma, un enfoque cualitativo que permite caracterizar los elementos viales, como señalizaciones, alumbrado, sistemas de drenaje, y otras obras complementarias, evaluando su estado actual y su contribución al entorno vial.

De esta manera, la metodología utilizada para describir el proceso de elaboración del proyecto puede considerarse como una metodología mixta que ofrece una perspectiva integral y equilibrada del proceso de diseño de placa-huella que busca mejorar la movilidad vial de la zona.

Para la elaboración del diseño de placa-huella, se implementará la información recopilada en nuestro estudio, adoptando la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS [2], la cual define los parámetros de diseño requeridos.

Utilizando los datos correspondientes al estudio topográfico del terreno y con la ayuda del software civil 3D, se lleva a cabo el diseño geométrico de la vía (planta, perfil y sección transversal) que es esencial para la aplicación efectiva de la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS [2].

La exploración geotécnica junto con ensayos de laboratorio y un reconocimiento de la vía con información georreferenciada en GIS, nos permite caracterizar el suelo de subrasante y los elementos que corresponden al derecho vial existente. Con el suelo de subrasante caracterizado y en conjunto con el estudio de tránsito correspondiente, se propone un espesor de la estructura de placa-huella siguiendo los parámetros de la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS [2].

Para llevar a cabo la evaluación económica, se recopilieron datos detallados sobre los costos de materiales y mano de obra necesarios para la construcción de la placa huella. Luego, se estimaron los costos directos e indirectos donde se realiza un análisis financiero y finalmente, con base en los resultados, se emitirán recomendaciones sobre la viabilidad económica del proyecto.

Con los objetivos definidos y sabiendo el proceso detallado, se establecieron 5 etapas, plasmadas en el siguiente ciclo metodológico:

Tabla 1. Metodología de objetivos y actividades

<i>Objetivo</i>		<i>Actividad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Actores</i>
1.	Obtener datos precisos sobre las condiciones topográficas del terreno	Levantamiento topográfico utilizando equipos especializados	Se lleva a cabo un levantamiento topográfico detallado del área de estudio utilizando equipos especializados.	Equipo de topografía, autores del proyecto.

<i>Objetivo</i>	<i>Actividad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Actores</i>
2. Caracterización del suelo de subrasante y elementos viales existentes	-Realización de estudios geotécnicos, incluyendo perforaciones y ensayos de laboratorio. -Diagnóstico con información georreferenciada en GIS del estado actual de la vía.	Se realizan estudios geotécnicos para evaluar las propiedades del suelo También se realizan inspecciones visuales con información georreferenciada para evaluar el estado de señalizaciones, alumbrado, sistemas de drenaje, etc.	Autores del proyecto, personal de laboratorio.
3. Definir el flujo vehicular y volúmenes de tránsito	Realizar conteos vehiculares y tiempos de recorrido	Utilizar equipos de conteo, recopilar y analizar datos de flujo vehicular	Autores del proyecto.
4. Diseño de placa-huella implementando la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS	-Realizar propuesta de diseño geométrico -Diseño del espesor de la estructura de placa-huella y superficie de rodadura -Diseño de drenaje superficial	Siguiendo cada uno de los parámetros y lineamientos específicos de la cartilla de obras menores, se procede a realizar un diseño integral de placa-huella con la asistencia del software Civil 3D y otras herramientas.	Autores del proyecto.
5. Evaluación económica de la propuesta de mejoramiento vial con placa huella mediante la elaboración de un presupuesto	-Realización de un presupuesto con el fin de evaluar y obtener el índice de factibilidad.	Se estudian los detalles del proyecto (planos, alcance, etc.) y los componentes clave. También se estiman los costos asociados a materiales, mano de obra y costos indirectos para poder así generar una evaluación económica realizando un análisis costo-beneficio	Autores del proyecto.

4. Desarrollo del proyecto

4.1 Localización del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Floridablanca Santander, el cual se sitúa a 6.4 Km al sur de Bucaramanga, la capital de Santander, entre coordenadas 7°04'11"N y 73°05'52"O.

El proyecto se encuentra localizado en la vereda la Judía, en un desvío de la vía al parque cerro del Santísimo a 10 Km de Floridablanca, donde se realizará un tramo de 1.04 Km de placa huella.

Figura 2. Localización del municipio de Floridablanca, Santander.



4.2 Topografía y diagnóstico de la vía

Para ejecutar cualquier proyecto de construcción vial, es esencial realizar un levantamiento topográfico que permita identificar las características de la vía a intervenir, lo cual garantiza un diseño adecuado en planta, perfil y sección transversal. En este caso, se llevó a cabo un levantamiento topográfico detallado a lo largo de 1.04 km de vía, con un ancho promedio de entre 6 y 7 metros, con el fin de identificar paramentos que pudieran interferir con el desarrollo del proyecto. Además, se tomaron secciones transversales cada 10 metros.

El levantamiento reveló un terreno con pendientes pronunciadas y transiciones abruptas, aunque el ancho vial resultó óptimo, lo que permite que la estructura de la placa huella encaje completamente en la sección transversal a lo largo de toda la vía.

Figura 3. *Levantamiento topográfico.*



Se evaluó el sitio de estudio desde el inicio del recorrido hasta la vereda La Judía. Se observó que la carretera carece de cualquier tipo de infraestructura que garantice un acceso seguro para la comunidad. Asimismo, no cuenta con sistemas de delimitación ni señalizaciones de tránsito, aunque sí dispone de un sistema de drenaje con alcantarillas, una de las cuales se encuentra a lo largo del tramo a intervenir. La vía también cuenta con iluminación, gracias a la presencia de postes eléctricos a lo largo de su recorrido.

Figura 4. *Estado de la vía.*



Figura 5. *Poste eléctrico*



Figura 6. *Alcantarilla.*

4.3 Caracterización Vial

Se realizó una caracterización detallada del estado actual de la vía. Para esto se utilizó el software ArcGIS PRO, el cual permitió georreferenciar puntos importantes en la vía y analizar de manera precisa los datos topográficos. La caracterización resultó crucial para identificar las falencias de la vía, particularmente en el manejo de aguas pluviales, lo cual llevó a la conclusión de que la infraestructura de drenaje era insuficiente. Con base en este análisis, se propuso la instalación de nuevas alcantarillas, optimizando el manejo de aguas y minimizando el impacto ambiental. Para asegurar un drenaje superficial eficiente, se planteó una distribución de alcantarillas con una separación aproximada de 200 metros, ubicándolas estratégicamente en las curvas para mejorar la captación de aguas lluvias. Esta disposición permitirá una adecuada

captación y canalización de las aguas, mejorando significativamente el tramo e incrementando su durabilidad y funcionalidad a largo plazo.

Figura 7. Mapa con trazado, postas y alcantarillado propuesto en ArcGIS Pro.

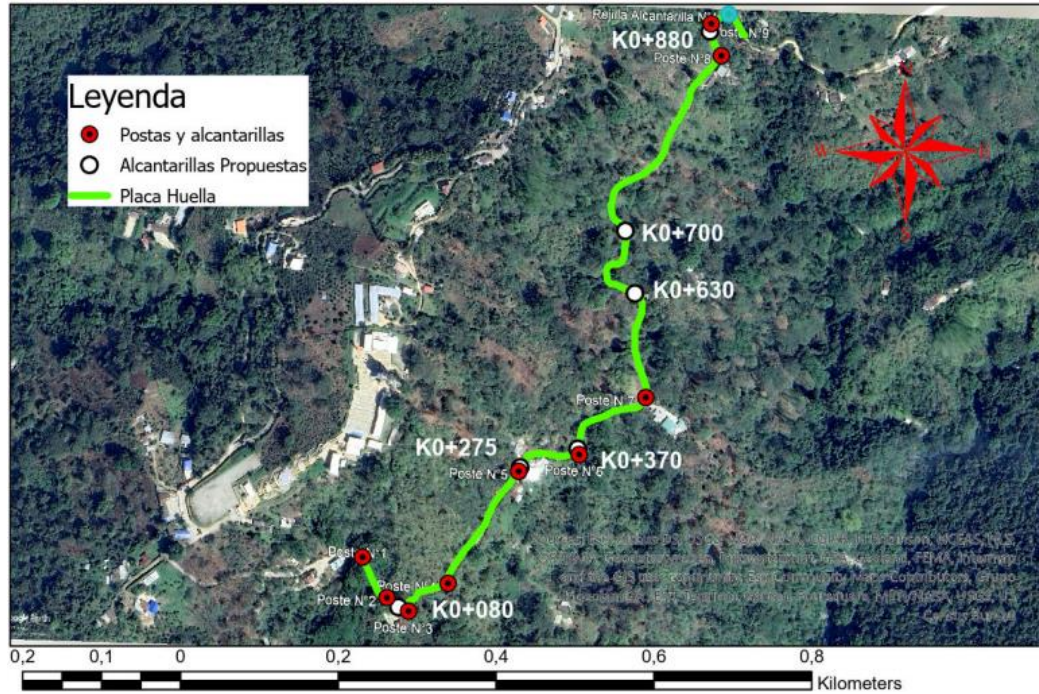


Tabla 2. Alcantarillas proyectadas georreferenciadas en mapa de ArcGIS PRO.

N	Ítem	Observaciones	Coordenadas X	Coordenadas Y
1	Alcantarilla	Proyectada en K0+080	4992525,239	2340356,385
2	Alcantarilla	Proyectada en K0+275	4992679,557	2340533,3
3	Alcantarilla	Proyectada en K0+370	4992752,507	2340556,787
4	Alcantarilla	Proyectada en K0+630	4992824,991	2340753,395
5	Alcantarilla	Proyectada en K0+700	4992812,916	2340832,665
6	Alcantarilla	Proyectada en K0+880	4992920,096	2341085,181

Tabla 3. Postes y alcantarilla existente georreferenciados en mapa de ArcGIS PRO.

<i>N</i>	<i>Ítem</i>	<i>Longitud (X)</i>	<i>Longitud (Y)</i>
1	Poste	-73,06413	7,086924
2	Poste	-73,064003	7,086558
3	Poste	-73,06862	7,082643
4	Poste	-73,06563	7,081992
5	Poste	-73,06635	7,08179
6	Poste	-73,067139	7,080541
7	Poste	-73,06758	7,080228
8	Poste	-73,067832	7,080372
9	Poste	-73,068133	7,0808
10	Rejilla de alcantarilla	-73,063919	7,087047

4.4 Caracterización del suelo de subrasante

Para la caracterización del suelo como evaluación de diagnóstico, se realizó una toma de muestras en campo para realizar ensayos de suelo en el laboratorio.

Figura 8. Recolección de material de apiques.

Se realizaron 3 apiques de 1.20 m de profundidad a lo largo del kilómetro de vía donde se encontraron 2 estratos de suelo. La muestra #1 se encontró en los primeros 40 cm de profundidad del apique y la #2 en el resto.

Figura 9. Muestras obtenidas de apiques.



4.4.1 Granulometría material subrasante

Se realizó de igual forma un ensayo de granulometría siguiendo las indicaciones de INVIE 123-13 [10]. Los resultados obtenidos se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Análisis de granulometría.

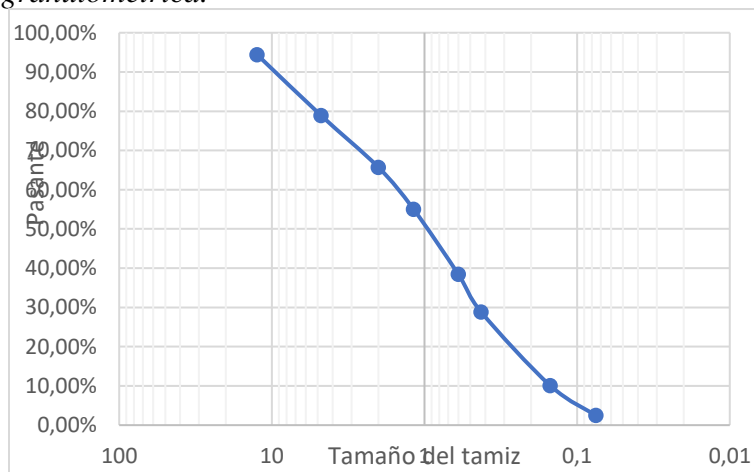
		Peso muestra antes de lavar (g)	Peso muestra después de lavar (g)			
Muestra#1		237,34	137,1			
Tamiz	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% R. Acumulado	% Pasa	
1/2	12,5	0	0,00%	0,00%	100,00%	
No. 4	4,75	8,5	6,20%	6,20%	93,80%	
No. 10	2	13,6	9,92%	16,12%	83,88%	

Tamiz	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% R. Acumulado	% Pasa
No. 16	1,18	13,4	9,77%	25,89%	74,11%
No. 30	0,6	27,8	20,28%	46,17%	53,83%
No. 40	0,425	16,45	12,00%	58,17%	41,83%
No. 100	0,15	33,6	24,51%	82,68%	17,32%
No. 200	0,075	17,7	12,91%	95,59%	4,41%
Fondo		1,4	1,02%	96,61%	3,39%

Teniendo en cuenta los resultados y conforme a los resultados se clasifica según la USCS (Sistema unificado de clasificación de suelos), dando como resultado un suelo: SW-Arena bien graduada.

Para la curva granulométrica siguiendo los resultados de la tabla anterior se tiene que:

Figura 10. Curva granulométrica.



Para conocer los coeficientes de curvatura (CC) y el coeficiente de uniformidad se hace necesario conocer el tamaño de partículas que pasan el 10%, 30% y 60% como resultado se tiene lo siguiente:

Tabla 5. *Tamaño de partículas.*

Tamaño de partículas	
D10	0,0872
D30	0,3069
D60	0,5383

Y los propios coeficientes de uniformidad y curvatura resultado del análisis son:

Tabla 6. *Coefficientes de uniformidad y curvatura.*

Coeficientes	
Cu	6,17573
Cc	2,0076

4.4.2 Límite de Atterberg

Figura 11. *Ensayo límites de Atterberg.*

En la prueba de laboratorio que se practicó al suelo de límites de Atterberg, que incluye el límite plástico y el límite líquido, se sigue lo indicado por las normativas INVIA E 125-13 e INVIA E 126-13 [10].

Tabla 7. *Límite líquido.*

<i>Límite líquido</i>			
	P1	P2	P3
#Tara	64	1	44
N° Golpes	16	24	35
Peso tara	8,66	6,78	8,33
peso tara+suelo húmedo	23,69	23,03	21,43
peso tara+suelo seco	21,09	20,41	18,83
Peso de agua	2,6	2,62	2,6
Peso suelo seco	12,43	13,63	10,5
Humedad%	21%	19%	25%

Una vez obtenido los resultados se puede encontrar gráficamente el límite líquido usando los resultados anteriores:

Figura 12. *Límite líquido.*

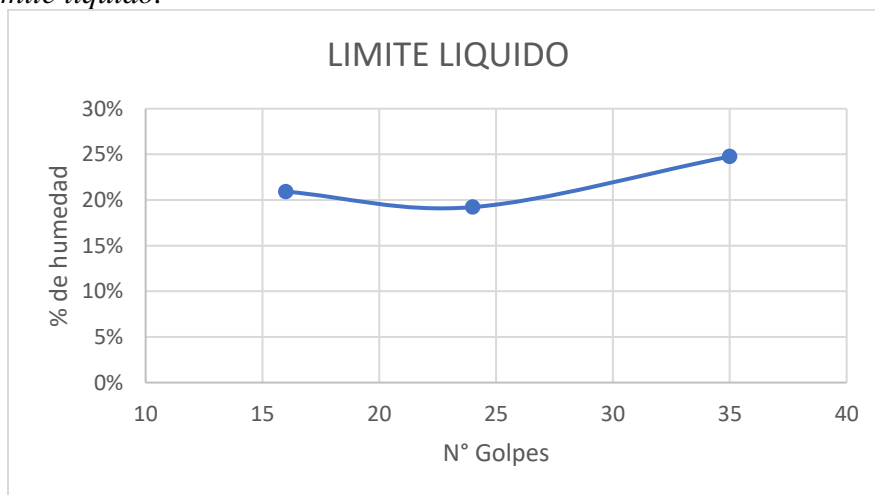


Tabla 8. *Límite plástico.*

	<i>Límite plástico</i>	
	P1	P2
#Tara	3	7
Peso tara	8,48	8,15
Peso tara + suelo húmedo	33,28	29,33
Peso tara + suelo seco	30,73	26,78
Peso del agua	2,55	2,55
Peso suelo seco	22,25	18,63
Humedad%	0,114606742	0,136876006

Para el cálculo de índice plástico se realiza el promedio del límite plástico y se hace la diferencia con el límite líquido dando como resultado:

Tabla 9. *Resultado índice plástico.*

I	11,46
II	13,69
III	---
Promedio	12,57
Índice plástico	6,43

4.4.3 Proctor modificado

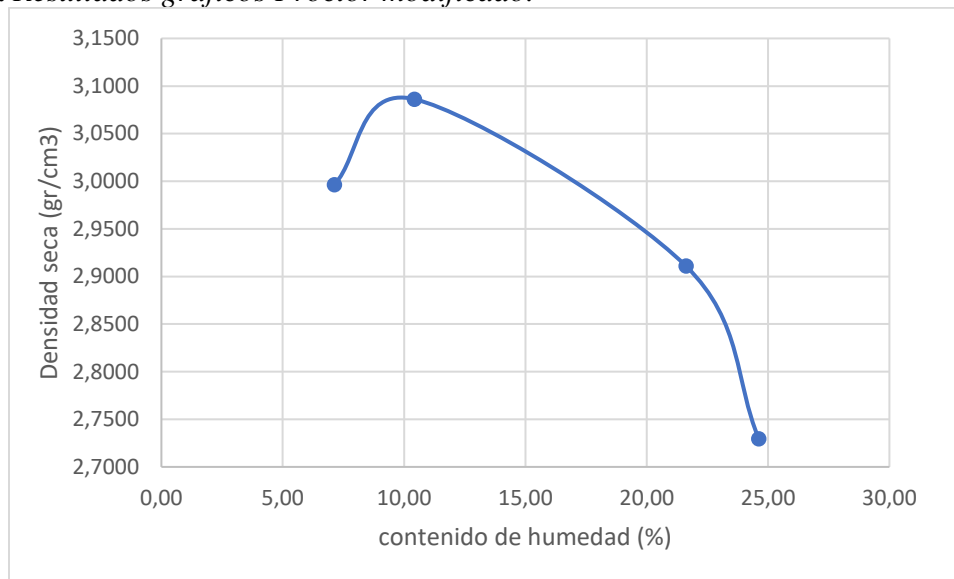
Figura 13. *Ensayo Proctor modificado.*

Para la prueba de Proctor modificado, se realizó el ensayo correspondiente según la norma INVIA 142-13 [10], obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10. *Resultados Proctor modificado.*

<i>Proctor modificado</i>				
Diámetro del molde	15.2cm			
Altura del molde	11.6cm			
Peso del molde	3000g			
Volumen	2104,92			
	P1	P2	P3	P4
Peso molde +suelo	6765	7182	7460	7168
Peso tara	8,6	8,66	8,17	8,18
Peso suelo húmedo compactado	6756,4	7173,34	7451,83	7159,82
Peso tara + suelo h	68,29	63,22	85,07	98,18
Peso tara + suelo s	64,32	58,07	71,4	80,4
Tara	67	102	40	54
Peso agua	3,97	5,15	13,67	17,78
Peso del suelo seco	55,72	49,41	63,23	72,22
Contenido de agua	7,1249	10,4230	21,6195	24,6192
Densidad de suelo húmedo	3,2098	3,4079	3,5402	3,4015
Densidad de suelo seco	2,9963	3,0862	2,9109	2,7295
	Densidad máxima		9,8	
	Humedad óptima		3,8	

Como resultado se puede observar la gráfica de % humedad vs densidad seca y con ella encontrar el valor de humedad óptima y densidad seca máxima.

Figura 14. Resultados gráficos Proctor modificado.

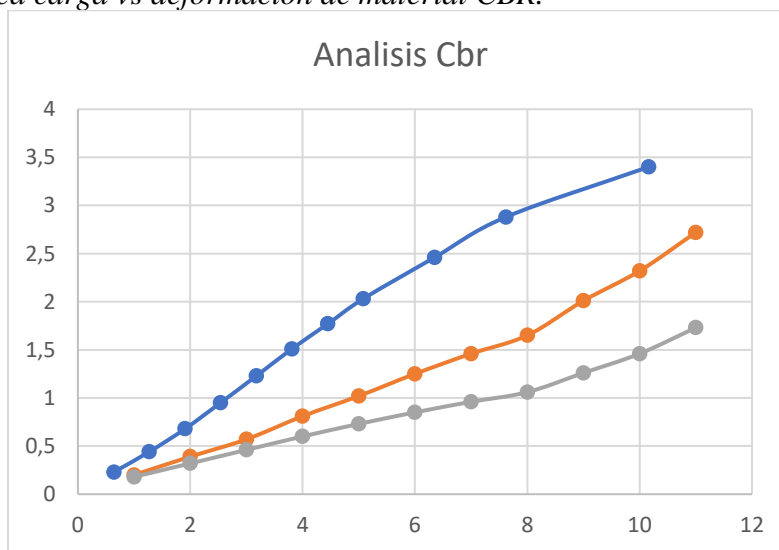
4.4.4 Laboratorio de CBR

Figura 15. Ensayo CBR.

Siguiendo el procedimiento establecido en la norma INV E 148 – 13 [10], se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 11. *Resultados CBR.*

Penetración	Carga en KN		
	55	25	10
0,64	0,23	0,2	0,18
1,27	0,44	0,39	0,32
1,91	0,68	0,57	0,46
2,54	0,95	0,81	0,6
3,18	1,23	1,02	0,73
3,81	1,51	1,25	0,85
4,45	1,77	1,46	0,96
5,08	2,03	1,65	1,06
6,35	2,46	2,01	1,26
7,62	2,88	2,32	1,46
10,16	3,4	2,72	1,73
% Cbr para 2,54	7,1752265	6,1178247	4,531722
% Cbr para 5.08	4,7834844	4,0785498	3,021148

Figura 16. *Gráfica carga vs deformación de material CBR.*

4.4.5 Granulometría muestra N°2

Se realiza la siguiente tabla según la normatividad INVIA 123-13 [10] para el análisis granulométrico:

Tabla 12. *Granulometría muestra N°2.*

		Peso muestra antes de lavar (g)	Peso muestra después de lavar (g)		
Muestra		330,88	269,5		
Tamiz	Abertura(mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% R. Acumulado	% Pasa
1/2	12,5	15	5,57%	5,57%	94,43%
No. 4	4,75	41,9	15,55%	21,11%	78,89%
No. 10	2	35,6	13,21%	34,32%	65,68%
No. 16	1,18	28,63	10,62%	44,95%	55,05%
No. 30	0,6	44,8	16,62%	61,57%	38,43%
No. 40	0,425	25,9	9,61%	71,18%	28,82%
No. 100	0,15	50,5	18,74%	89,92%	10,08%
No. 200	0,075	20,5	7,61%	97,53%	2,47%
Fondo		0,5	0,19%	97,71%	2,29%

Conforme a los resultados arrojados en el laboratorio de granulometría, se realiza la clasificación según la USCS (Sistema unificado de clasificación de suelos), dio como resultado un suelo: SW-Arena bien graduada con grava, y para la clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) da como resultado un suelo A-2-4.

Para la curva granulométrica siguiendo los resultados de la tabla anterior se tiene:

Tabla 13. *Resultado para la curva granulométrica.*

D10	0,0501
D30	0,2030
D60	0,3843
Cu	7,66995
Cc	2,1406

4.4.6 Límites en el resultado granulométrico

Tabla 14. Límite líquido del resultado granulométrico.

	Límite líquido		
	P1	P2	P3
#Tara	64	1	44
N° golpes	16	24	35
Peso tara	8,66	6,78	8,33
Peso tara + suelo húmedo	23,69	23,03	21,43
Peso tara + suelo seco	21,09	20,41	18,83
Peso de agua	2,6	2,62	2,6
Peso suelo seco	12,43	13,63	10,5
Humedad%	21%	19%	25%
Límite líquido	19		

Se obtienen los siguientes resultados de la gráfica:

Figura 17. Gráfica del límite líquido granulométrico.

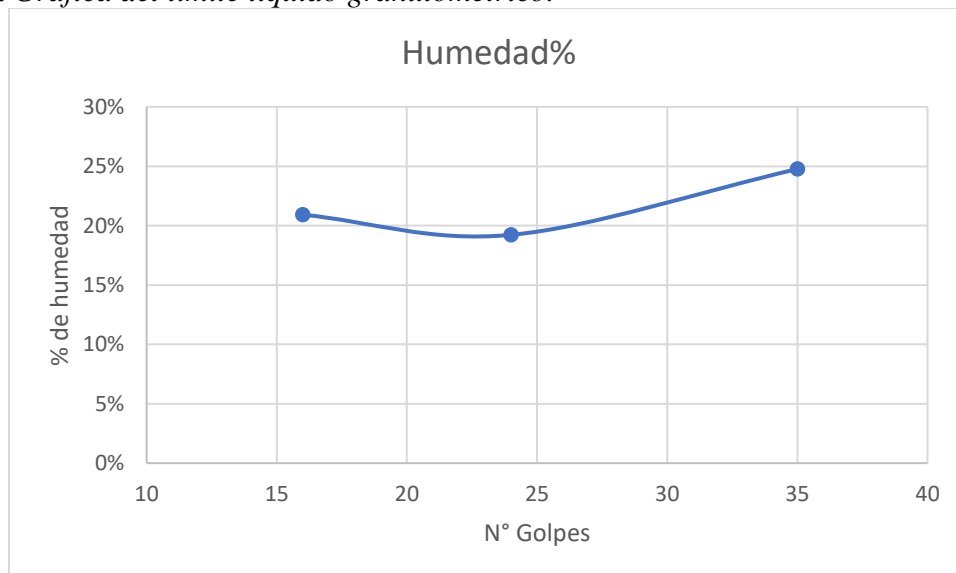


Tabla 15. Límite plástico del resultado granulométrico.

	Límite plástico	
	P1	P2
#Tara		7
Peso tara	8,48	8,15
Peso tara + suelo húmedo	33,28	29,33
Peso tara + suelo seco	30,73	26,78
Peso del agua	2,55	2,55
Peso suelo seco	22,25	18,63
Humedad%	0,114606742	0,136876006

Tabla 16. Resultado índice plástico muestra N°2.

I	11,46
II	13,69
III	
Prom	12,57
Índice plástico	6,43

4.4.7 Prueba Proctor modificado muestra N°2

Para la prueba de Proctor modificado, se realizó el ensayo correspondiente según la norma INVIA 142-13 [10], obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17. Proctor modificado muestra N°2.

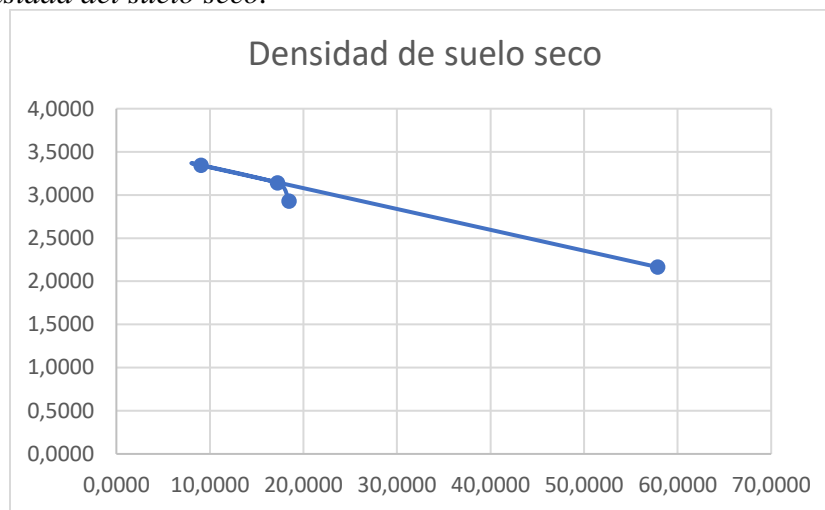
	Proctor modificado				
	P1	P2	P3	P4	
Diámetro del molde					15.2cm
Altura del molde					11.6cm
Peso del molde					3000g
Volumen					2104,92
Peso molde +suelo	7201	7682	7758	7304	
Peso tara	8,34	6,8	7,54	6,38	
Peso suelo húmedo compactado	7192,66	7675,2	7750,46	7297,62	
Peso tara + suelo h	25,8	84,76	66,45	88,37	
Peso tara + suelo s	19,4	78,28	57,79	75,6	
Tara	67	1	2	12	

<i>Proctor modificado</i>				
Diámetro del molde				15.2cm
Altura del molde				11.6cm
Peso del molde				3000g
Volumen				2104,92
	P1	P2	P3	P4
Peso agua	6,4	6,48	8,66	12,77
Peso del suelo seco	11,06	71,48	50,25	69,22
Contenido de agua	57,8662	9,0655	17,2338	18,4484
Densidad de suelo húmedo	3,4171	3,6463	3,6821	3,4669
Densidad de suelo seco	2,1645	3,3432	3,1408	2,9270
	Densidad máxima			14,9
	Humedad optima			3,65

4.4.8 Ensayo CBR muestra N°2

Tabla 18. Datos del CBR.

<i>Proctor modificado</i>			
Diámetro del molde			15.2cm
Altura del molde			11.6cm
Peso del molde			3000g
Volumen			2104,92
	10	55	25
Peso molde +suelo	8538	8774	8749
Peso tara	7,44	8,49	6,36
Peso suelo húmedo compactado	8530,56	8765,51	8742,64
Peso tara + suelo h	61,22	67,92	43,68
Peso tara +suelo s	54,6	60,36	38,56
Tara	14	1	64
Peso agua	6,62	7,56	5,12
Peso del suelo seco	47,16	51,87	32,2
Contenido de agua	14,0373	14,5749	15,9006
Densidad de suelo húmedo	4,0527	4,1643	4,1534
Densidad de suelo seco	3,5538	3,6346	3,5836
	Densidad máxima		14,9
	Humedad optima		3,65

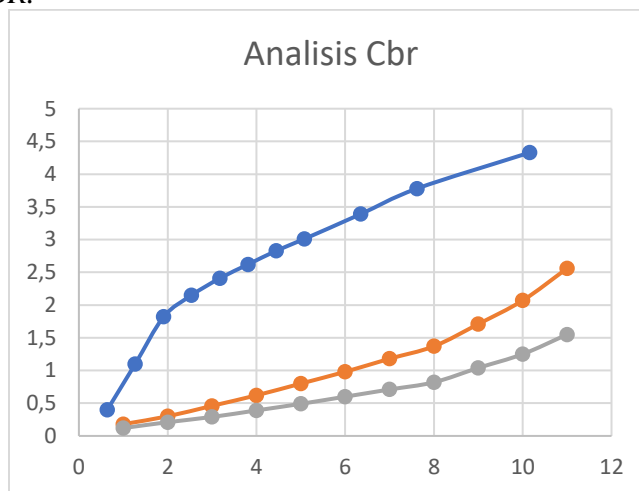
Figura 18. Densidad del suelo seco.

A partir de la gráfica se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 19. Resultados CBR muestra N°2.

Penetración	Carga en KN		
	55	25	10
0,64	0,4	0,18	0,12
1,27	1,1	0,3	0,21
1,91	1,82	0,46	0,29
2,54	2,15	0,62	0,39
3,18	2,41	0,8	0,49
3,81	2,62	0,98	0,6
4,45	2,83	1,18	0,71
5,08	3,01	1,37	0,82
6,35	3,39	1,71	1,04
7,62	3,78	2,07	1,25
10,16	4,33	2,56	1,55
% Cbr para 2,54	18,20	6,04	3,70
% Cbr para 5.08	12,13	4,03	2,47

Según los datos obtenidos, se obtiene el siguiente resultado:

Figura 19. *Análisis CBR.*

Al analizar completamente los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio obtuvimos que:

Tabla 20. *Resultados de laboratorio.*

	Muestra #1	Muestra #2
	(SW) Arena bien graduada	(SW) Arena bien graduada con grava
Clasificación		
Índice de plasticidad	6,43	6,43
%CBR	6	15,2

4.5 Estudio de tránsito

La elaboración del presente estudio de tránsito se llevó a cabo mediante el manual de diseño de pavimentos en concreto para vías de bajo, medios y altos volúmenes de tránsito, que nos permiten identificar los ejes equivalentes de 8,2 toneladas que han de trascurrir por el tramo del carril durante el periodo de diseño, que, para el caso de este proyecto, se considera un periodo de diseño de 20 años. Para el análisis del parámetro de tránsito, se realizaron los aforos de diferentes vehículos en la vía a intervenir.

Para este estudio de tránsito en la vereda la judía, se realizó el aforo durante 7 días consecutivos, en un lapso de 8 horas en diferentes franjas horarias.

Figura 20. Franja horaria de aforo vehicular.

Franja horaria		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
6:00:00 a. m.	7:00:00 a. m.	■				
7:00:00 a. m.	8:00:00 a. m.	■	■			
8:00:00 a. m.	9:00:00 a. m.	■	■	■		
9:00:00 a. m.	10:00:00 a. m.	■	■	■	■	
10:00:00 a. m.	11:00:00 a. m.	■	■	■	■	■
11:00:00 a. m.	12:00:00 p. m.	■	■	■	■	■
12:00:00 p. m.	1:00:00 p. m.	■	■	■	■	■
1:00:00 p. m.	2:00:00 p. m.	■	■	■	■	■
2:00:00 p. m.	3:00:00 p. m.		■	■	■	■
3:00:00 p. m.	4:00:00 p. m.		■	■	■	■
4:00:00 p. m.	5:00:00 p. m.				■	■
5:00:00 p. m.	6:00:00 p. m.					■

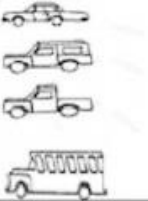




Se seleccionó una estación ubicada estratégicamente en las coordenadas $7^{\circ}04'55.1''N$ $73^{\circ}03'58.4''W$, abarcando todo el tramo de la vía a intervenir.

Figura 21. Estación de conteo vehicular.



Para el conteo del aforo vehicular, se tiene en cuenta la clasificación de los vehículos.

Figura 22. *Clasificación de vehículos.*

TIPO DE VEHÍCULOS		DESCRIPCIÓN
AUTOMÓVILES Y MICROBUSES		
BUSES		
CAMIONES	C2P	
	C2G	
	C3	

Los vehículos livianos (A) son aquellos de menos de 5 toneladas de capacidad, tales como automóviles, camperos, pick-ups, camionetas y colectivos. Los vehículos comerciales (B y C) (Buses y Camiones) son aquellos de más de 5 toneladas de capacidad, tales como buses, camiones, tractocamiones, remolques y semirremolques.

Este aforo evalúa el volumen de tránsito diario para obtener un dato estimado del aforo total, lo que permite estimar las horas pico y las horas de menos uso, sin embargo, en los días que se realizó el estudio, el aforo de vehículos comerciales fue nulo, esto debido a su difícil acceso y el estado actual de la vía. Por lo anterior, se optó por tener en cuenta un mínimo de 10 camiones tipo C3 en el aforo semanal, ya que según la guía de pavimentos con placa-huella del INVIAS [11], se argumenta que estas vías deben permitir la circulación de camiones que transporten materias primas de actividades como minería o agroindustria, por lo que se toma como vehículo de diseño el camión C3. A continuación, se observan uno de los formatos diligenciados en la zona de estudio que se implementaron los días que se realizaron los aforos, donde se manifiestan

los valores adquiridos por los aforadores en un periodo de cada 15 minutos. (El resto de los formatos se encuentran en el apéndice B)

Figura 23. Aforo vehicular día 1. Hoja 1 de 2.



MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER		AFORO VEHICULAR		 UNIVERSIDAD SANTO TOMAS		
FECHA		HOJA		HORA INICIO		
10/07/2024		1		6:00:00 a. m.		
LOCALIZACIÓN		DE		HORA FIN		
Vereda la Judía		2		2:00:00 p. m.		
PERIODO		LIVIANO	BUSES	C2P	C2G	C3
6:00:00 a. m.	6:15:00 a. m.	6				
6:15:00 a. m.	6:30:00 a. m.	3				
6:30:00 a. m.	6:45:00 a. m.	3				
6:45:00 a. m.	7:00:00 a. m.					
7:00:00 a. m.	7:15:00 a. m.	1				1
7:15:00 a. m.	7:30:00 a. m.	3				
7:30:00 a. m.	7:45:00 a. m.	2				
7:45:00 a. m.	8:00:00 a. m.	1				
8:00:00 a. m.	8:15:00 a. m.					
8:15:00 a. m.	8:30:00 a. m.	2				
8:30:00 a. m.	8:45:00 a. m.	6				
8:45:00 a. m.	9:00:00 a. m.	3				
9:00:00 a. m.	9:15:00 a. m.	2				
9:15:00 a. m.	9:30:00 a. m.					
9:30:00 a. m.	9:45:00 a. m.	3				
9:45:00 a. m.	10:00:00 a. m.	1				
TOTAL		36	0	0	0	1

Figura 24. Aforo vehicular día 1. Hoja 2 de 2.

MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER		AFORO VEHICULAR		 UNIVERSIDAD SANTO TOMAS		
FECHA		HOJA		HORA INICIO		
10/07/2024		2		6:00:00 a. m.		
LOCALIZACIÓN		DE		HORA FIN		
Vereda la Judía		2		2:00:00 p. m.		
PERIODO		LIVIANO	BUSES	C2P	C2G	C3
10:00:00 a. m.	10:15:00 a. m.	1				
10:15:00 a. m.	10:30:00 a. m.	6				
10:30:00 a. m.	10:45:00 a. m.	3				
10:45:00 a. m.	11:00:00 a. m.	2				
11:00:00 a. m.	11:15:00 a. m.	1				
11:15:00 a. m.	11:30:00 a. m.					
11:30:00 a. m.	11:45:00 a. m.	4				
11:45:00 a. m.	12:00:00 p. m.					
12:00:00 p. m.	12:15:00 p. m.	5				
12:15:00 p. m.	12:30:00 p. m.	3				
12:30:00 p. m.	12:45:00 p. m.	1				
12:45:00 p. m.	1:00:00 p. m.					
1:00:00 p. m.	1:15:00 p. m.	2				
1:15:00 p. m.	1:30:00 p. m.	1				
1:30:00 p. m.	1:45:00 p. m.	2				
1:45:00 p. m.	2:00:00 p. m.					
TOTAL		31	0	0	0	0

En la siguiente tabla, podemos observar el total de vehículos en el aforo con cada uno de los días, discriminando el tipo de vehículo encontrado en vía en el tramo seleccionado.

Tabla 21. *Resultado del aforo realizado en campo*

Días	Sumatoria				
	Ligeros	Buses	C2P	C2G	C3
1	55				1
2	45				1
3	38				2
4	31				3
5	45				2
6	35				1
7	33				0
Total	282	0	0	0	10

Se encontraron los distintos componentes de los volúmenes de tránsito, al finalizar cada calculo en cada uno de los días, encontramos el TP (Transito diario).

Tabla 22. *Tránsito diario.*

Aforo semanal	TD
Día 1	56
Día 2	46
Día 3	40
Día 4	34
Día 5	47
Día 6	36
Día 7	33

Realizando la suma de cada uno de los aforos de cada día y dividiéndolo entre los días que fueron aforados (7 días), fue encontrado finalmente el TPDS (transito promedio diario semanal).

Tabla 23. *Resultado tránsito semana y tránsito promedio diario semanal.*

Tránsito semanal	292
TPDS	42

Para encontrar el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton, primero se halla la composición vehicular la cual la compone los vehículos livianos, buses y camiones. La cantidad total de cada uno se encuentra, dividiendo el número total de vehículos que fueron encontrados en el aforo discriminando cada uno con el número de días aforados (7 días). Continuando, se halla la cantidad en porcentaje, dividiendo la cantidad total anteriormente nombrada sobre el TPDS, todo multiplicado entre 100.

Tabla 24. *Composición vehicular del tránsito.*

Composición vehicular		
Tipo de vehículo	Livianos	Camiones
Cantidad en %	97	3
Cantidad total	40	2

Encontramos el factor de equivalencia en (Ton) utilizando el método de la cuarta potencia, teniendo en cuenta la composición del tipo de vehículo y la carga que ejercen sus ejes.

Tabla 25. *Cargas por equivalencia de ejes.*

Tipo	Peso total (TON)	Carga (TON)	
		Eje delantero	Eje trasero
Bus	10	4 (SRS)	6 (SRD)
C2P	8,5	2,5 (SRS)	6 (SRD)
C2G	16	6 (SRS)	10 (SRD)
C3	28	6 (SRS)	22 (Tándem)
C5	48	6 (SRS)	21 (Tándem)

Figura 25. Ecuación factor de equivalencia de carga.

$$\text{Factor de equivalente de carga} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^4$$

En donde:

P1= Carga en el eje

Po= Carga en el eje patrón

Tabla 26. Cálculo del factor de equivalencia y factor camión.

Tipo	Peso (TON)	Carga (TON)		FC		Total FC
		Carga eje delantero	Carga eje trasero	Eje delantero	Eje trasero	
C3	28	6	22	0,68	4,63	5,31

Para el cálculo de factor camión, se realiza la sumatoria de los factores de equivalencia por cada tipo de vehículo comercial, que en este caso solo es el camión tipo C3, obteniendo un factor camión de 5.31.

También tenemos en cuenta tres factores importantes, los cuales son el factor direccional (Fd), el factor de distribución por carril (Fca) y la tasa de aumento para los vehículos comerciales (Ver tabla 25, 26 y 27) respectivamente. El factor direccional es del 50%, ya que nuestro tramo solo cuenta con dos carriles, el factor de distribución por carril es de 1,0, ya que el número total de carriles en cada dirección es de 1 y la tasa de aumento para los vehículos comerciales que dependiendo del TPDS, en este caso fue de 5,5.

Tabla 27. *Factor direccional.*

Número de carriles en ambas direcciones	Fd
2	50%
4	45%
6 o más	40%

Tabla 28. *Factor distribución por carril.*

Factor de distribución por carril	
Número total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (fca)
1	1,0
2	0,9
3	0,75

Tabla 29. *Tasa de crecimientos*

Tasas de crecimiento obtenidas en un muestreo de la red vial		
TPDS	Tasa de crecimiento (%)	
	Total de vehículos	Vehículos comerciales
<500	6,0 - 6,5	5,5 - 6,0
500-1000	5,7 - 6,3	5,5 - 6,0
1000-2500	4,5 - 5,5	4,0 - 5,0
2500-5000	4,5 - 5,5	4,0 - 5,0
5000-10000	4,5 - 5,5	4,0 - 5,0
>10000	4,0 - 6,0	3,0 - 5,0

Con todos los componentes necesarios hallados, se calcula el número de ejes equivalentes de 8,2 Ton NESE en la vía de la vereda la Judía con la siguiente expresión:

$$NESE = TPDS * VC * Fd * Fca * FC * 365$$

Dónde:

TPDS= Tránsito promedio diario semanal.

VC= Proporción del TPD que está constituido por vehículos comerciales.

Fd= Factor direccional.

Fca= Factor distribucional por carril.

Tabla 30. *Parámetros para cálculo de numero de ejes equivalentes.*

Cálculo NESE	
TPDS	42
FC	5,31
Fd	0,5
Fca	1
VC %	0,03

Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton= 1221,03

Numero de ejes equivalentes para el periodo de diseño = Numero de ejes equivalentes 80

$kN * (1+r)^{n-1} / r$

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual adoptada anteriormente de 5.5%

n = Periodo de diseño de la vía del proyecto = 20 años

Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño = 43735,80

4.6 Alineamiento

Para realizar el alineamiento, se utilizó inicialmente Google Maps para referenciar las coordenadas de inicio y final de la placa huella en la vereda La Judía. Posteriormente, en conjunto con el levantamiento topográfico realizado en campo, se trazó la ruta desde el punto de partida hasta el punto final donde se instalaría la placa huella, obteniendo una longitud aproximada de 1 km.

Figura 26. *Alineamiento en google earth*



4.7 Implementación de la guía para el diseño de pavimento de placa huella

Según la Guía de obras menores la estructura del pavimento de placa huella es la superficie que soportará el peso de los vehículos que pasen por ella. Este peso se transmite a la subbase y luego al suelo, conocido como la subrasante.

Esta estructura se compone de losas de concreto simple que soportan las ruedas de los vehículos, separadas por una franja de concreto ciclópeo. A lo largo de la sección transversal, se considerarán obras de drenaje para evitar problemas en la vía que puedan afectar la placa de concreto.

Subbase: una vez el perfil longitudinal halla este compactado y rectificado con rellenos, se debe extender conformar y compactar una capa de subbase que cumpla la normativa, esta será de 15cm de espesor en todo el ancho de la sección transversal.

Placa huella y riostra: Las placas huella y la riostra forman un módulo de construcción que se repite, ya que estructuralmente funcionan juntas. Ambas se construyen en concreto reforzado y se funden de manera monolítica con las placas huella y riostras del siguiente módulo. Esto se

conoce como un pavimento de concreto de cemento Portland con refuerzo continuo, confinado mediante riostras uniformemente espaciadas. A continuación, se describen cada una de estas partes con las especificaciones necesarias para su correcto funcionamiento.

Placa huella: Es una losa de concreto reforzado que se funde sobre la subbase. El acero de refuerzo de la placa huella se entrecruzan con el acero de refuerzo de la riostra y con el acero de refuerzo de la placa huella del módulo siguiente.

La longitud máxima de la placa huella en la vereda judía será de 5 m en tramos rectos. Este valor puede variar entre 3 m y 5 m si hay curvas horizontales. El ancho de la placa huella en tramos rectos es de 0,90 m y en curvas horizontales dependerá de la deflexión y el radio de curvatura. El espesor de la placa huella será de 0,15 m.

Riostra: Es una viga transversal de concreto. El ancho de la riostra será de 0,2 m y la longitud máxima será de 3 m. El peralte de la riostra es de 0,30 m. El soporte se coloca completamente sobre la superficie existente, es decir, sobre la superficie en la que se construye la cimentación, con una capa de limpieza de concreto de 0,03 m de espesor.

Piedra pegada: Es una capa de concreto ciclópeo con un espesor de 0,15 m.

Berma-cuneta y bordillo: Son elementos de drenaje superficial construidos en concreto reforzado, fundidos y articulados estructuralmente con la riostra.

A continuación, se mostrarán en detalle las dimensiones de las distintas estructuras que componen la placa huella para su diseño.

En la siguiente tabla se presentan coordenadas para la ejecución del proyecto:

Figura 27. *Coordenadas para la ejecución del proyecto.*

	Absisa	Coordenadas	longitud intervenida
Inicio	0+000.00m	S83° 52' 46"E	1043 metros
Fin	1+043.15m	N44° 51' 25"E	

4.8 Perfil longitudinal

Con base en los datos obtenidos del levantamiento topográfico, se procuró mantener el eje de la vía existente, ya que uno de los principales objetivos del sistema de pavimento con placa huella es evitar grandes sobrecostos o intervenciones. Modificar el eje actual implicaría un aumento en los costos debido a la necesidad de realizar cortes, rellenos o perfilados del terreno para mejorar las condiciones geométricas del trazado. Sin embargo, en algunas zonas será necesario considerar rellenos mínimos, dado que las transiciones abruptas en la pendiente podrían afectar significativamente el nivel de servicio de la vía.

Tabla 31. *Perfil longitudinal.*

Punto	Norte	Este	Abscisa	Descripción
1	1.274.867.151	1.111.530.942	0.000	BP
2	1.274.858.255	1.111.537.344	10,96	PC
3	1.274.855.266	1.111.538.967	14,37	PT
4	1.274.850.018	1.111.541.005	20	
5	1.274.832.131	1.111.547.955	39,19	PC
6	1.274.831.395	1.111.548.292	40	
7	1.274.825.078	1.111.565.833	60	
8	1.274.831.772	1.111.584.270	80	
9	1.274.842.095	1.111.597.476	96,79	PT
10	1.274.843.591	1.111.600.317	100	
11	1.274.852.043	1.111.616.379	118,15	PC
12	1.274.853.014	1.111.617.951	120	
13	1.274.855.124	1.111.620.267	123,14	PT
14	1.274.867.858	1.111.631.318	140	
15	1.274.882.963	1.111.644.427	160	
16	1.274.886.074	1.111.647.127	164,12	PC
17	1.274.898.898	1.111.656.493	180	
18	1.274.915.332	1.111.667.890	200	
19	1.274.932.072	1.111.678.833	220	
20	1.274.936.837	1.111.681.831	225,63	PT

Punto	Norte	Este	Abscisa	Descripción
21	1.274.948.145	1.111.690.698	240	
22	1.274.963.884	1.111.703.039	260	
23	1.274.970.449	1.111.708.055	268,27	PC
24	1.274.981.037	1.111.713.086	280	
25	1.274.984.329	1.111.714.333	283,52	PT
26	1.274.996.352	1.111.718.635	296,29	PC
27	1.274.999.591	1.111.720.442	300	
28	1.275.012.681	1.111.735.060	320	
29	1.275.013.853	1.111.740.135	325,22	PT
30	1.275.013.943	1.111.748.644	333,73	PC
31	1.275.013.886	1.111.750.033	335,12	PT
32	1.275.013.433	1.111.754.892	340	
33	1.275.011.918	1.111.771.151	356,33	PC
34	1.275.012.433	1.111.774.781	360	
35	1.275.023.671	1.111.790.716	380	
36	1.275.041.578	1.111.799.583	400	
37	1.275.060.090	1.111.807.144	420	
38	1.275.074.309	1.111.814.698	436,49	PT
39	1.275.074.767	1.111.818.178	440	
40	1.275.076.643	1.111.832.435	454,38	PC
41	1.275.076.756	1.111.834.000	455,95	PT
42	1.275.076.812	1.111.838.049	460	
43	1.275.077.090	1.111.858.047	480	
44	1.275.077.182	1.111.864.667	486,62	PC
45	1.275.083.683	1.111.875.998	500	
46	1.275.102.672	1.111.879.210	520	
47	1.275.121.263	1.111.871.867	540	
48	1.275.139.992	1.111.865.182	560	
49	1.275.153.772	1.111.863.202	573,93	PT
50	1.275.159.841	1.111.863.062	580	
51	1.275.166.699	1.111.862.903	586,86	PC
52	1.275.170.120	1.111.863.264	590,31	PT
53	1.275.179.548	1.111.865.505	600	
54	1.275.190.755	1.111.868.168	611,52	PC
55	1.275.199.209	1.111.868.649	620	
56	1.275.215.218	1.111.862.317	637,7	PT
57	1.275.216.551	1.111.860.442	640	
58	1.275.217.547	1.111.859.040	641,72	PC
59	1.275.219.056	1.111.856.283	644,87	PT
60	1.275.223.729	1.111.844.700	657,36	PC
61	1.275.225.524	1.111.842.767	660	
62	1.275.243.855	1.111.838.608	680	
63	1.275.253.350	1.111.847.395	693	PT
64	1.275.257.712	1.111.849.642	697,97	PC
65	1.275.259.700	1.111.850.052	700	
66	1.275.279.614	1.111.850.433	720	
67	1.275.289.144	1.111.846.703	730,32	PT
68	1.275.292.275	1.111.843.843	734,56	PC
69	1.275.294.001	1.111.841.931	737,14	PT
70	1.275.296.706	1.111.839.635	740	
71	1.275.297.625	1.111.837.049	743,59	PC
72	1.275.300.750	1.111.834.022	747,59	PT

Punto	Norte	Este	Abscisa	Descripción
73	1.275.303.468	1.111.832.134	750,9	PC
74	1.275.312.280	1.111.830.436	760	
75	1.275.330.489	1.111.838.440	780	
76	1.275.345.234	1.111.850.562	799,14	PT
77	1.275.345.780	1.111.851.226	800	
78	1.275.348.991	1.111.855.137	805,06	PC
79	1.275.353.588	1.111.861.543	812,95	PT
80	1.275.357.317	1.111.867.526	820	
81	1.275.363.733	1.111.877.820	832,15	PC
82	1.275.368.787	1.111.883.845	840	
83	1.275.375.659	1.111.889.962	849,21	PT
84	1.275.382.862	1.111.893.882	857,41	PC
85	1.275.385.336	1.111.894.649	860	
86	1.275.404.196	1.111.901.293	880	
87	1.275.422.566	1.111.909.192	900	
88	1.275.425.742	1.111.910.709	903,52	PT
89	1.275.439.322	1.111.920.045	920	
90	1.275.445.371	1.111.924.204	927,34	PC
91	1.275.456.232	1.111.930.692	940	
92	1.275.459.128	1.111.932.122	943,23	PT
93	1.275.469.919	1.111.937.232	955,17	PC
94	1.275.474.238	1.111.939.394	960	
95	1.275.488.948	1.111.948.729	977,44	PT
96	1.275.490.994	1.111.950.267	980	
97	1.275.502.341	1.111.958.798	994,2	EP

4.9 Estructura de placa huella

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS [2], previamente mencionada, y considerando las necesidades específicas del proyecto, se presentan a continuación los siguientes perfiles de obra:

Figura 28. Perfiles de obra (1).

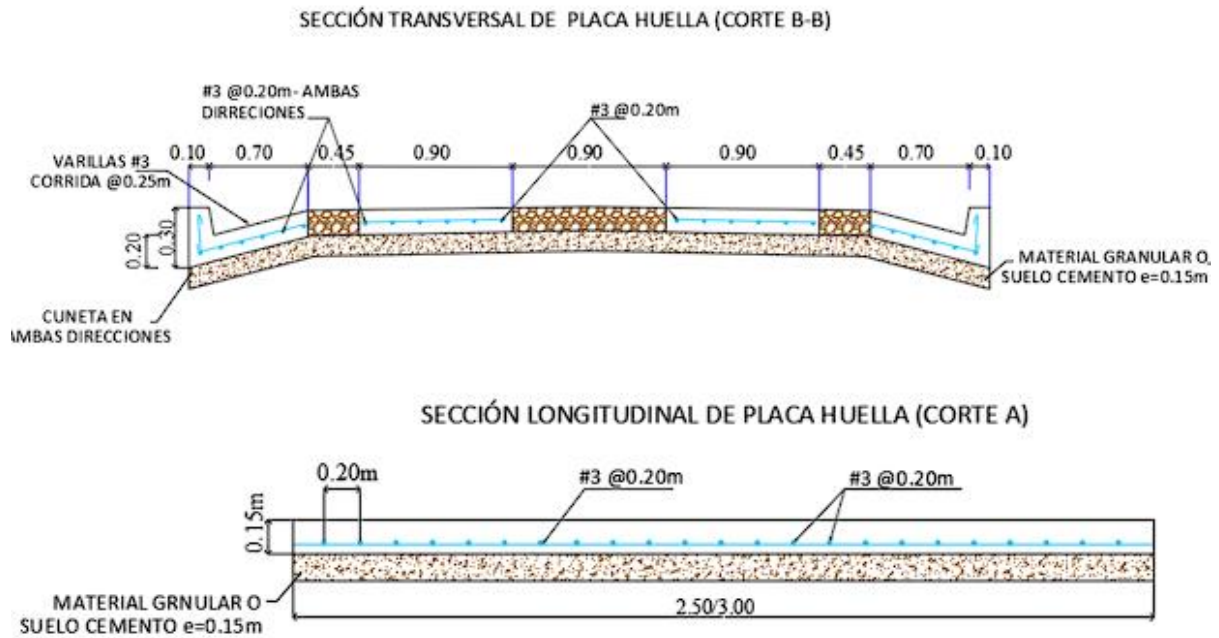


Figura 29. Perfiles de obra (2).

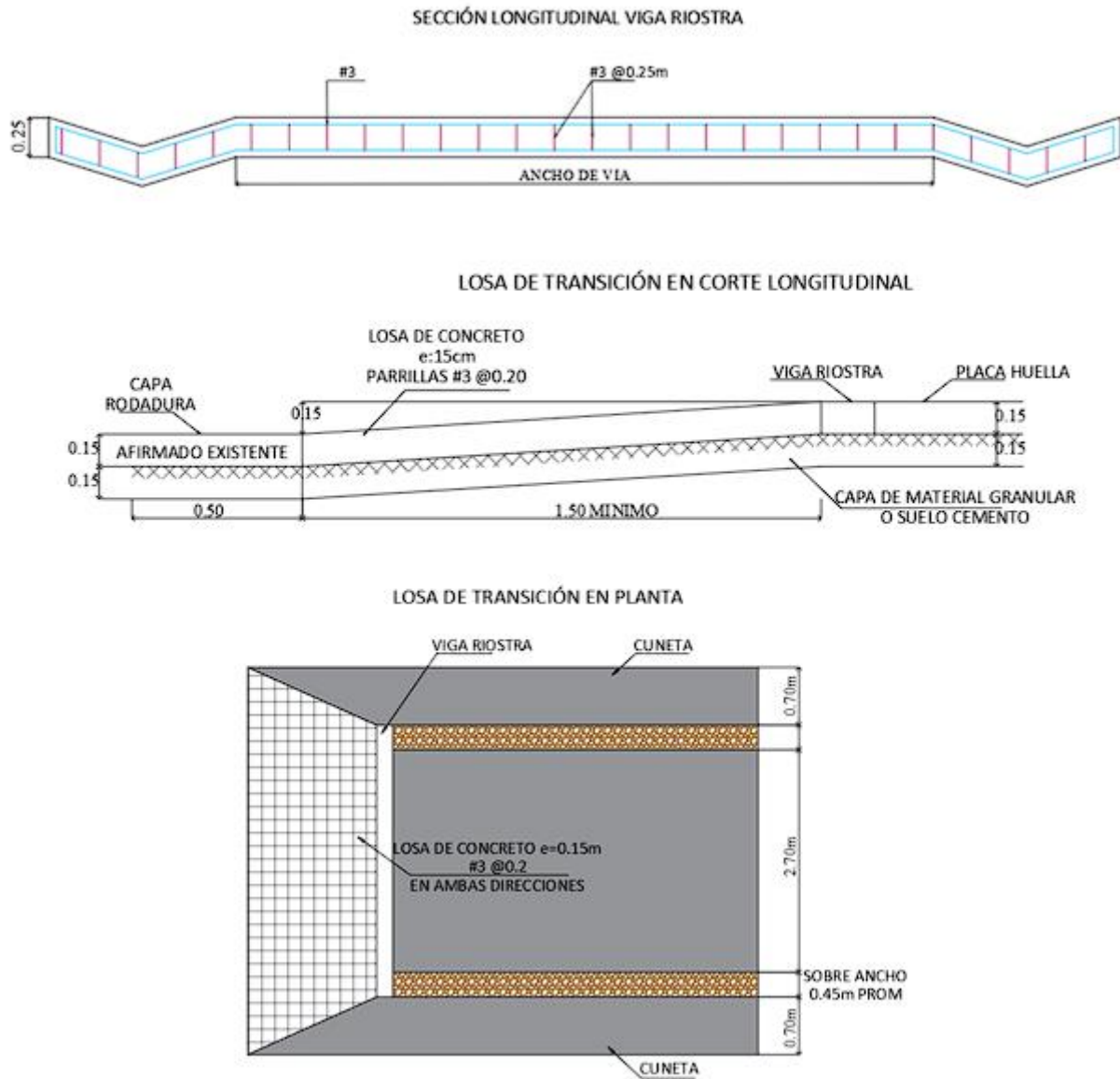
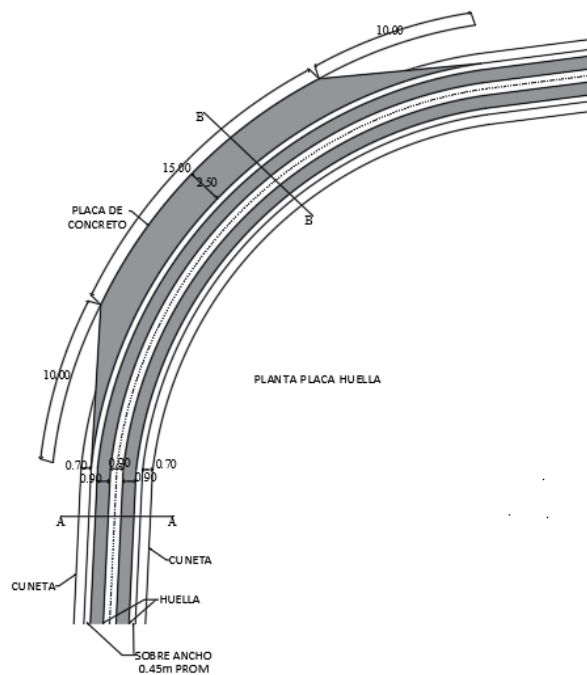


Figura 30. *Planta de placa huella.*

5. Presupuesto

Los precios unitarios de este proyecto se realizaron respecto a bases de datos del INVIAS y otros proveedores

En el presupuesto, se tiene en cuenta de carácter teórico, los porcentajes del AIU (Administración, Imprevistos, Utilidad), esto para dar una idea de la cantidad estimada de los recursos a intervenir.

A continuación, se muestra el presupuesto final correspondiente a la construcción de la placa huella de longitud de 1040 metros y un ancho de 5 metros. El análisis de precios unitarios y memorias de cálculo se podrán observar con detalle en los respectivos apéndices E y F.

Tabla 32. *Presupuesto general.*

Presupuesto general						
Presupuesto						
Ítem	Norma invias	Descripción	Unid	Cant	v. Unitario (incluye a.i.u. 35%)	V.total
Esp.						
<i>1</i>		<i>Excavaciones y base granular</i>				
1,1	600.2.3	Excavaciones varias en material común en seco (incluye retiro)	M3	1.560,00	\$ 109.763,94	\$ 171.231.746,40
1,2	330,3	Base granular clase C (incluye transporte al sitio)	M3	859,92	\$ 258.312,77	\$ 222.128.317,18
					<i>subtotal</i>	\$ 393.360.063,58
<i>2</i>		<i>Estructura huella</i>				
2,1	630,4	Concreto clase (D) para huella vehicular	M3	325,68	\$ 1.494.916,54	\$ 486.864.418,75
2,2	671,3	Cuneta de concreto fundida en el lugar	M3	187,20	\$ 1.838.893,52	\$ 344.240.866,94
2,3	630,7	Concreto clase (G) piedra pegada	M3	317,76	\$ 1.204.157,18	\$ 382.632.985,52
2,4	640,1	Acero de refuerzo fy 420 mpa	Kg	16.793,28	\$ 13.907,15	\$ 233.546.663,95
					<i>subtotal</i>	\$1.447.284.935,16
<i>3</i>		<i>Alcantarillas</i>				
3,1	600.2.3	Excavaciones varias en material común en seco (incluye retiro)	M3	498,63	\$ 104.774,34	\$ 52.243.629,15
3,2	610,1	Rellenos en material seleccionado para estructuras (incluye transporte al sitio)	M3	258,19	\$ 221.279,97	\$ 57.132.275,45
3,3	630,4	Concreto clase (D) para alcantarilla	M3	121,08	\$ 1.494.916,54	\$ 181.004.494,66
3,4	630,6	Concreto clase (F) para solado	M3	10,50	\$ 1.285.760,54	\$ 13.500.485,67
3,5	661,1	Tubería de concreto reforzado 21 mpa de 900 mm de diámetro interior	M	36,00	\$ 1.212.918,94	\$ 43.665.081,84
3,6	640,1	Acero de refuerzo fy 420 mpa	Kg	4.702,86	\$ 13.907,15	\$ 65.403.379,45
					<i>subtotal</i>	\$ 412.949.346,22
		<i>Costos obra física</i>				\$2.253.594.344,96

6. Conclusiones

Si bien es cierto que nos enfrentamos a un desafío al hablar de infraestructura vial en este departamento que las cifras nos han mostrado lo precario que están como lo mostraba el informe Prosantander [1], este proyecto sirvió para dar por sentado que desde iniciativas académicas también se puede generar un aporte mayor a las iniciativas políticas.

La falta de infraestructura vial al desarrollar el proyecto demostró los diversos problemas que afectan directamente a la comunidad, entre ellos la falta de inversión en infraestructura, la ausencia de mantenimiento vial, y la vulnerabilidad ante condiciones climáticas adversas. Estas causas conducen a problemas como el deterioro de la calidad de vida, el aislamiento de las comunidades rurales, y el estancamiento económico.

Aprovechando que el gobierno departamental ha reconocido la urgencia de abordar esta situación, desde la vereda La Judía el proyecto abordó la necesidad de encontrar soluciones específicas y adaptadas a las condiciones locales y buscar integrar aspectos de sostenibilidad y resiliencia climática.

La ejecución si se lograra seguramente tendría el potencial de mejorar la infraestructura vial de la vereda La Judía, y, a su vez, servir como un modelo replicable para otras comunidades rurales en Santander, así como en otros departamentos del país. De igual manera, aborda la intersección crítica entre infraestructura, desarrollo económico, turismo sostenible y adaptación al cambio climático, ofreciendo una oportunidad única para un estudio de caso integral sobre desarrollo rural sostenible.

Este proyecto logró establecer de manera precisa la configuración geométrica mediante un estudio topográfico detallado, lo cual fue esencial para el desarrollo del diseño en planta, perfil y sección transversal de la placa huella. Este análisis permitió ajustar el diseño propuesto a las

condiciones reales del terreno, optimizando tanto la eficiencia como la resistencia de la infraestructura. De este modo, se garantizó que la propuesta fuera adecuada y funcional para las características específicas del área, contribuyendo a la sostenibilidad.

Se evaluó el estado actual del derecho vial mediante un diagnóstico detallado respaldado en información georreferenciada en GIS, lo que permitió obtener una visión precisa de las condiciones viales del sector. Este análisis identificó las áreas críticas que requieren intervención urgente, como la deficiencia en el drenaje superficial de la vía, lo que evidenció la necesidad de instalar nuevas alcantarillas en puntos estratégicos. Las medidas propuestas son esenciales para mitigar problemas de erosión y acumulación de agua, lo cual contribuirá significativamente a la protección y durabilidad.

Mediante los ensayos de laboratorio, se pudo determinar las características mecánicas y propiedades del suelo de subrasante lo cual permitió identificar su capacidad portante y su clasificación. Los resultados evidenciaron que la resistencia mecánica del suelo, medida a través del porcentaje de CBR, superó el mínimo establecido en la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS [2], que es del 3%. Esto confirma que el suelo es óptimo para soportar la estructura de la placa huella, garantizando su estabilidad y durabilidad.

El estudio de tránsito realizado permitió identificar los componentes vehiculares del sector y obtener el número de ejes equivalentes necesarios para el cálculo estructural del pavimento. Los resultados del análisis demostraron que la carga máxima de diseño no excede los 500,000 ejes equivalentes de 8.2 toneladas, cumpliendo con los parámetros establecidos en la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del INVIAS [2]. Este hallazgo valida la viabilidad de la estructura de placa huella propuesta, asegurando su adecuación a las condiciones de tráfico del sector y garantizando su funcionalidad.

Finalmente, la evaluación económica de la propuesta de mejoramiento vial con placa huella, realizada a través de la elaboración de un presupuesto detallado que permitió obtener el índice de rentabilidad, demuestra que la inversión en la mejora de la infraestructura vial es rentable y positiva a largo plazo, fomentando el desarrollo sostenible del sector y garantizando la viabilidad.

Referencias

- [1] ProSantander, *Informe de desarrollo de Santander*, 2022.
- [2] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), *Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales*, 2 de marzo de 2023.
- [3] Gobernación de Santander, *Pacto Funcional de Santander*, 2022.
- [4] IDEAM, *Proyecciones climáticas para el departamento de Santander*, 2023.
- [5] Giraldo, M., Hernández, G. y Vargas, J., *Diseño en placa huella de la vía terciaria Ibagué-Vereda Cay implementando la guía de pavimentos INVIAS*, 2023.
- [6] Niño, J., *Diseño de Pavimento con placa huella vía que comunica el municipio de Pacarni con la vereda el Vergel en el departamento del Huila*, 2022.
- [7] Santa, J., Giraldo, J. y Herazo, J., *Diseño de un plan vial de vías terciarias para la construcción de placa huella en el municipio de San Vicente Ferrer, departamento de Antioquia*, 2019.
- [8] Cuartas, A., Forero, J. y Soraca, B., *Análisis de los beneficios sociales de la pavimentación de vías rurales en la vereda Cómeza de Baho del municipio de Socotá, departamento de Boyacá*, 2021.
- [9] Ramos, L., y Sarango, M., *Propuesta de mejoramiento vial de la calle principal "Subida al Belén" de longitud 2.9 km, sector El Belén, ubicado en la parroquia rural Tambillo, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha*, 2023.
- [10] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), *Normas de ensayo de materiales para carreteras*, INVIAS, 2014, actualizada en 2022.
- [11] Instituto Nacional de Vías (INVIAS), *Guía de pavimentos con Placa-huella*, INVIAS, 2017.