



**Desarrollo de un estudio de movilidad en el tramo 4.1 km de la conexión vial Guillermo
Gaviria Correa**

Jorge Andrés Jaramillo Londoño

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

I.C. Claudia Marcela Aldana Ramírez

MGs. En Ingeniería, Infraestructura y Sistemas de Transporte

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Escuela Ambiental

Ingeniería Civil

Medellín

2022

Cita

Jaramillo Londoño, 2022

Referencia

Jaramillo Londoño, J. A. (2022). *Desarrollo de un estudio de movilidad en el tramo 4.1 km de la conexión vial Guillermo Gaviria Correa*. [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.

Estilo APA 7 (2020)



Asesora interna Universidad de Antioquia: Claudia Marcela Aldana Ramírez

Tutora Alcaldía de Medellín: Sara Henao Pérez

Compañera de desarrollo de prácticas académicas en Alcaldía de Medellín: Caterin Zapata Pérez



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

A Caterin Zapata Pérez, compañera de prácticas en la Secretaría de Movilidad, sin quien este proyecto no podría haberse realizado. A Sara Henao Pérez y Andrés Gil Cadavid, ingenieros de la Secretaría de Movilidad, por su apoyo y acompañamiento en el desarrollo del estudio. A la Alcaldía de Medellín y la Gobernación de Antioquia por brindar el espacio y recursos necesarios para el desarrollo tanto de las prácticas académicas como del presente estudio de movilidad. Finalmente, a Claudia Marcela Aldana Ramírez, asesora interna de la Universidad de Antioquia, por su acompañamiento, apoyo y fuente de motivación durante todo el desarrollo de las prácticas.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 Marco teórico	13
3 Metodología	15
3.1 Etapa 1: análisis geométrico del trazado de la vía de estudio.	15
3.2 Etapa 2: análisis de incidentalidad del tramo de estudio.	20
3.3 Etapa 3: análisis del entorno de la vía.	21
3.4 Etapa 4: elaboración de un informe diagnóstico.	21
4 Resultados	22
4.1 Etapa 1: análisis geométrico del trazado de la vía de estudio.	22
4.2 Etapa 2: análisis de incidentalidad del tramo de estudio.	29
4.3 Etapa 3: análisis del entorno de la vía	36
5 Análisis	51
5.1 Etapa 1: análisis geométrico del trazado de la vía de estudio.	51
5.2 Etapa 2: análisis de incidentalidad del tramo de estudio.	51
5.3 Etapa 3: análisis del entorno de la vía	54
6 Entrega final	56
7 Conclusiones	57
Referencias	58

Lista de tablas

Tabla 1. Radios de giro mínimos para peralte máximo de 8 %.	18
Tabla 2. Parámetros geométricos Sur - Norte	23
Tabla 3. Parámetros geométricos Norte - Sur	24
Tabla 4. Comparación de valores curvas norte - sur	26
Tabla 5. Comparación de valores curvas sur - norte	27

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de la metodología.	15
Figura 2. Ortofoto MapGIS	16
Figura 3. Superposición de fotografías del tramo de estudio en AutoCAD.	16
Figura 4. Líneas de tendencia.	17
Figura 5. Parámetros geométricos del trazado.	17
Figura 6. Plano oficial de la vía.....	19
Figura 7. Georreferenciación de incidentes.	21
Figura 8. Superposición imágenes de la ortofoto.	22
Figura 9. Líneas de tendencia de la vía.	23
Figura 10. Sección no coincidente entre plano de diseño y vía construida.....	28
Figura 11. Sección no coincidente entre vía construida y plano de diseño.....	28
Figura 12. Mapa de calor de incidentalidad.	29
Figura 13. Clasificación de incidentes según su clase.	30
Figura 14. Clasificación de incidentes según el año.	30
Figura 15. Progresión de incidentes 2014 - 2021.	31
Figura 16. Incidentes 2014 - 2021 según su mes.	31
Figura 17. Incidentes anuales Trimestre 1.	32
Figura 18. Incidentes anuales Trimestre 2.	32
Figura 19. Incidentes anuales Trimestre 3.	33
Figura 20. Incidentes anuales Trimestre 4.	33
Figura 21. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 1.	34
Figura 22. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 2.	34
Figura 23. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 3.	35

Figura 24. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 4.	35
Figura 25. Invasión cercana a la vía.	36
Figura 26. Asentamientos cercanos a la vía.	37
Figura 27. Acceso oficial.	37
Figura 28. Acceso a predio.	38
Figura 29. Rutas de transporte público.	39
Figura 30. Rutas de transporte especial.	39
Figura 31. Vehículos de carga.	40
Figura 32. Acarreo de material de obra.	40
Figura 33. Acopio de taxis.	41
Figura 34. Acceso Institución Educativa Las Playas.	41
Figura 35. Punto de incidentalidad Colegio Las Playas.	42
Figura 36. Punto de incidentalidad en acceso a San Cristóbal.	43
Figura 37. Giro en U en acceso a San Cristóbal.	43
Figura 38. Cruce en intersección con acceso a San Cristóbal.	44
Figura 39. Movimiento en masa.	44
Figura 40. Descascaramiento del pavimento.	45
Figura 41. Baches, afloramiento de agua y pérdida de agregado.	46
Figura 42. Fisuración por deslizamiento de capas.	47
Figura 43. Fisuración por deslizamiento de capas en curva.	48
Figura 44. Fisura longitudinal.	48
Figura 45. Piel de cocodrilo.	49
Figura 46. Fisura transversal en junta de construcción.	50
Figura 47. Focos de incidentalidad.	52

Siglas, acrónimos y abreviaturas

Devimar	Concesionaria Desarrollo Vial al Mar.
GGC	Guillermo Gaviria Correa
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías
Km	Kilómetro
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
SMM	Secretaría de Movilidad de Medellín
UN	United Nations
WHO	World Health Organization

Resumen

Los incidentes viales se han convertido en una de las principales causas de muerte en el mundo y de igual manera en los mayores generadores de discapacidad. Por iniciativa de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se han fijado metas para la reducción de estas tasas, a través de un enfoque transversal, centrado en la gestión de la seguridad vial. En el presente proyecto se desarrollará un estudio de movilidad en el tramo 4.1 km de la conexión vial Guillermo Gaviria Correa, entre la carrera 77 con calle 60 y la entrada al Túnel de Occidente, con el fin de reconocer su estado y las dinámicas de su entorno. Este se efectuará en cuatro etapas que tendrán en cuenta la geometría de la vía, la incidentalidad y el entorno de la vía, para finalmente obtener un diagnóstico que exponga los hallazgos.

Palabras clave: estudio de movilidad, incidentalidad vial, actores viales, análisis geométrico, puntos de calor, seguridad vial.

Abstract

Traffic incidents have become one of the main causes of death in the world, in the same way, the major disability generators. Due to international organizations initiative, such as World Health Organization (WHO), and The United Nations (UN), there have been established rate reduction targets for these issues through a transversal approach, focused on the road safety management. In this project there is going to be developed a mobility study for the Guillermo Gaviria Correa's 4.1 km section, between the corner of 77th avenue and 60th street, and the entrance of the *Túnel de Occidente*, to recognize its current conditions and the dynamics of the environment around it. This will be made in four stages, and they are considering the geometry of the road, its incidents rate, and the setting around; finally, there will be obtained a diagnostic that shows the findings.

Keywords: mobility study, road incident rate, mobility actors, geometric analysis, heat points, road safety.

Introducción

Cada año en el mundo alrededor de 1,350.000 personas fallecen como consecuencia de incidentes viales, según información de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y más de 50 millones de personas sufren traumatismos, convirtiéndose esta en la novena causa principal de mortalidad en el mundo.

Dentro del enfoque global de Visión Cero, adoptado por Medellín en 2019, se busca tener una movilidad más humana y segura, así como reducir la tasa de mortalidad por incidentes viales a 5 por 100000 habitantes. Por ello, es de gran relevancia identificar el contexto de las vías, desde su diseño, construcción, entorno y comportamiento de sus usuarios.

En concordancia, se desarrollará un estudio específico de movilidad en el tramo 4,1 km de la conexión vial Guillermo Gaviria Correa, entre la carrera 77 con calle 60, en el barrio Los Colores de Medellín, hasta la entrada al Túnel de Occidente, teniendo en cuenta un análisis de la geometría, registros de incidentalidad, indicadores de comportamiento y dinámicas dentro y alrededor de la misma. De esta manera se obtendrá un diagnóstico que permita conocer con claridad su estado, problemáticas y los puntos críticos que deban ser atendidos, con el fin de presentar posibles soluciones a estas.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar un estudio de movilidad en el tramo de 4.1 kilómetros de la conexión vial Guillermo Gaviria Correa, entre la carrera 77 con calle 60 y la entrada al Túnel de Occidente , teniendo en cuenta su geometría, señalización, indicadores de incidentalidad y el comportamiento de los usuarios dentro de su entorno.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar un análisis geométrico del tramo de 4.1 kilómetros, entre la carrera 77 con calle 60 y la entrada al Túnel de Occidente, a partir del trazado construido.
- Desarrollar un estudio de incidentalidad con base en registros con los que cuenta la Secretaría de Movilidad.
- Obtener indicadores de comportamiento de los usuarios de la vía por medio de la realización de visitas técnicas de campo, en el tramo de estudio.
- Elaborar un informe de diagnóstico propositivo a partir de los hallazgos encontrados.

2 Marco teórico

Anualmente mueren 1'350.000 personas como consecuencia de incidentes en las vías a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, 2009), convirtiéndose, para el 2004, en la novena causa principal de muerte en el mundo y proyectándose que, para el 2030 ocupe el quinto lugar dentro de este escalafón. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en el 2016 se presentaron 154.997 muertes por incidente de tránsito en la Región de las Américas, cifra que representa el 11 % de las muertes mundiales por esta causa (Organización Panamericana de la Salud, 2019). De igual manera, los traumatismos por incidentes viales fueron la segunda causa de mortalidad en adultos jóvenes (entre 15 y 29 años).

Según la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) en Colombia entre 2010 y 2020 se produjeron 6091 fallecidos en promedio cada año por esta causa (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021). Por otro lado, entre 2015 y 2020, los hombres representaron el mayor porcentaje de estos decesos, con una cifra promedio anual de 5368 (81,2 %) en comparación con las 1242 (18,8 %) en el caso de las mujeres. Para Medellín, con base en información del Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad, entre 2014 y 2021 el peatón representó el 45,7 % de estas muertes, seguido por los motociclistas con un 37,1 %; cabe resaltar que estos últimos son los mayormente afectados por traumatismos con un 60,4 % (Observatorio de Movilidad de Medellín, 2021).

Algunos estudios señalan, que los problemas de movilidad urbana son el resultado de la rápida urbanización y tienen múltiples efectos en las economías urbanas. Entre dichos problemas están la congestión urbana, el exceso de demanda de viajes sobre su oferta, la incidentalidad, la contaminación del medio ambiente y la tarifa que se debe pagar por un servicio de transporte. Como punto de partida para atender estas problemáticas se ha recurrido a la aplicación de estudios de movilidad (Quintero González, 2017).

En el tramo 4,1 km perteneciente a la Conexión vial Guillermo Gaviria Correa, que hace parte de la concesión Mar 1 dentro del programa de Autopistas 4G y donde se llevará a cabo el estudio de movilidad, no hay registro de la realización previa de un análisis de este tipo, puesto que su construcción y entrada en funcionamiento fue en 2015. Este tramo está comprendido entre la Avenida 80 con calle 59, en Robledo, y la entrada al túnel Fernando Gómez Martínez o Túnel de

Occidente, el cual inició su operación en 2015 a cargo de la Concesionaria Desarrollo Vial al Mar S.A.S - Devimar. Este proyecto tiene como área de influencia a las comunas 7 (Robledo), 13 (San Javier) y el corregimiento San Cristóbal (Desarrollo Vial al Mar S.A.S., 2022).

3 Metodología

A continuación, se presenta un esquema de la metodología (Figura 1), la cual se divide en 4 etapas, en las cuales se reportan las actividades relacionadas y los métodos a utilizar para cumplir con los objetivos esperados de la propuesta.

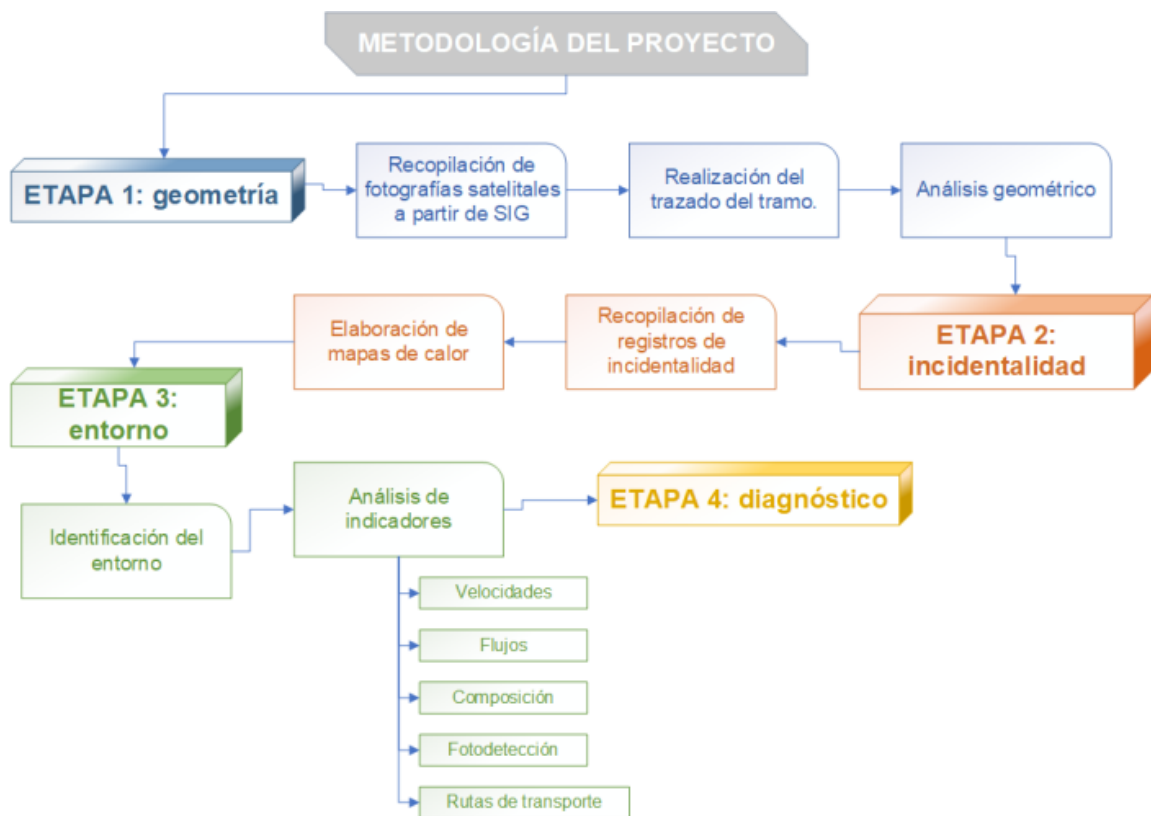


Figura 1. Esquema de la metodología. Fuente: elaboración propia.

3.1 Etapa 1: análisis geométrico del trazado de la vía de estudio.

En el comienzo de la etapa 1 se obtuvieron fragmentos de la ortofoto de Medellín del 2016 desde el portal Mapas Medellín – MapGIS (Figura 2), con el fin de elaborar el trazado del tramo de la vía de estudio, esto es la conexión vial Guillermo Gaviria Correa, desde la carrera 77 con calle 60 y la entrada al túnel Fernando Gómez Martínez, también llamada Túnel de Occidente.

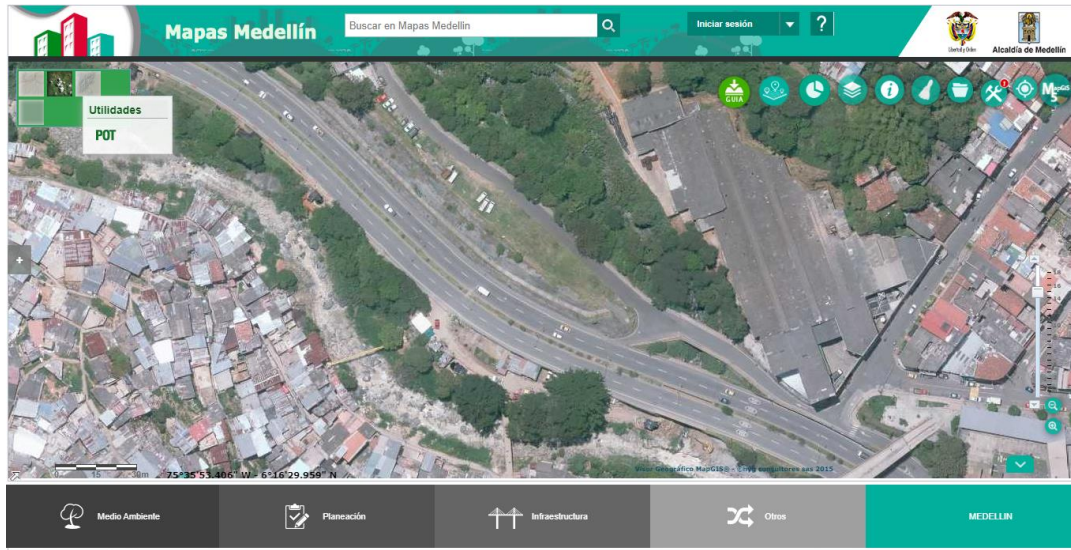


Figura 2. Ortofoto MapGIS. Fuente: MapGIS (Alcaldía de Medellín, 2022).

Las fotografías tomadas fueron procesadas con el software de asistencia de dibujo AutoCAD en el cual se realizó la superposición de estas como se muestra en la Figura 3.

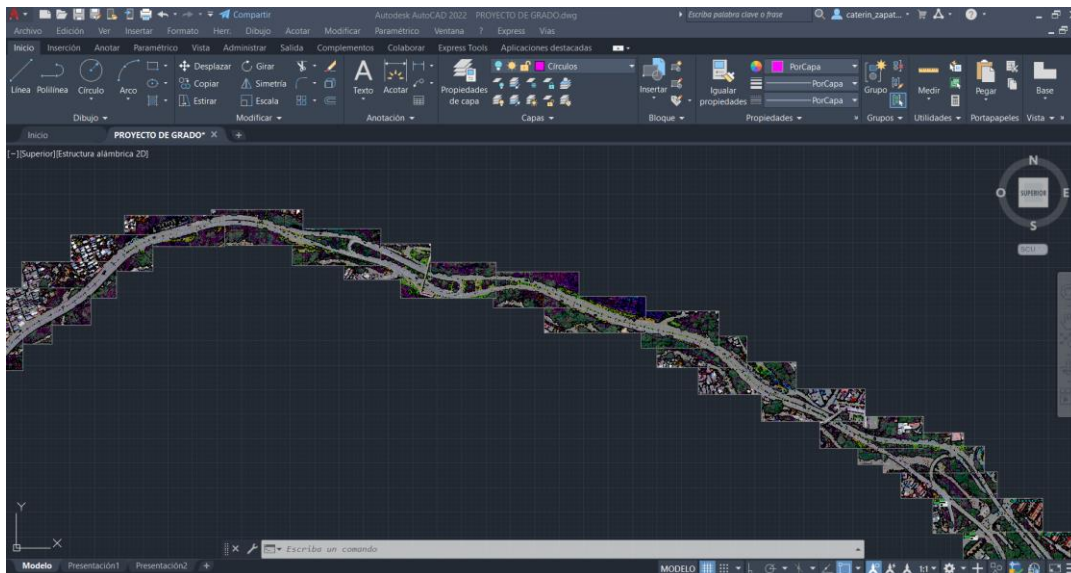


Figura 3. Superposición de fotografías del tramo de estudio en AutoCAD. Fuente: elaboración propia.

Una vez se tuvo el tramo completo de la vía, se procedió a trazar las líneas de tendencia de ambas calzadas, como se muestra en la Figura 4. Al finalizar este procedimiento, con el fin de estimar los valores de velocidad con que se diseñó la vía, se dibujaron las cuerdas largas, tangentes y deflexiones correspondientes a cada curva. Un ejemplo de esto se observa en la Figura 5.

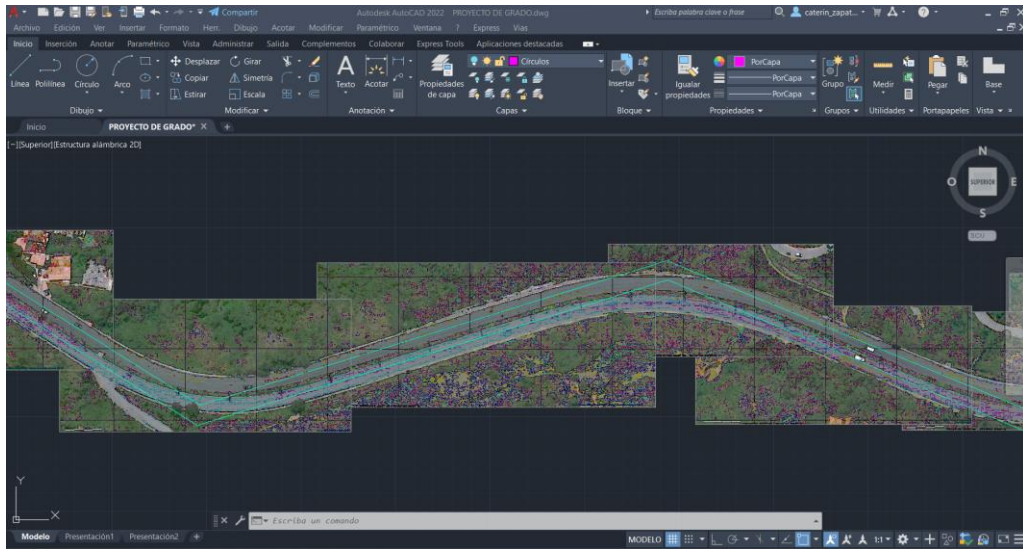


Figura 4. Líneas de tendencia. Fuente: elaboración propia.

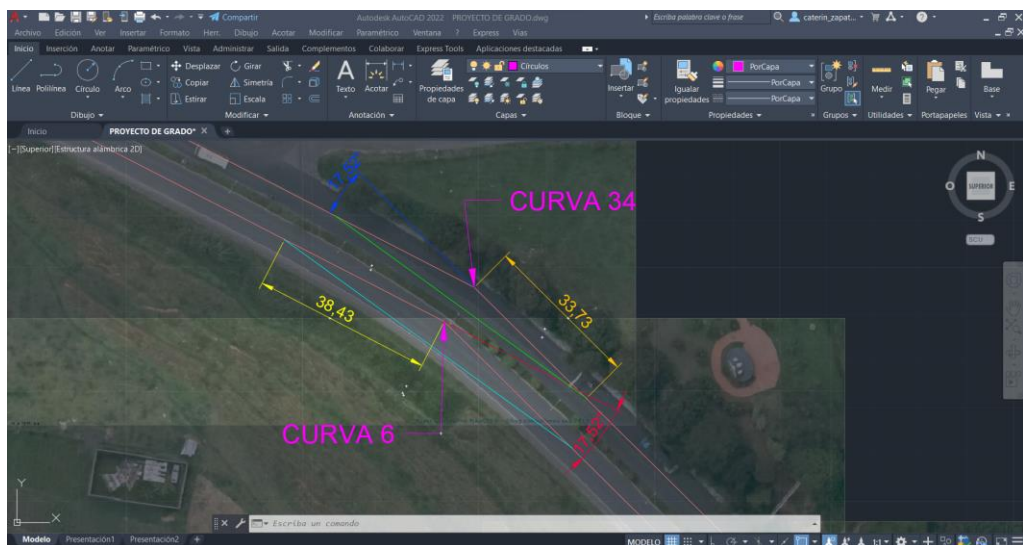


Figura 5. Parámetros geométricos del trazado. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se tabularon los datos geométricos obtenidos para cada curva en ambas calzadas: ángulo de deflexión, tangente. Posteriormente, con base en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (Instituto Nacional de Vías, 2008) del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), se calcularon los valores de radio de giro para todas las curvas y con estos la velocidad específica. Para ello se emplearon las ecuaciones 1 y 2. Los valores correspondientes al peralte máximo y la fricción transversal máxima se tomaron de la Tabla 1.

$$R = T \tan^{-1} \left(\frac{\Delta}{2} \right) \quad (1) ;$$

Donde:

T: tangente del empalme en metros.

R: radio de giro de la curva.

Δ : ángulo de deflexión de la curva.

$$V_{ch} = (127 R_{cmin} * e_{máx} * f_{Tmáx})^{1/2} \quad (2) ;$$

Donde:

V_{ch}: velocidad específica de la curva.

R: radio de giro de la curva.

e_{máx}: peralte máximo.

f_{Tmáx}: fricción transversal máxima.

Tabla 1. Radios de giro mínimos para peralte máximo de 8 %. Fuente: INVIAS.

VELOCIDAD ESPECÍFICA (V _{ch}) (km/h)	PERALTE MÁXIMO (%)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL f _{Tmáx}	TOTAL e _{máx} + f _{Tmáx}	RADIO MÍNIMO (m)	
				CALCULADO	REDONDEADO
40	8,0	0,23	0,31	40,6	41
50	8,0	0,19	0,27	72,9	73
60	8,0	0,17	0,25	113,4	113
70	8,0	0,15	0,23	167,8	168
80	8,0	0,14	0,22	229,1	229
90	8,0	0,13	0,21	303,7	304
100	8,0	0,12	0,20	393,7	394
110	8,0	0,11	0,19	501,5	501
120	8,0	0,09	0,17	667,0	667
130	8,0	0,08	0,16	831,7	832

Con base en los valores estimados para la velocidad específica en cada curva y el radio de curvatura correspondiente, se realizó una comparación con los valores mínimos para una velocidad de diseño de 60 km/h según el manual de diseño geométrico de carreteras; para este caso, el radio de giro mínimo es de 113 metros. Es importante resaltar que la velocidad máxima permitida en todo el tramo de la vía es de 60 km/h y por esta razón fue elegido este valor. Este procedimiento se llevó a cabo con el fin de verificar si todas las curvas de la vía de estudio cumplían con los valores mínimos de seguridad en cuanto al diseño geométrico y, de igual manera, analizar cuáles son aquellos tramos en los que, dadas unas condiciones límites, podrían estar relacionados con la incidentalidad vial.

El último paso de este análisis geométrico de la vía fue el de realizar una comparación entre estos valores estimados de forma manual y la información plasmada en planos oficiales. Para esto se hizo uso de las planchas facilitadas por la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Antioquia. En la Figura 6 es mostrada una parte de uno de los planos. El objetivo de este procedimiento fue el de verificar los valores calculados con anterioridad y estimar un error.

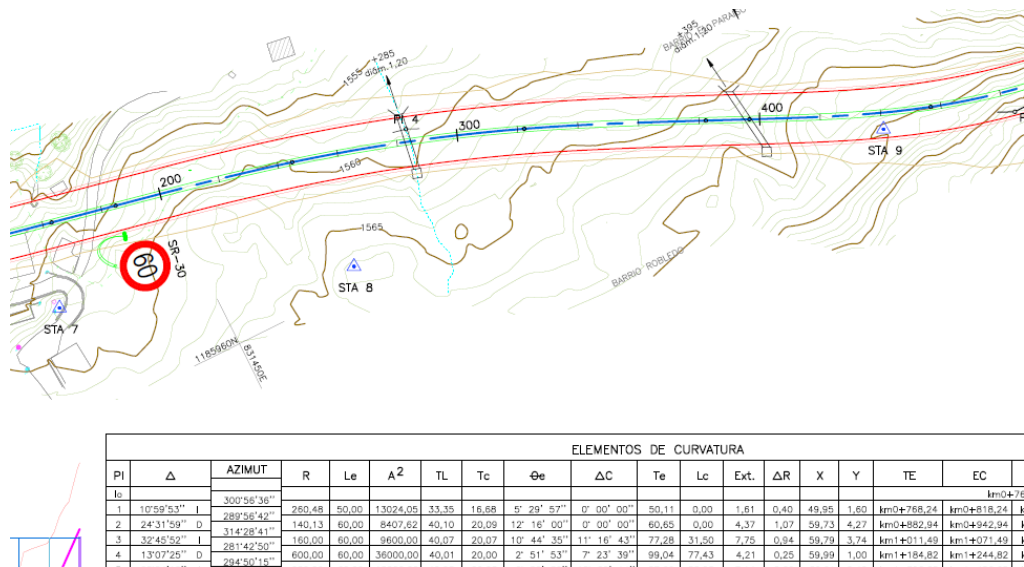


Figura 6. Plano oficial de la vía. Fuente: Gobernación de Antioquia.

De estos planos fue posible obtener los valores de diseño correspondientes para la deflexión y radio de curvatura de cada curva. El error se estimó al comparar la deflexión de diseño con la que

se obtuvo a partir de la superposición de imágenes de la ortofoto. Para este cálculo se utilizó la ecuación 3.

$$e(\%) = \frac{|\Delta - \Delta_d|}{\Delta} * 100 \quad (3)$$

Donde:

e: error en porcentaje.

Δ : deflexión estimada a partir de la ortofoto.

Δ_d : deflexión del diseño oficial.

Es importante mencionar que para este paso se contó con planos correspondientes al tramo de la vía entre el kilómetro 0 y el kilómetro 4+200. Los diseños pertenecientes al tramo que va desde el kilómetro 4+200 y el Túnel Fernando Gómez Martínez se encuentran bajo custodia de Devimar y, aunque fueron solicitados, no fue posible que estos se entregaran dado que pertenecen al proyecto Mar 1, que aún se encuentra en ejecución. Por esta razón, estos cálculos no se llevaron a cabo para la totalidad de las curvas.

3.2 Etapa 2: análisis de incidentalidad del tramo de estudio.

Para la elaboración del análisis de incidentalidad se tomó como recurso base la información suministrada por el Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad de Medellín (SMM). Para este estudio fueron proporcionados registros de incidentes en el período 2014 – 2021, de los cuales se contó con la ubicación geográfica de cada evento, el tipo de incidente y la fecha. Con esto fue posible realizar un mapa de calor por medio del software ArcGIS Pro, que permitió la visualización de los puntos de mayor incidentalidad en la vía de estudio. Para ello, cada registro cuenta con la ubicación geográfica en coordenadas MAGNA Medellín 2010; de esta manera, cada incidente se georreferenció, como se observa en la Figura 7. Con este paso realizado es posible utilizar la función propia de este programa para crear el mapa de calor y que se muestra en la sección 4.2 del presente informe.

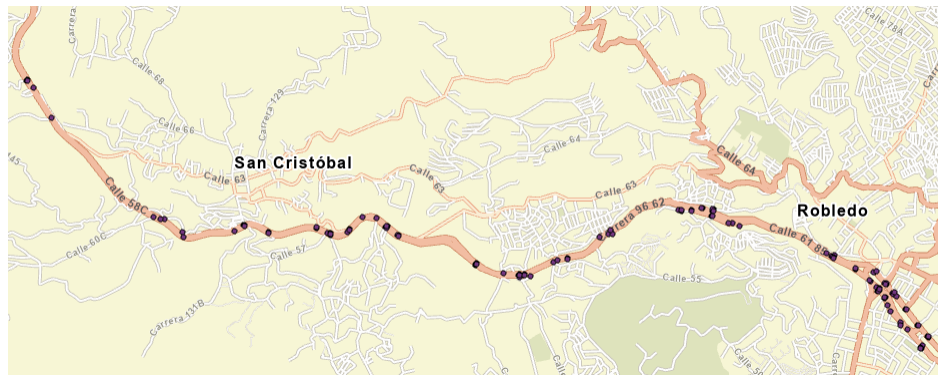


Figura 7. Georreferenciación de incidentes. Fuente: elaboración propia.

De igual manera, se elaboró un análisis con tablas dinámicas en Microsoft Excel en el que se tuvieron en cuenta factores tales como la evolución de la incidentalidad de forma anual, mensual y trimestral; así como una clasificación según el tipo de incidente.

3.3 Etapa 3: análisis del entorno de la vía.

Para el desarrollo del análisis del entorno de la vía, se realizó una visita al tramo de estudio. El recorrido se llevó a cabo iniciando en el kilómetro cero, yendo hasta el último punto de retorno en la entrada a la vereda El Uvito, poco antes del peaje en la entrada al túnel Fernando Gómez Martínez, y regresando posteriormente por la calzada de descenso hacia el barrio Los Colores. Durante el trayecto se tomaron tanto registros fotográficos como una grabación en video de todo el camino. Se tuvieron en cuenta factores tales como el estado de la carpeta asfáltica, el comportamiento de los peatones y demás actores viales, los accesos a la vía, señalización horizontal y vertical, entre otros aspectos que pudieran ser relevantes para este estudio.

3.4 Etapa 4: elaboración de un informe diagnóstico.

Con base en toda la información obtenida y los análisis realizados, se elaboró un informe diagnóstico que se presentó a la SMM. En este se plasmaron los hallazgos más importantes aquí contenidos.

4 Resultados

4.1 Etapa 1: análisis geométrico del trazado de la vía de estudio.

Como un primer resultado de la etapa 1 se obtuvo el tramo de la vía de estudio, la conexión Guillermo Gaviria Correa, entre la carrera 77 con calle 60, en el barrio Los Colores, y la entrada al Túnel Fernando Gómez Martínez. La superposición de fragmentos de la ortofoto, realizada en AutoCAD, fue el paso inicial para obtener el trazado del eje de la vía. Un ejemplo del resultado obtenido se observa en la Figura 8.

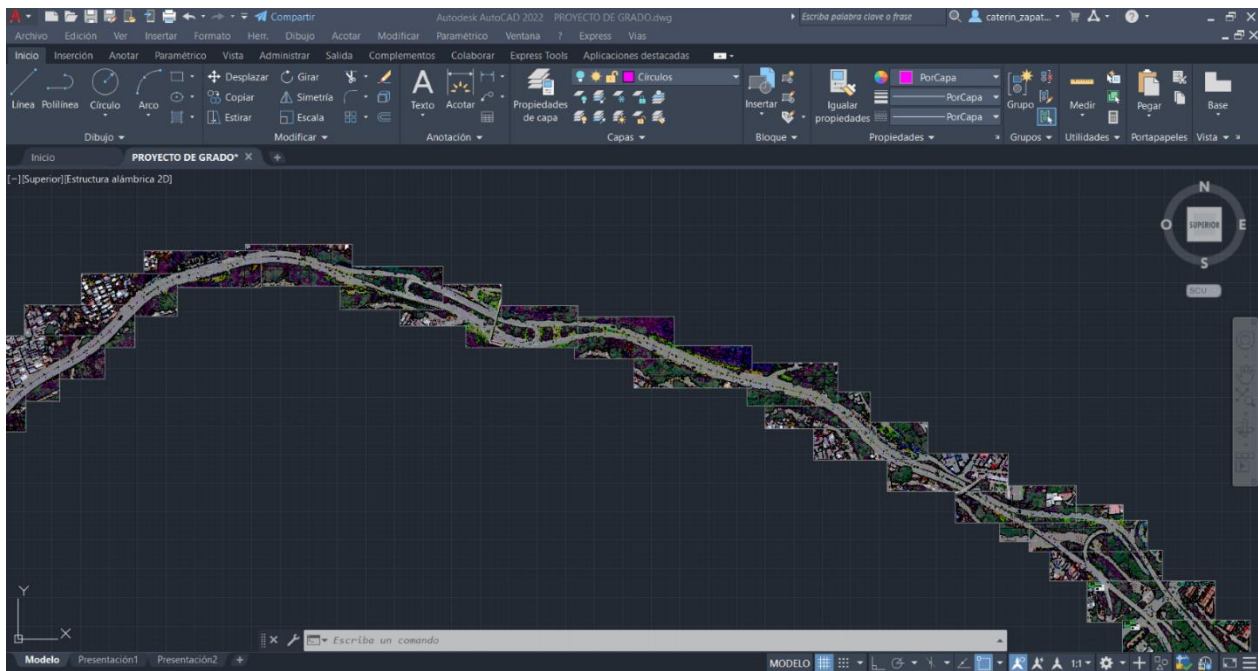


Figura 8. Superposición imágenes de la ortofoto. Fuente: elaboración propia.

Sobre la superposición de imágenes del tramo, fue posible realizar el trazado de las líneas de tendencia de cada calzada de la vía. Un ejemplo del resultado que se obtuvo se muestra en la Figura 9.

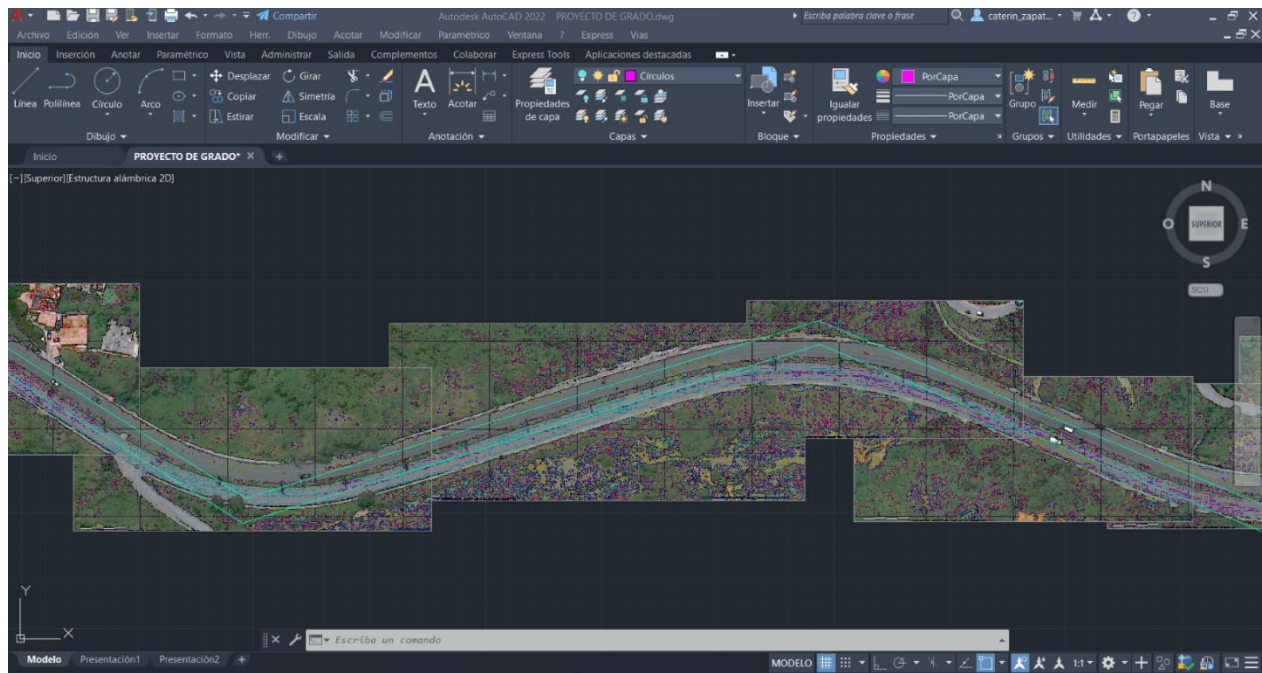


Figura 9. Líneas de tendencia de la vía. Fuente: elaboración propia.

Las medidas y cálculos de los parámetros geométricos tomados a partir de las líneas de tendencia fueron tabulados. En la Tabla 2 se observan los valores correspondientes a las curvas de la calzada ascendente; y en la Tabla 3 se encuentran los obtenidos para la calzada descendente. En estas se tienen las deflexiones (Δ), tangente (T), radio de giro (R_c), porcentaje de peralte (e), fricción transversal máxima ($f_{m\acute{a}x}$), y velocidad de la curva (V_d).

Tabla 2. Parámetros geométricos Sur - Norte. Fuente: elaboración propia.

CURVAS S-N	Δ°	Δ Rad	T	RC	e (%)	$F_{t_{m\acute{a}x}}$	V_d
1	5.57	0.10	73.13	1503.32	8%	0.08	174.78
2	4.78	0.08	56.30	1348.90	8%	0.08	165.56
3	9.39	0.16	36.51	444.55	8%	0.12	106.26
4	57.42	1.00	74.84	136.64	8%	0.17	65.87
5	29.26	0.51	42.86	164.19	8%	0.15	69.25
6	10.45	0.18	29.58	323.47	8%	0.13	92.88
7	25.31	0.44	50.86	226.51	8%	0.15	81.34
8	33.72	0.59	62.73	206.99	8%	0.15	77.76
9	13.45	0.23	77.28	655.39	8%	0.11	125.76

CURVAS S-N	Δ°	Δ Rad	T	RC	e (%)	Ft _{máx}	V _d
10	25.69	0.45	60.80	266.64	8%	0.14	86.31
11	27.38	0.48	47.23	193.89	8%	0.15	75.26
12	24.67	0.43	41.94	191.79	8%	0.15	74.85
13	15.43	0.27	37.21	274.67	8%	0.14	87.60
14	33.52	0.59	71.87	238.65	8%	0.14	81.66
15	29.81	0.52	53.84	202.27	8%	0.15	76.87
16	17.33	0.30	39.99	262.41	8%	0.14	85.63
17	17.58	0.31	29.05	187.87	8%	0.15	74.08
18	34.48	0.60	76.29	245.85	8%	0.14	82.88
19	18.15	0.32	44.74	280.10	8%	0.14	88.47
20	30.32	0.53	43.64	161.07	8%	0.17	71.51
21	36.95	0.64	92.24	276.08	8%	0.14	87.83
22	14.2	0.25	37.11	297.94	8%	0.14	91.24
23	63.27	1.10	82.24	133.50	8%	0.17	65.10
24	27.75	0.48	47.93	194.04	8%	0.15	75.29
25	26.95	0.47	75.42	314.75	8%	0.13	91.62
26	94.6	1.65	156.15	144.09	8%	0.17	67.64
27	73.78	1.29	91.79	122.30	8%	0.17	62.31
28	39.58	0.69	80.19	222.86	8%	0.15	80.68
29	49.36	0.86	57.98	126.17	8%	0.17	63.29
30	58.15	1.01	85.04	152.94	8%	0.17	69.68
31	25.96	0.45	42.23	183.21	8%	0.15	73.15
32	16.31	0.28	33.99	237.19	8%	0.14	81.41
33	61.02	1.06	65.37	110.93	8%	0.19	61.68
34	17.52	0.31	33.73	218.89	8%	0.15	79.96
35	25.24	0.44	50.30	224.66	8%	0.15	81.01
36	11.52	0.20	76.76	760.97	8%	0.08	124.35
37	17.06	0.30	60.13	400.90	8%	0.12	100.91
38	71.79	1.25	168.82	233.26	8%	0.14	80.73
39	75.39	1.32	119.70	154.90	8%	0.17	70.13

Tabla 3. Parámetros geométricos Norte - Sur. Fuente: elaboración propia.

CURVAS N-S	Δ°	Δ Rad	T	RC	e (%)	Ft _{máx}	V _d
1	75.39	1.32	114.06	147.60	8%	0.17	68.46
2	71.79	1.25	167.47	231.39	8%	0.14	80.41

CURVAS N-S	Δ°	Δ Rad	T	RC	e (%)	Ft _{máx}	V _d
3	17.06	0.30	44.97	299.83	8%	0.14	91.53
4	11.02	0.19	127.60	1322.76	8%	0.08	163.95
5	25.74	0.45	48.59	212.67	8%	0.15	78.82
6	17.52	0.31	38.43	249.39	8%	0.14	83.47
7	61.02	1.06	81.12	137.66	8%	0.17	66.11
8	16.31	0.28	39.45	275.30	8%	0.14	87.70
9	25.96	0.45	47.04	204.08	8%	0.15	77.21
10	58.15	1.01	76.16	136.97	8%	0.17	65.95
11	49.36	0.86	63.89	139.03	8%	0.17	66.44
12	40.08	0.70	75.11	205.92	8%	0.15	77.56
13	74.28	1.30	101.49	134.00	8%	0.17	65.23
14	94.1	1.64	130.16	121.16	8%	0.17	62.02
15	25.95	0.45	66.14	287.06	8%	0.14	89.56
16	26.65	0.47	51.82	218.79	8%	0.15	79.94
17	52.31	0.91	85.60	174.31	8%	0.15	71.35
18	5.34	0.09	43.57	934.30	8%	0.08	137.79
19	36.45	0.64	84.18	255.66	8%	0.14	84.52
20	30.32	0.53	49.58	182.99	8%	0.15	73.11
21	17.95	0.31	45.98	291.13	8%	0.13	88.12
22	34.28	0.60	62.28	201.94	8%	0.15	76.80
23	17.78	0.31	26.98	172.49	8%	0.15	70.98
24	17.53	0.31	41.01	265.98	8%	0.14	86.21
25	29.81	0.52	51.00	191.60	8%	0.15	74.81
26	34.52	0.60	76.73	246.96	8%	0.14	83.07
27	3.96	0.07	55.35	1601.04	8%	0.08	180.37
28	15.32	0.27	36.53	271.61	8%	0.14	87.11
29	42.21	0.74	50.24	130.17	8%	0.17	64.29
30	37.3	0.65	67.54	200.11	8%	0.15	76.45
31	13.45	0.23	66.86	567.02	8%	0.11	116.97
32	33.72	0.59	55.52	183.20	8%	0.15	73.15
33	25.31	0.44	57.55	256.31	8%	0.14	84.62
34	10.65	0.19	24.10	258.56	8%	0.14	85.00
35	3.27	0.06	11.85	415.15	8%	0.12	102.69
36	11.21	0.20	36.09	367.74	8%	0.13	99.03
37	30.81	0.54	49.49	179.61	8%	0.15	72.43
38	20.37	0.36	37.28	207.51	8%	0.15	77.85

CURVAS N-S	Δ°	Δ Rad	T	RC	e (%)	Ft _{máx}	V _d
39	1.61	0.03	30.86	2196.31	8%	0.08	211.26

En las tablas 4 y 5 se muestran los errores calculados al comparar las deflexiones obtenidas a partir de la superposición de imágenes y las pertenecientes a los planos oficiales de la Gobernación de Antioquia. En ambas, la columna Δ° corresponde a los valores obtenidos en AutoCAD, mientras que para “ Δ° Diseño”, aplica para los que fueron recuperados de las planchas del diseño original. De igual manera, se pueden observar los valores calculados tanto de la velocidad estimada a partir de la ortofoto (V_d), y la velocidad que pudo calcularse a partir de los planos oficiales (V Diseño).

Tabla 4. Comparación de valores curvas norte - sur. Fuente: elaboración propia.

CURVAS N-S	Δ°	Δ° Diseño	% error	V _d	V Diseño
16	26.65	25.65	3.9%	79.94	75.40
17	52.31	51.06	2.4%	71.35	65.16
18	5.34	4.79	11.5%	137.79	156.41
19	36.45	36.34	0.3%	84.52	78.40
20	30.32	30.52	0.7%	73.11	68.36
21	17.95	18.19	1.3%	88.12	86.42
22	34.28	34.19	0.3%	76.80	76.43
23	17.78	18.14	2.0%	70.98	70.59
24	17.53	17.65	0.7%	86.21	69.34
25	29.81	29.61	0.7%	74.81	62.91
26	34.52	33.88	1.9%	83.07	76.60
27	3.96	NA	NA	180.37	NA
28	15.32	NA	NA	87.11	NA
29	42.21	NA	NA	64.29	NA
30	37.3	NA	NA	76.45	NA
31	13.45	13.12	2.5%	116.97	120.32
32	33.72	32.76	2.9%	73.15	68.36
33	25.31	24.53	3.2%	84.62	62.57
34	10.65	10.99	3.1%	85.00	85.31
35	3.27	3.63	9.9%	102.69	123.45
36	11.21	11.01	1.8%	99.03	95.75

CURVAS N-S	Δ°	Δ° Diseño	% error	V_d	V Diseño
37	30.81	31.07	0.8%	72.43	70.86
38	20.37	21.14	3.6%	77.85	76.24

Tabla 5. Comparación de valores curvas sur - norte. Fuente: elaboración propia.

CURVAS S-N	Δ°	Δ° Diseño	% error	V_d	V Diseño
1	5.57	7.21	22.7%	174.78	78.08
2	4.78	2.83	68.9%	165.56	142.55
3	9.39	9.35	0.4%	106.26	112.69
4	57.42	56.51	1.6%	65.87	60.43
5	29.26	29.18	0.3%	69.25	59.63
6	10.45	10.99	4.9%	92.88	83.35
7	25.31	24.53	3.2%	81.34	63.98
8	33.72	32.76	2.9%	77.76	68.36
9	13.45	13.12	2.5%	125.76	120.32
10	25.69	25.91	0.8%	86.31	83.58
11	27.38	27.39	0.0%	75.26	65.39
12	24.67	18.37	34%	74.85	72.70
13	15.43	10.23	51%	87.60	92.84
14	33.52	33.88	1%	81.66	76.60
15	29.81	29.61	1%	76.87	62.91
16	17.33	17.65	1.8%	85.63	69.34
17	17.58	18.14	3.1%	74.08	70.59
18	34.48	34.19	0.8%	82.88	74.75
19	18.15	18.19	0.2%	88.47	88.45
20	30.32	30.52	0.7%	71.51	71.27
21	36.95	36.34	1.7%	87.83	78.40
22	14.2	14.63	2.9%	91.24	81.04
23	63.27	63.64	0.6%	65.10	61.73
24	27.75	28.05	1.1%	75.29	62.28

Por otra parte, es importante resaltar que, en el caso de las curvas norte sur (Tabla 4), se halló una incongruencia entre el diseño en los planos y la vía construida. En el tramo del kilómetro 0+800 y el kilómetro 1+500 fue construido un retorno; no obstante, este no se ve reflejado en la plancha correspondiente, como puede observarse en las Figuras 10 y 11. Por este motivo, para las curvas 27, 28, 29 y 30 de la calzada descendente no fue posible realizar ninguna comparación; sin embargo, para la calzada ascendente, sí hubo coincidencia entre el diseño y la construcción.

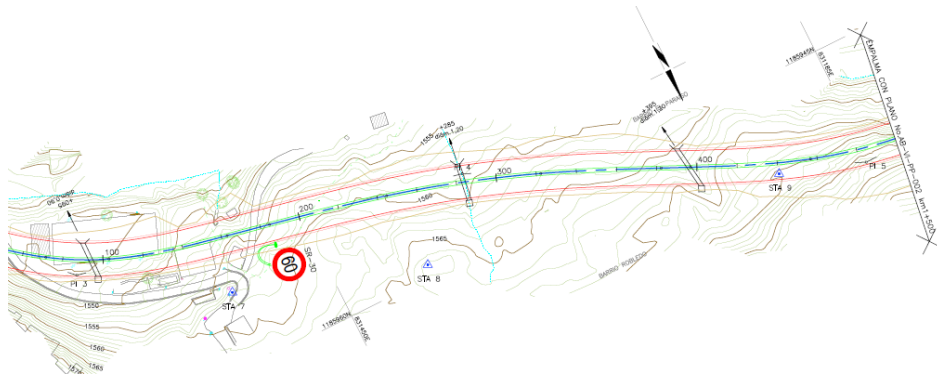


Figura 10. Sección no coincidente entre plano de diseño y vía construida. Fuente: Gobernación de Antioquia.



Figura 11. Sección no coincidente entre vía construida y plano de diseño. Fuente: MapGIS.

Finalmente, a partir de los errores calculados, se estimaron los promedios para ambas calzadas y, así mismo, el error promedio general. En el caso de las curvas norte – sur, el error fue del 2,8 %; para las calzada sur – norte, del 8,7 %; para un error general promedio del 5,7 %.

4.2 Etapa 2: análisis de incidentalidad del tramo de estudio.

El mapa de calor de incidentalidad obtenido a partir de los registros proporcionados por el Observatorio de Movilidad de la SMM se puede observar en la Figura 12. En este, los puntos amarillos son cada uno de los incidentes georreferenciados. La escala de colores del mapa crece desde el lila (tonalidad correspondiente a una densidad baja) hacia el azul (mayor concentración de puntos).

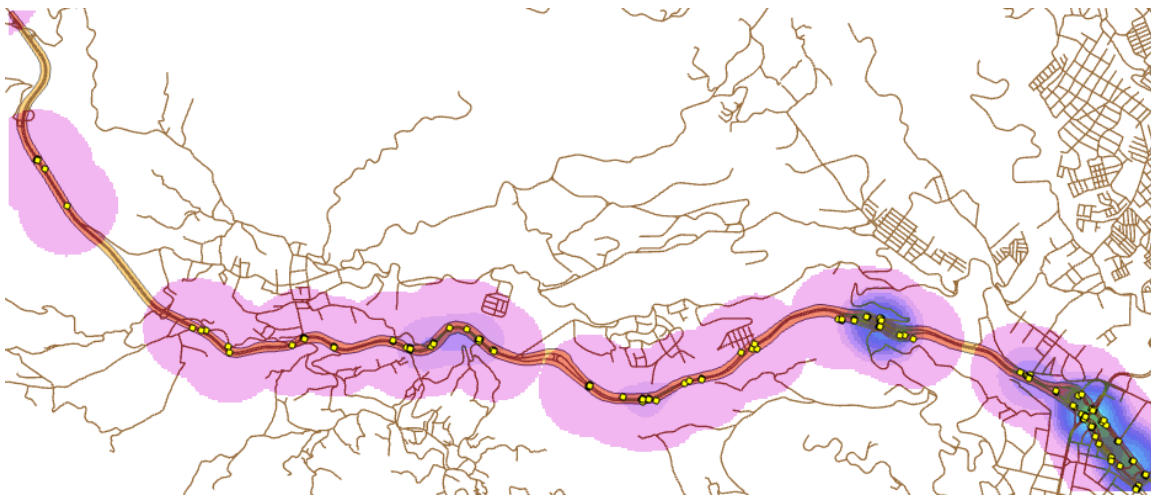


Figura 12. Mapa de calor de incidentalidad. Fuente: elaboración propia.

Según el registro de incidentes del Observatorio de Movilidad de la Secretaría de Movilidad de Medellín (SMM), se presentaron en el periodo 2014-2021 un total de 1232 incidentes en el tramo de la vía en estudio. A partir de estos registros se obtuvieron varias clasificaciones de forma gráfica, con el fin de analizar más a fondo la información disponible. A continuación, en la Figura 13, se muestra cómo se dividen los incidentes en el área de estudio de acuerdo con su clase.

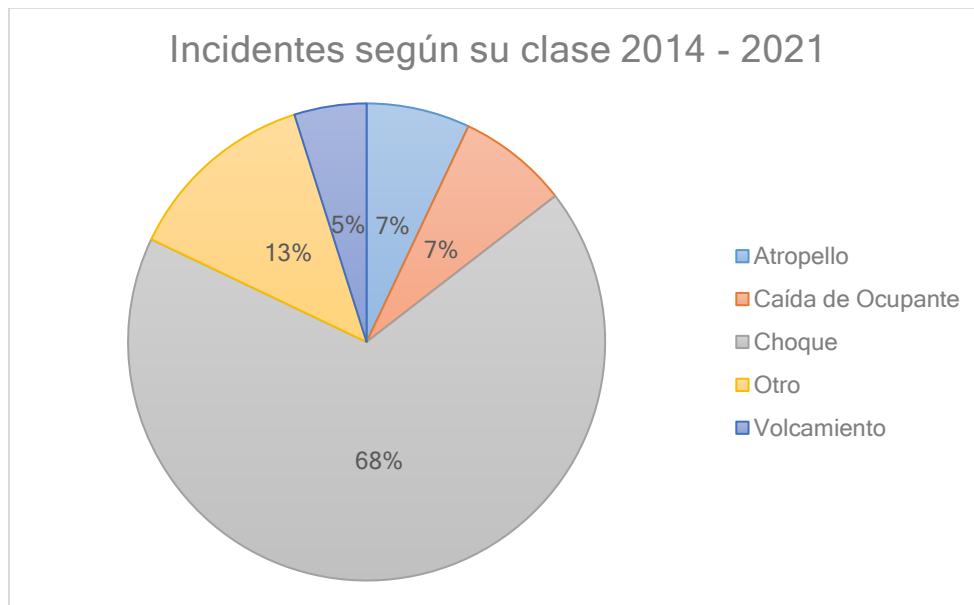


Figura 13. Clasificación de incidentes según su clase. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en la Figura 14 se expone la clasificación de los incidentes según el año. De igual manera, se graficó la progresión del número total anual de estos eventos (Figura 15).

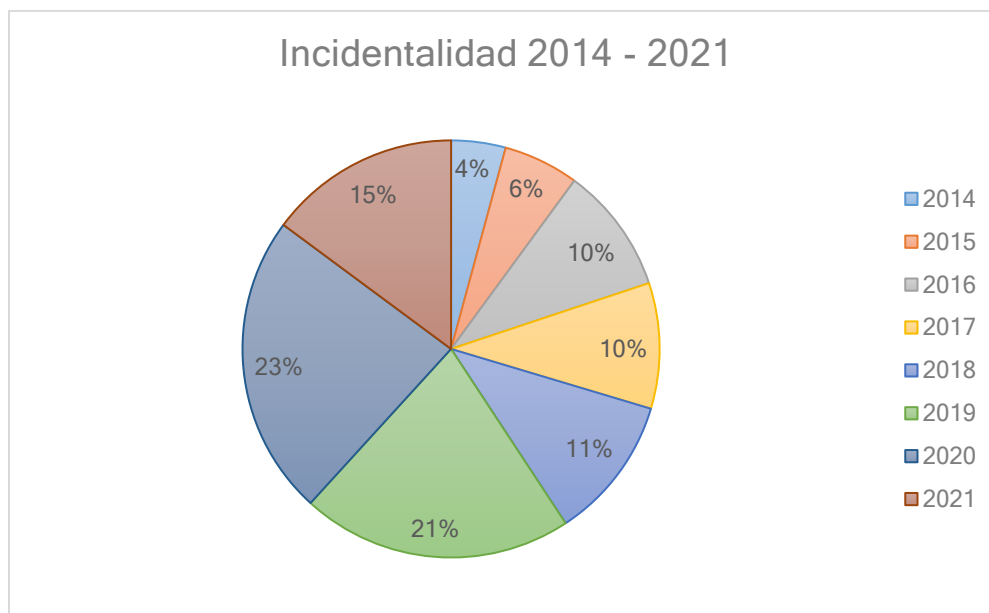


Figura 14. Clasificación de incidentes según el año. Fuente: elaboración propia.

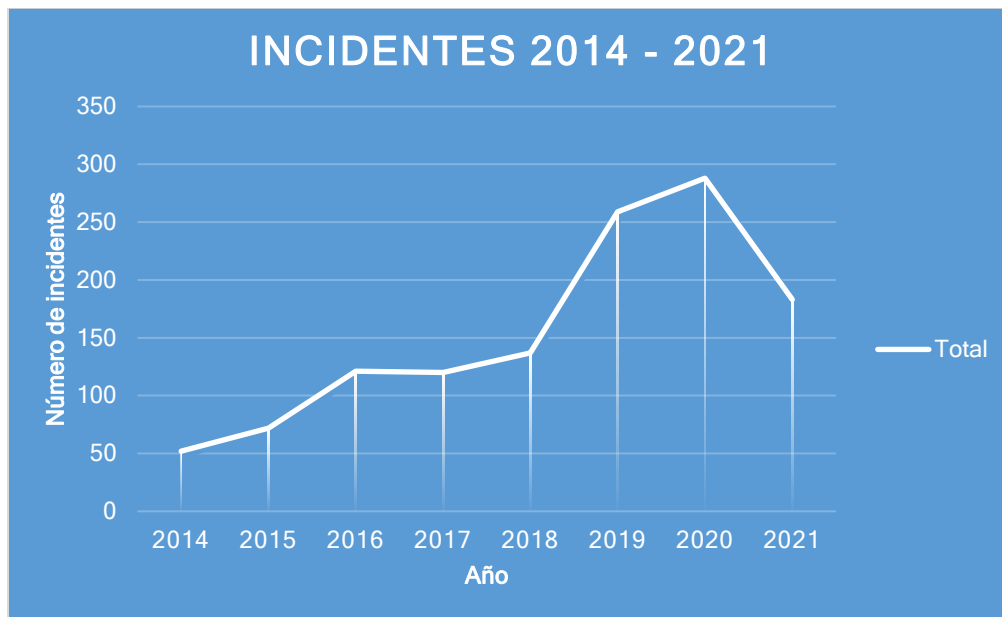


Figura 15. Progresión de incidentes 2014 - 2021. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se realizó una progresión de los incidentes en el período 2014 – 2021 según el mes de ocurrencia. El resultado se observa en la Figura 16.

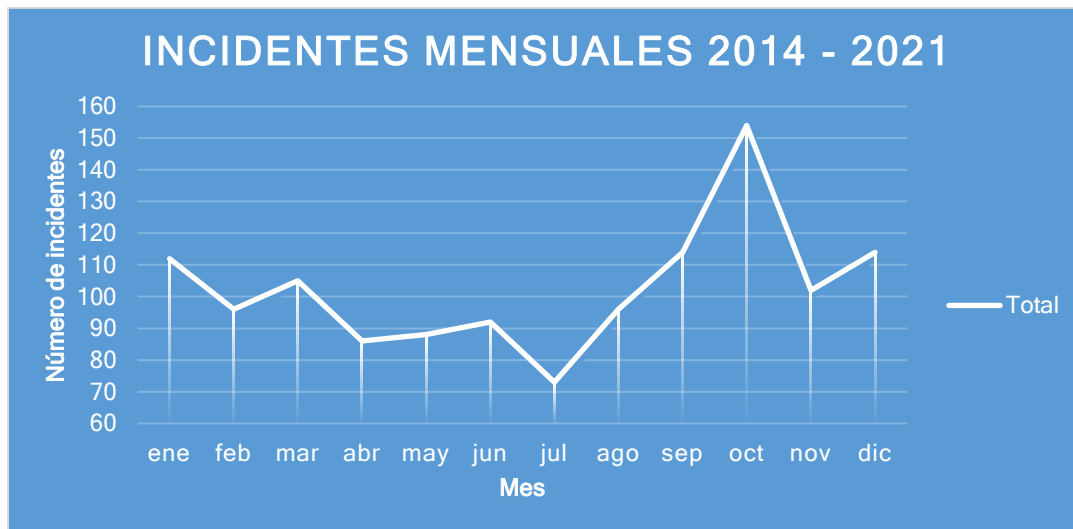


Figura 16. Incidentes 2014 - 2021 según su mes. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan las gráficas de clasificación de incidentes según el trimestre del año. Estos resultados se exponen en las Figuras 17, 18, 19 y 20. De igual manera, se elaboraron progresiones para cada trimestre y se muestran en las Figuras 21, 22, 23, y 24.

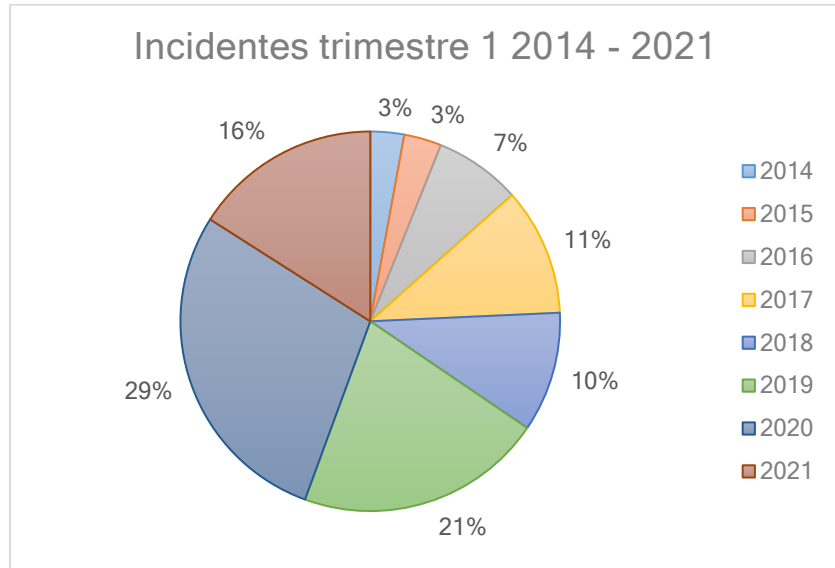


Figura 17. Incidentes anuales Trimestre 1. Fuente: elaboración propia.

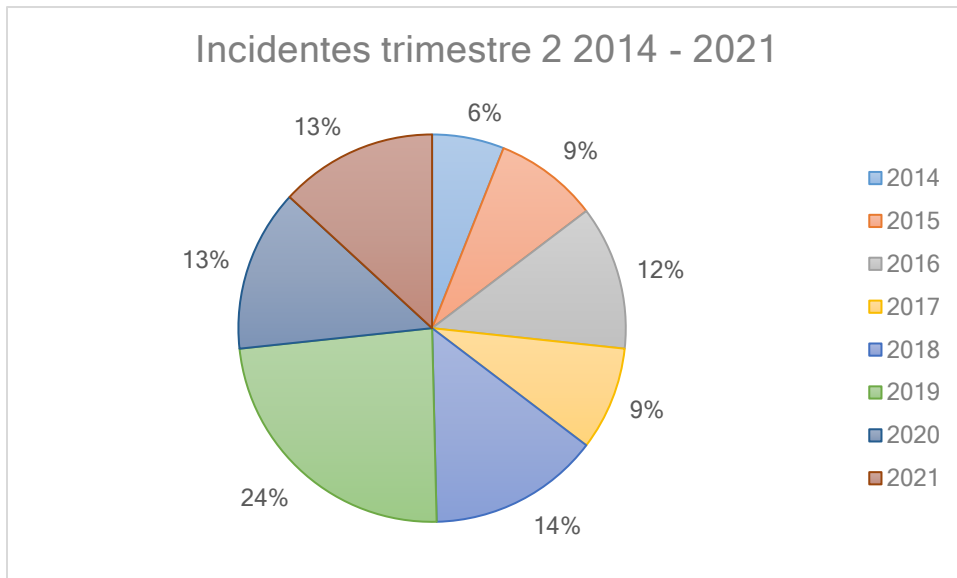


Figura 18. Incidentes anuales Trimestre 2. Fuente: elaboración propia.

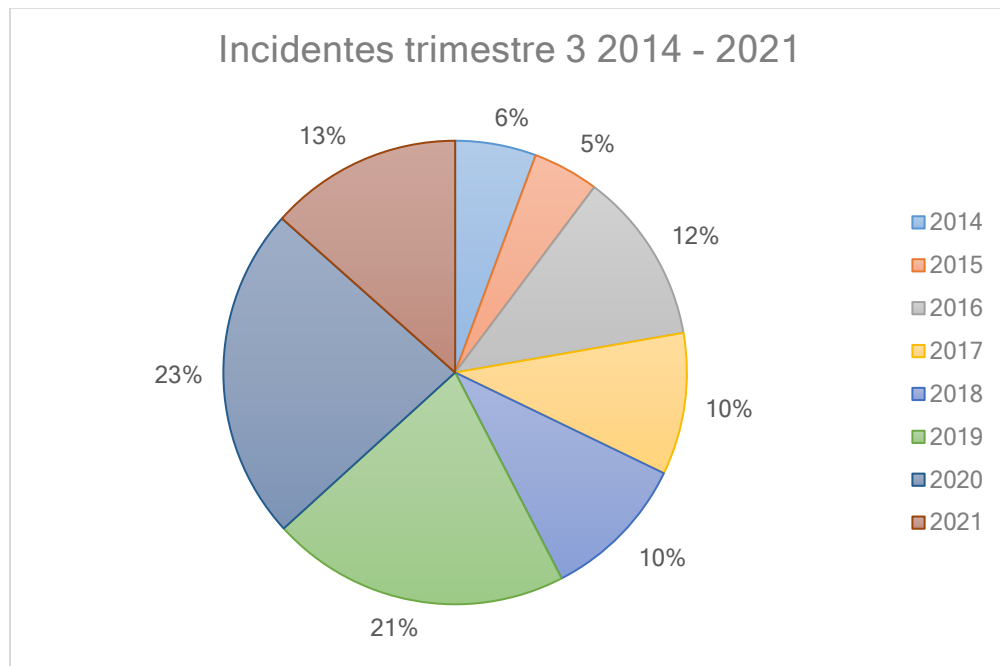


Figura 19. Incidentes anuales Trimestre 3. Fuente: elaboración propia.

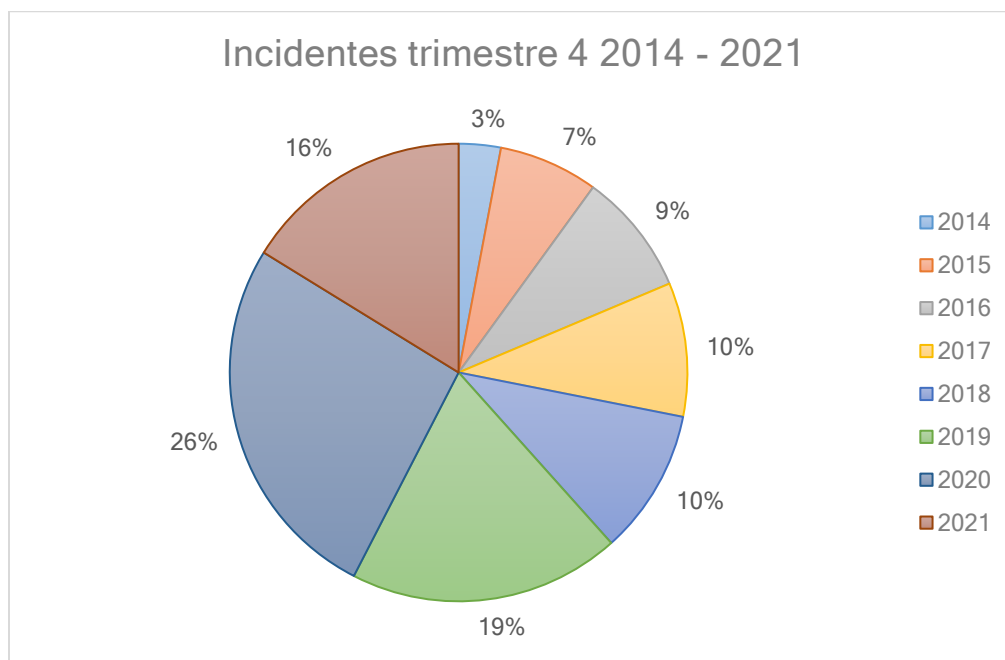


Figura 20. Incidentes anuales Trimestre 4. Fuente: elaboración propia.

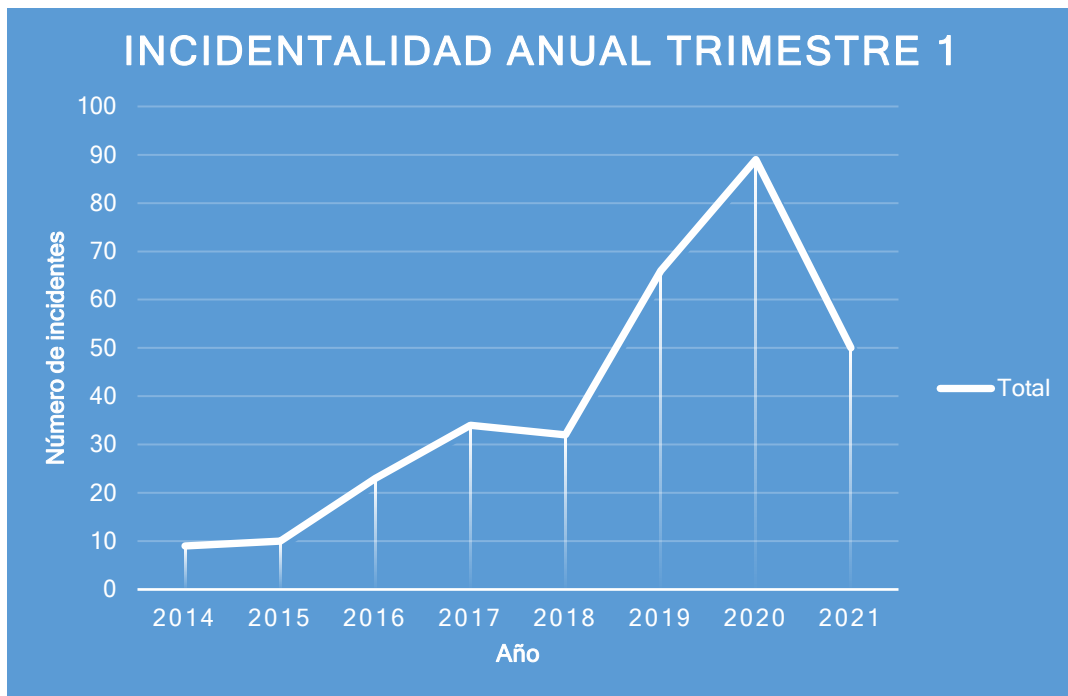


Figura 21. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 1. Fuente: elaboración propia.

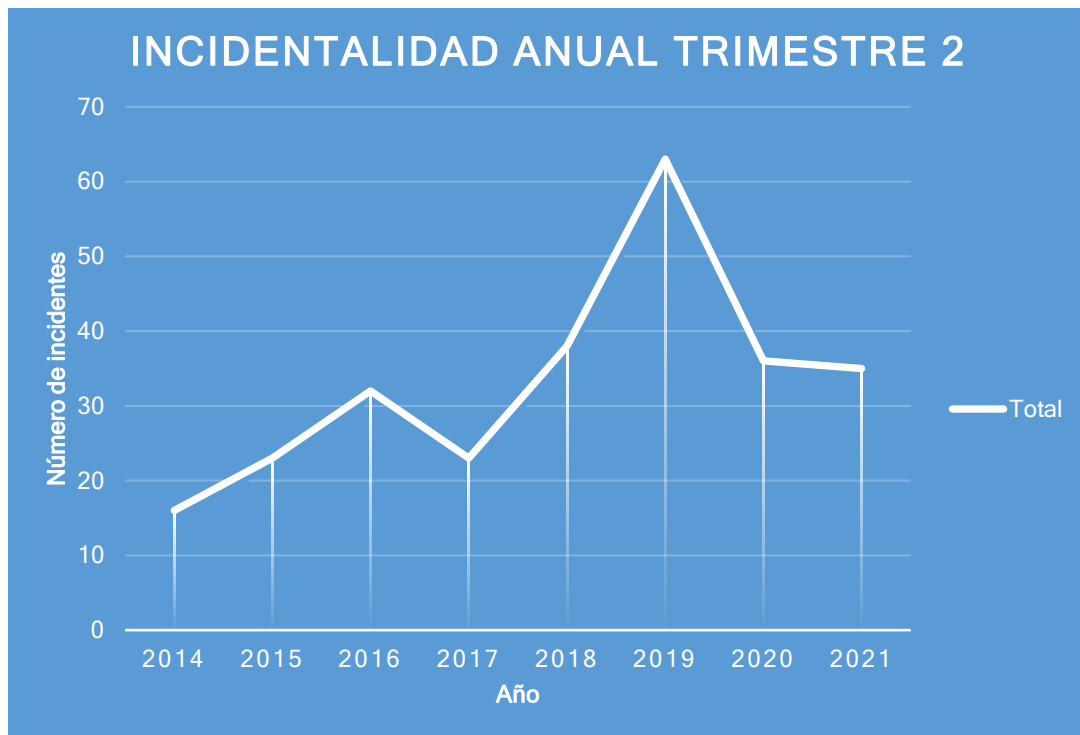


Figura 22. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 2. Fuente: elaboración propia.

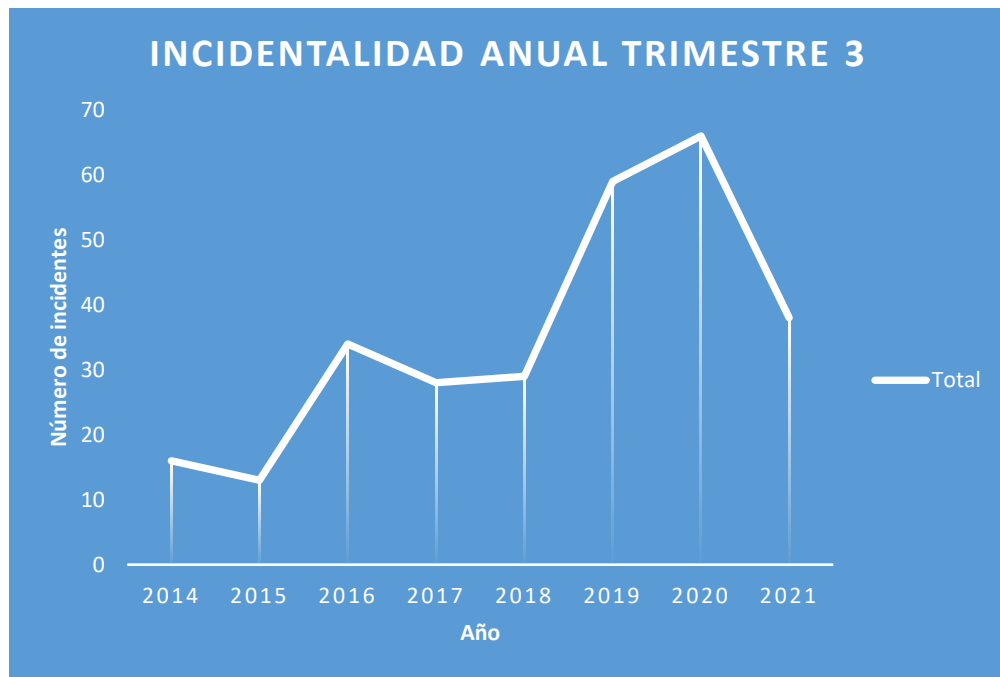


Figura 23. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 3. Fuente: elaboración propia.

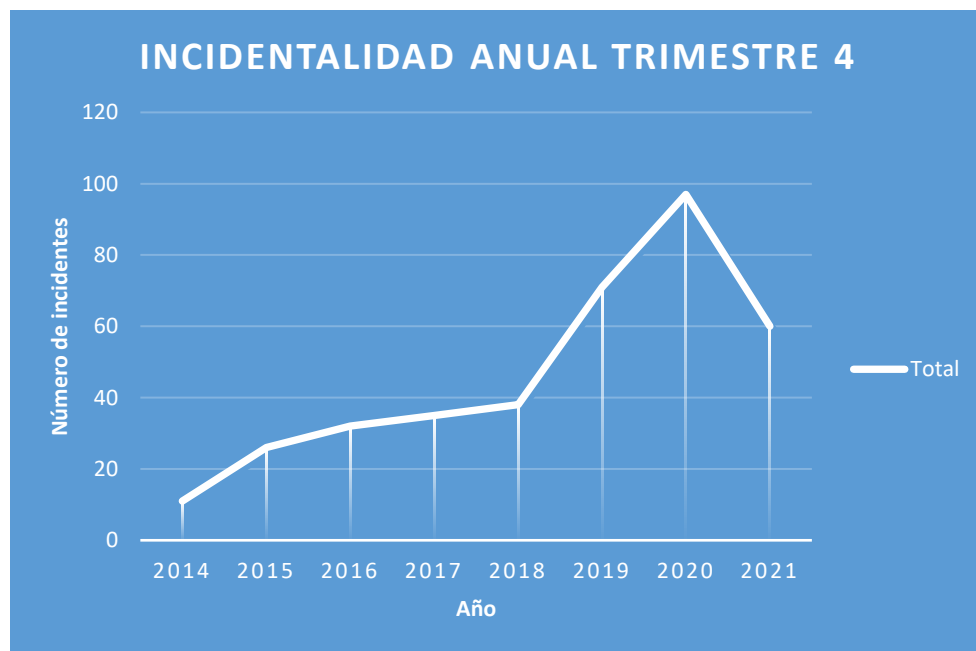


Figura 24. Progresión Incidentalidad anual Trimestre 4. Fuente: elaboración propia.

4.3 Etapa 3: análisis del entorno de la vía

Luego de la realización de la visita técnica en la cual se recorrió la vía de estudio entre el km 0 y el retorno a la altura de la entrada a la vereda El Uvito se obtuvieron varios hallazgos que se exponen a continuación.

En primer lugar, una de las problemáticas evidenciadas durante el recorrido es el asentamiento de viviendas en ambos lados de la vía. En muchos casos se hace notorio que se trata de invasiones, construcciones que no presentan condiciones óptimas, y que no respetan distancias con la carretera e incluso con afluentes como la quebrada la Iguaná. Ejemplos de estas situaciones se pueden observar en las Figuras 25 y 26, fotografías tomadas del registro audiovisual de la visita.

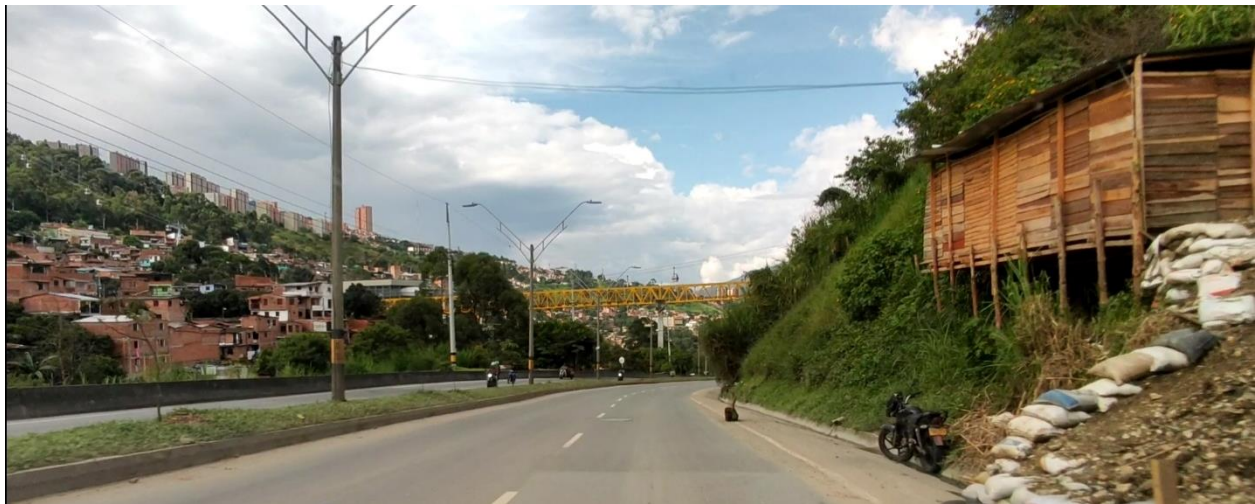


Figura 25. Invasión cercana a la vía. Fuente: elaboración propia.



Figura 26. Asentamientos cercanos a la vía. Fuente: elaboración propia.

Paralelamente, durante el recorrido se observaron diversos accesos directos a la vía. En algunos casos, estos son oficiales, tal como el que se ve en la Figura 27; sin embargo, otros fueron contruidos por la misma comunidad para comunicar sus viviendas o predios con la vía, como puede evidenciarse en la Figura 28.



Figura 27. Acceso oficial. Fuente: elaboración propia.



Figura 28. Acceso a predio. Fuente: elaboración propia.

Así mismo, durante la visita se identificaron varias rutas de transporte público que recorren la vía de estudio. Algunas de estas son de carácter metropolitano y otras intermunicipales. Dentro de las primeras, se observaron la que conecta el corregimiento de San Cristóbal con el centro de la ciudad y, de igual manera, una que conduce hacia la comuna 13 San Javier. Por otra parte, en cuanto a las rutas intermunicipales, se cuenta con la operación hacia el Urabá antioqueño, así como hacia el Occidente del departamento, con destinos tales como Santa Fe de Antioquia, Sopetrán, San Jerónimo, Sabanalarga, Dabeiba, Uramita, Cañasgordas, Turbo, Chigorodó, Mutatá y Montería en el departamento de Córdoba, entre otros, como se evidencia en la Figura 29. De igual manera, rutas de transporte especial con diferentes destinos son frecuentes sobre esta vía (Figura 30).



Figura 29. Rutas de transporte público. Fuente: elaboración propia.



Figura 30. Rutas de transporte especial. Fuente: elaboración propia.

Del mismo modo, sobre esta vía transita un gran volumen de vehículos de carga que transportan mercancía entre el Valle de Aburrá, Urabá, Córdoba y municipios aledaños a estos destinos (Figura 31). Además, se identificó la circulación de vehículos de acarreo de materiales de obra como se evidencia en la Figura 32.



Figura 31. Vehículos de carga. Fuente: elaboración propia.



Figura 32. Acarreo de material de obra. Fuente: elaboración propia.

Otro hallazgo por resaltar es la identificación de un acopio de taxis sobre el acceso de la carrera 93A. Este se encuentra al lado de la calzada de descenso, ocupando uno de los carriles de la vía e incluso parte de la berma de la conexión principal, tal como se evidencia en la Figura 33. Es importante mencionar que, de acuerdo con la última actualización de Geomedellín, a fecha de

enero de 2022, este acopio no se encuentra registrado de manera oficial (Alcaldía de Medellín, 2022).



Figura 33. Acopio de taxis. Fuente: elaboración propia.

De la misma manera, es importante mencionar el caso de la Institución Educativa Las Playas, pues esta posee un acceso directo a la conexión vial, como puede observarse en la Figura 34. De acuerdo con la información de incidentalidad proporcionada por el Observatorio de Movilidad y al mapa de calor elaborado en la Etapa 2, en este lugar se presenta un punto de incidentalidad expuesto en la Figura 35.



Figura 34. Acceso Institución Educativa Las Playas. Fuente: elaboración propia.

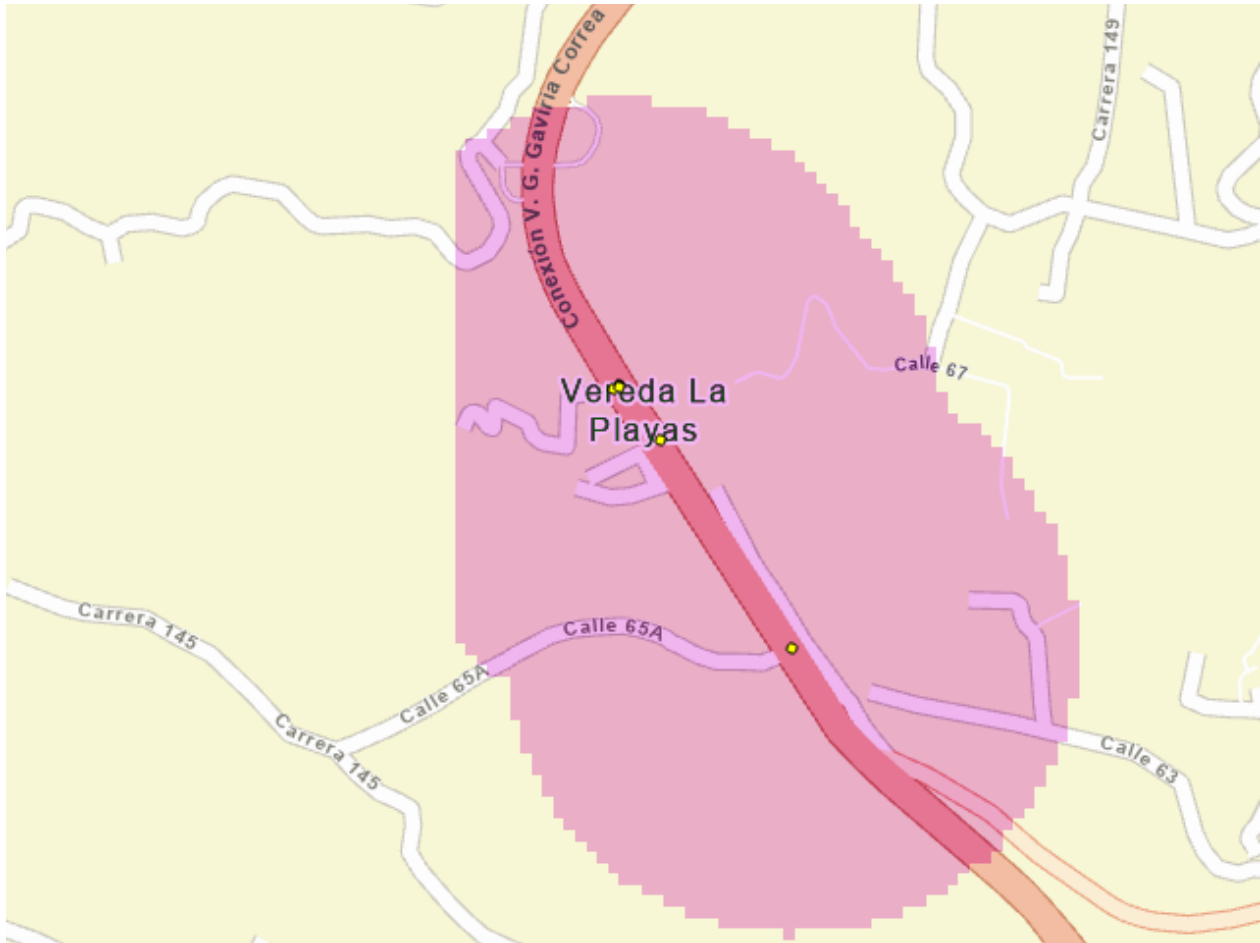


Figura 35. Punto de incidentalidad Colegio Las Playas. Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, uno de los sitios cuya importancia se tenía identificada de forma previa es el acceso en dirección al corregimiento de San Cristóbal, dado que en el análisis hecho en la Etapa 2 se halló un punto de incidentalidad en este lugar como se puede observar en la Figura 36. Dentro de las problemáticas halladas tras la visita realizada se encuentra, en primer lugar, el giro en u que realizan de forma constante todo tipo de vehículos, hecho evidenciado en las Figura 32 y 37; así mismo, se cuenta con un aforo contratado por la SMM realizado en 2021 en esta intersección. Este conteo vehicular se llevó a cabo entre las 6:00 y las 22:00 en dos jornadas correspondientes a un martes y un sábado. Dentro de los resultados de interés, se tiene que la maniobra de giro en u, promediando ambas jornadas, es realizado por 4281 vehículos.

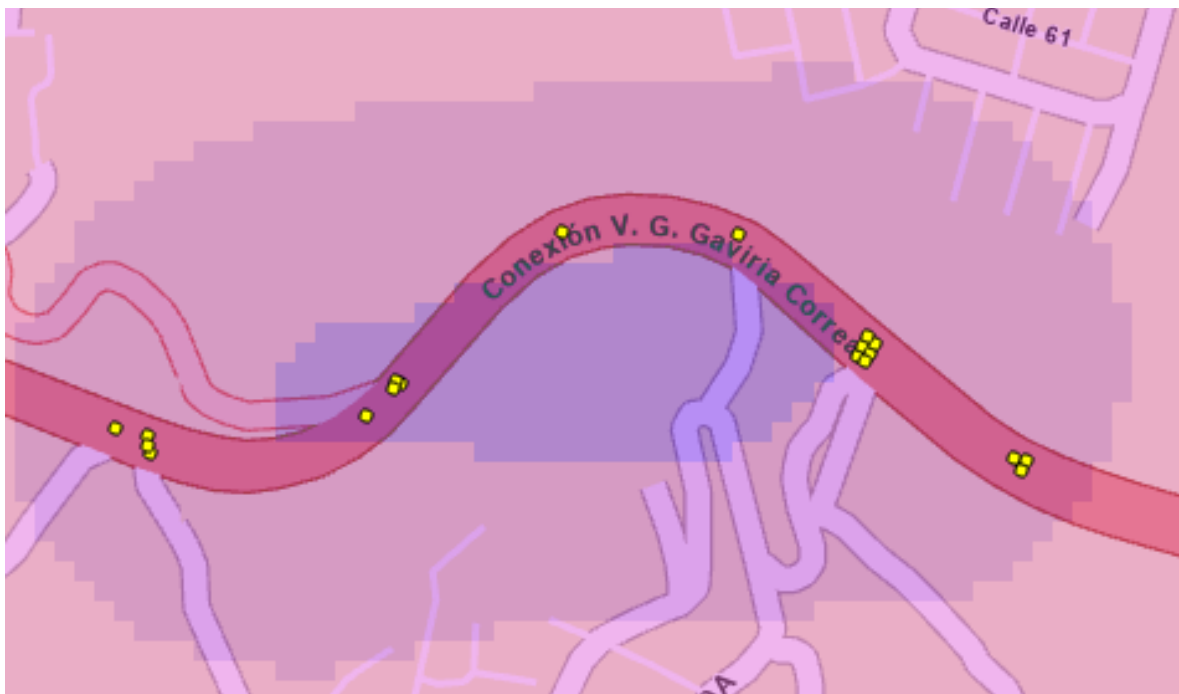


Figura 36. Punto de incidentalidad en acceso a San Cristóbal. Fuente: elaboración propia.



Figura 37. Giro en U en acceso a San Cristóbal. Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, otro problema identificado sobre este punto de interés es el cruce que realizan los vehículos desde el acceso mencionado hacia la calzada de descenso, atravesando los

dos carriles ascendentes (Figura 38). Según el aforo mencionado, esta maniobra es llevada a cabo por 4934 vehículos en promedio cada día.



Figura 38. Cruce en intersección con acceso a San Cristóbal. Fuente: elaboración propia.

Otro hecho para resaltar luego de la visita realizada fue el hallazgo de varios movimientos en masa, similares al expuesto en la Figura 39, y que obstaculizan parte de la vía en diversos tramos a lo largo del recorrido.



Figura 39. Movimiento en masa. Fuente: elaboración propia.

De forma complementaria, se llevó a cabo una inspección general del estado de la carpeta asfáltica. Para esto se tomaron registros fotográficos que se analizaron con posterioridad. Dentro de los hallazgos más relevantes se encuentran diversas patologías tales como piel de cocodrilo, descascaramiento, entre otras; clasificaciones tomadas con base en el Manual Para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles (Instituto Nacional de Vías, 2006).

Una de las patologías encontradas en el pavimento corresponde al descascaramiento (DC), como se observa en la Figura 40. Este deterioro apunta al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin afectar las capas asfálticas adyacentes. En esta imagen se puede observar que hubo colocación de una capa asfáltica sobre otra, evolucionando en abultamiento y luego en desprendimiento.

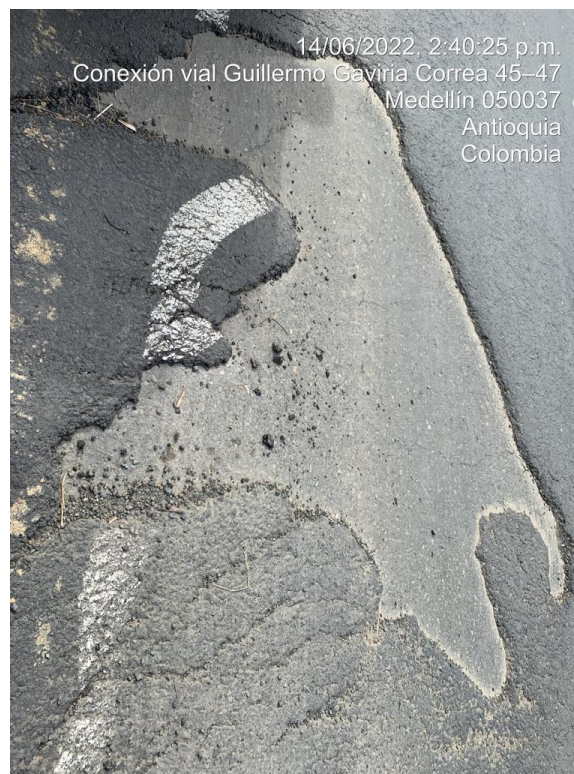


Figura 40. Descascaramiento del pavimento. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se hallaron secciones de la vía con baches (BCH), pérdida de agregado (PA), y afloramientos de agua (AFA); tal como se ilustra en la Figura 41. Según el Manual Para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles los baches se pueden presentar por retención de agua

en zonas fisuradas, que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento, o por un mal proceso constructivo, esta patología ocurre como evolución de otros daños como piel de cocodrilo.



Figura 41. Baches, afloramiento de agua y pérdida de agregado. Fuente: elaboración propia.

De la misma manera, también en la Figura 41, se puede observar la pérdida de agregado o desintegración que, según este Manual, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Por otro lado, se observaron varios afloramientos de agua; estos se identifican debido a la presencia de agua en la superficie del pavimento en momentos donde no hay precipitaciones y pueden presentarse gracias a un inadecuado sistema de drenaje o a la ausencia de control de los afluentes cercanos.

Paralelamente, también fue posible observar la patología de fisuración por deslizamiento de capas (FDC), mostrada en la Figura 42. Allí son visibles fisuras en forma de semicírculo o medialuna, generadas por la acción del arranque o frenado de los vehículos, lo cual causa que la capa asfáltica se deslice y se derrame; asimismo, estas pueden ser ocasionadas por el tránsito pesado y muy lento en zonas de frenado y acelerado de los vehículos. En este tramo de la vía la patología es usual, dado que se halla próximo a una curva, como se expone en la Figura 43. Su evolución probable induce a descascaramiento, baches, abultamientos y hundimientos. En este momento el estado de la patología ya cuenta con hundimientos y pérdida del agregado.

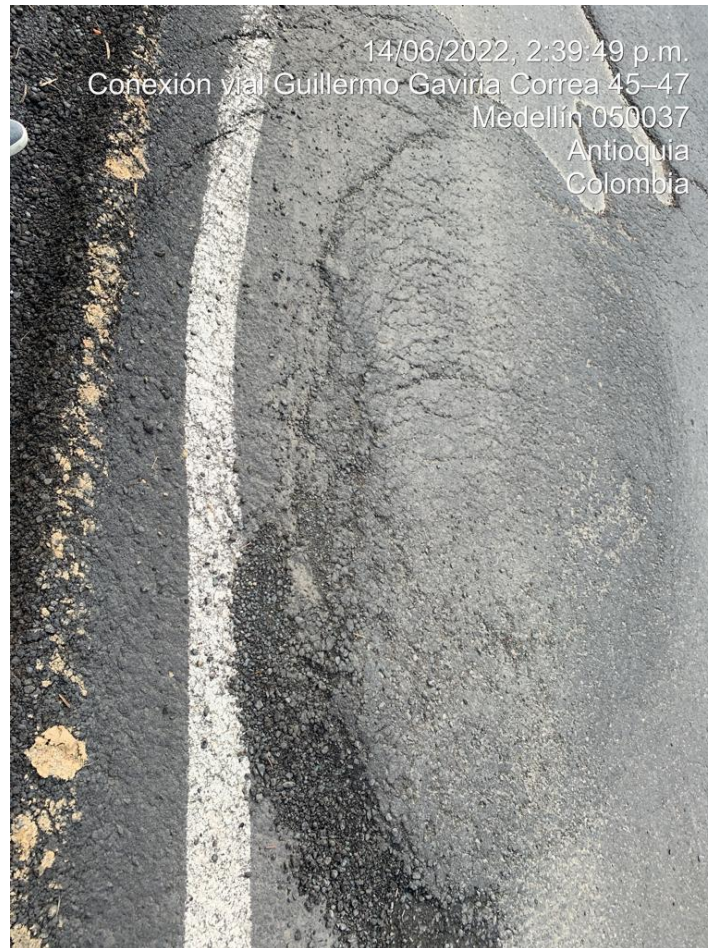


Figura 42. Fisuración por deslizamiento de capas. Fuente: elaboración propia.



Figura 43. Fisuración por deslizamiento de capas en curva. Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, a lo largo del recorrido fue posible observar fisuras longitudinales (FL) en diferentes tramos de la vía (Figura 44); de acuerdo con el manual del INVIAS, estas corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección al tránsito y se generan debido a esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia de la capa afectada.



Figura 44. Fisura longitudinal. Fuente: elaboración propia.

De igual forma, la carpeta asfáltica presenta fisuras tipo piel de cocodrilo (PC) con presencia de humedad en la superficie, como se expone en la Figura 45. Este tipo de patología se observa como una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares; generalmente comienza en la parte inferior de la capa de concreto asfáltico, donde las tensiones y deformaciones causadas por las cargas de tránsito alcanzan sus mayores valores. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas y, ante la repetición de cargas de tránsito, estas se propagan formando piezas angulares que luego desarrollan un modelo similar a la piel de cocodrilo.



Figura 45. Piel de cocodrilo. Fuente: elaboración propia

En la Figura 46 se evidencia presencia de fisuras transversales en junta de construcción (FCT), desgaste de la capa superficial del pavimento y afloramiento de agua (AFA). Estas patologías pueden darse como consecuencia de la carencia de ligante en las paredes de la junta, deficiencias de compactación en la zona de la junta o la unión de materiales con diferente rigidez; en este caso se observa instalada una junta de dilatación en la cual las modificaciones durante su proceso de instalación pudieron haber ocasionado deterioros tales como desniveles y desgaste de la carpeta asfáltica.



Figura 46. Fisura transversal en junta de construcción. Fuente: elaboración propia

5 Análisis

5.1 Etapa 1: análisis geométrico del trazado de la vía de estudio.

De acuerdo con los cálculos de los parámetros geométricos que se observan en las Tablas 2 y 3, se puede concluir que todo el trazado cumple con los radios de curvatura mínimos para una velocidad de 60 km/h. No obstante, es importante resaltar que, en varios casos, estos valores estuvieron cercanos al mínimo. Dado que, como se mencionó con anterioridad, la velocidad permitida sobre este corredor vial es de 60 km/h, siempre se recomienda que el diseño se haga para un valor mayor en este rubro, esto para brindar mayor seguridad sobre la vía.

Las curvas para las cuales se obtuvieron valores de velocidad de diseño cercanos a 60 km/h se tendrán en cuenta en el análisis de la Etapa 2, y así encontrar posibles relaciones entre este parámetro y la incidentalidad sobre la vía en cada uno de estos tramos.

Según los cálculos realizados al momento de comparar los valores de las deflexiones obtenidos a partir del trazado basado en la ortofoto y los correspondientes a los planos oficiales, se evidencia que el método utilizado para la determinación del trazado de la vía es confiable dado el porcentaje de error menor al 6 %.

5.2 Etapa 2: análisis de incidentalidad del tramo de estudio.

De acuerdo con el mapa de calor realizado, en el tramo de estudio se hallaron cuatro puntos críticos, como se observa en la Figura 47. El primero de ellos es a la altura de la Avenida 80, en inmediaciones del barrio Los Colores; el segundo se ubica entre las carreras 92 y 96 A; el tercero está entre las carreras 109A y 109B; mientras el cuarto se halla entre las carreras 117 y 126. Las causas de la incidentalidad en estas cuatro zonas podrían ser varias y se expondrán a continuación.



Figura 47. Focos de incidentalidad. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al primer foco de incidentalidad, situado a la altura de la Avenida 80, el principal motivo por el cual se podría presentar un alto número de incidentes es evidente. En este punto se interseca la conexión vial GGC con la carrera 80, la principal vía arteria del occidente de la ciudad y que presenta el mayor volumen vehicular de esta zona del municipio.

Para el análisis de los tres focos de incidentalidad que restan se tendrá en cuenta, en primer lugar, la geometría de estos tramos. Más adelante, en el análisis de los resultados de la Etapa 3, se mostrarán otras posibles causas relacionadas con los eventos registrados en estos sitios. Al tener identificados estos puntos de calor y buscar los valores correspondientes a sus velocidades de diseño estimadas en la primera etapa, cabe resaltar que existe una posible correlación entre estas dos variables. En el caso del segundo foco, la curva 11 de la calzada sur-norte (Tabla 5) presenta una velocidad de diseño de 65,39 km/h; si bien este cumple con el valor mínimo correspondiente a 60 km/h, la cercanía entre ambos podría no tener un factor de seguridad suficiente e influir así en un aumento de la incidentalidad. Por otra parte, el punto 3, correspondiente a las curvas 20 de ambas calzadas, tiene valores de 68,36 km/h y 71,27 km/h, que son cifras más alejadas del mínimo y no guardan necesariamente relación con los incidentes en este punto. Para el último foco de calor, se tienen curvas con números cercanos al límite mínimo; estas son las curvas 26 y 27 de la calzada sur-norte (Tabla 2), y las curvas 13 y 14 de la calzada norte-sur (Tabla 3); las velocidades en esta zona oscilan entre los 62 km/h y los 68 km/h. Es importante mencionar que, aunque la geometría del trazado pueda ser un factor determinante, son otros aspectos los que podrían influir en mayor

medida en el índice de incidentalidad en estos lugares. Durante el análisis de la Etapa 3 se expondrán otros elementos relevantes que podrían dar luz en relación con este aspecto.

Por otra parte, deben tenerse en cuenta los resultados arrojados del análisis de los datos de incidentalidad. En primer lugar, según la Figura 13, el tipo de incidente que se presenta con mayor frecuencia en la vía de estudio es el choque, que corresponde al 68 % del total de los registros. De igual manera, de acuerdo con la Figura 14, donde se muestra la clasificación de los incidentes según su año, se evidencia que el período en el cual se obtuvo un mayor porcentaje fue el año 2020, con un 23 % del total; cabe resaltar la notoriedad de este resultado dada la coyuntura en dicho año, pues en este fue el inicio de la pandemia de la covid-19, teniendo además varios meses de cuarentena en los cuales el tránsito de personas debió haberse reducido en gran medida. Así mismo, llama la atención la disminución de la incidentalidad para el 2021 (Figuras 14 y 15); en este período se observa un 15 % de los incidentes registrados, es decir, hubo un decrecimiento del 8 %. Es importante resaltar asimismo que, aunque se tienen registros desde el 2014, el tramo comprendido entre el Km 0 y el Km 4+200 inició su operación hacia el 2015; por este motivo, en las gráficas se observa un incremento periódico en el número total de incidentalidad a partir de este período.

A su vez, la Figura 16, en la cual se observa la clasificación de acuerdo con el mes de ocurrencia de los incidentes, permite evidenciar que el mes que presenta un mayor pico es octubre. Una causa que podría ser atribuida en este caso es la semana de receso que se da a las instituciones educativas oficiales y al puente festivo correspondiente al 12 de octubre. Igualmente, a partir de esta Figura, puede inferirse que el trimestre anual que presenta mayor incidentalidad es el tercero, es decir, entre agosto y octubre. Finalmente, las Figuras 17 a la 24, en las cuales se exponen los resultados comparativos entre los cuatro trimestres en el período 2014 – 2021, coinciden con lo anteriormente mencionado respecto al 2020, pues este año presenta los mayores porcentajes de incidentalidad en cada trimestre, exceptuando el segundo; y es aquí donde sí se halla la correlación esperada con la cuarentena debida a la pandemia de la covid-19, pues fue justamente en el segundo trimestre del 2020 en el que esta fue decretada, generando así este registro atípico.

5.3 Etapa 3: análisis del entorno de la vía

Como punto de partida, es importante mencionar los principales hallazgos arrojados tras la visita técnica realizada a la vía de estudio y sus posibles conexiones con los focos de incidentalidad encontrados en la Etapa 2 del trabajo.

En primer lugar, cabe resaltar una probable correlación entre el foco de incidentalidad número 4 del mapa de calor (Figura 47) y el punto crítico que es el acceso a San Cristóbal. Esta intersección presenta diversos problemas que pueden ser generadores de un alto número de incidentes; siendo el más probable el cruce de vehículos desde este acceso hacia la calzada de descenso, dada la trayectoria que deben realizar los conductores y asimismo la alta velocidad con que descienden en este punto los vehículos provenientes de la parta más alta de la conexión y de igual modo quienes ascienden desde el valle. Los números evidenciados tanto en incidentalidad como en los aforos realizados denotan la imperante necesidad de una intervención en esta intersección.

Otro de los puntos críticos en relación con el entorno de la vía y el comportamiento de sus usuarios, es el de los asentamientos. Estos no solo representan una amenaza debida a la evidente carencia de estructuras adecuadas, sino también a su proximidad, tanto a la vía como a afluentes y taludes. De acuerdo con información del diario El Colombiano, en el primer semestre del 2022 se han presentado cuatro crecientes súbitas de la quebrada La Iguaná que han generado afectaciones a las comunidades de San Cristóbal, San Javier y barrios aledaños a la Conexión Vial Guillermo Gaviria Correa (El Colombiano, 2022). Por otro lado, como consecuencia de la cercanía de estas viviendas a la vía, la incidentalidad podría crecer tanto en número como en gravedad debido al tránsito de peatones que esto podría conllevar.

Uno de los puntos resaltados en los resultados de esta etapa fue el relacionado con la Institución Educativa Las Playas. Es importante mencionar que, como se expuso allí, existe un foco menor de incidentalidad en esta ubicación. En el sitio no solo se encuentra el acceso a este colegio sino también el de la vereda Las Playas y algunos locales comerciales al lado de la calzada ascendente. Si bien se observó que allí se cuenta con señalización de zona escolar, tanto vertical como horizontal, debería evaluarse la posible implementación de otro tipo de medidas tales como

resaltos, estoperoles o algún elemento adicional que permita la reducción de la velocidad con la que transitan los vehículos en este tramo de la vía y así prevenir futuros incidentes.

En adición a todo lo anterior, no se deben dejar de lado los hallazgos de las patologías sobre la carpeta asfáltica de la vía. Por un lado, pueden analizarse las posibles causas que derivaron en estas. Aquí cabría mencionar la extensa temporada de lluvias que se ha presentado a lo largo de los últimos dos años; el constante tráfico de vehículos pesados, tanto los que transportan mercancías desde y hacia otros municipios, las rutas de transporte público, pero también el acarreo de material de diferentes obras como la construcción del segundo túnel de occidente; además, de los diferentes tipos de suelo, afluentes y posibles deficiencias durante la construcción y el mantenimiento de la vía. Así mismo, dado el avanzado estado de los daños presentados a lo largo del trayecto analizado, estos pueden representar una amenaza a la seguridad vial puesto que podrían ser generadores de un mayor número de incidentes.

6 Entrega final

Como resultado y entregable final para la SMM se elaboró un informe diagnóstico en el que se expusieron la metodología, resultados y análisis presentados en el presente informe. En esta sección se revisan de forma global los aspectos más relevantes hallados durante el desarrollo de este proyecto en cada una de sus etapas.

En la primera etapa se determinó que el diseño geométrico de este tramo de la vía cumple con los requisitos mínimos establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS; no obstante, algunas curvas presentan valores cercanos al límite, lo cual podría ser causante de mayor incidentalidad en estos tramos de vía.

Luego de llevar a cabo las Etapas 2 y 3 se encontraron cuatro focos de incidentalidad en el tramo de vía estudiado, los cuales podrían estar relacionados con diversos factores tales como la geometría del trazado, el alto flujo vehicular, problemáticas en los accesos cercanos a la vía, velocidades de operación, patologías en el pavimento, y el comportamiento de los usuarios. Por otra parte, tras el análisis realizado se halló que casi dos terceras partes de los incidentes registrados corresponden a choques. Así mismo, la incidentalidad ha tenido un incremento progresivo desde la puesta en operación del tramo comprendido entre el km 0 y el km 4+200, en el año 2015. De igual forma, se identificaron varios deslizamientos a lo largo del recorrido, los cuales pudieron ser generadas por la topografía del terreno, los tipos de suelos, la cantidad de afluentes que se encuentran en la zona, entre otros aspectos. Por otro lado, lo anterior sumado con el alto flujo vehicular, la falta de mantenimiento, el tránsito de vehículos pesados, etcétera, han sido los posibles causantes del deterioro de la carpeta asfáltica, generando diversos daños y patologías. Todos estos elementos de una posible generación de mayor incidentalidad sobre esta vía.

7 Conclusiones

El trazado que comprende el tramo de vía estudiado presenta los valores geométricos adecuados de acuerdo con el Manual de Diseño de Carreteras del INVIAS, específicamente para los radios de giro mínimos para una velocidad de diseño de 60 km/h. No obstante, algunas de las curvas tienen cifras cercanas al límite establecido.

El método empleado en la Etapa 1 para determinar el eje de la vía construida a partir de la ortofoto es confiable, puesto que arrojó un porcentaje de error menor al 6%.

En este tramo de la conexión Guillermo Gaviria Correa se hallaron cuatro puntos principales de mayor incidentalidad. El primero en el barrio los colores a la altura del intercambio vial de la 80, el segundo entre las carreras 92 y 96 A, el tercero entre las carreras 109 A y 109 B, y el punto 4 entre las carreras 117 y 126.

Se encontraron posibles vínculos entre aquellas curvas que presentan valores cercanos al límite con relación a su geometría y los focos de incidentalidad.

El período comprendido entre septiembre y enero es el que evidencia mayor número de incidentes sobre este tramo de la conexión vial, con valor máximo en el mes de octubre.

Se identificaron múltiples puntos con asentamientos cercanos a la vía, incluyendo uno a altura de la Institución Educativa Las Playas. A causa de esto, se evidenciaron accesos directos a la vía que podrían significar una problemática de seguridad vial.

Sobre la vía se observó la circulación de vehículos de carga pesada, así como diferentes rutas de transporte público metropolitano e intermunicipal. Esto puede incidir en el deterioro de la malla vial y asimismo significar una causa de incidentes de mayor gravedad.

A lo largo de todo el tramo estudiado se hallaron diversas patologías tales como baches, afloramientos, piel de cocodrilo, fisuras en juntas, entre otras; donde fue evidente que algunos de estos daños fueron consecuencia de la falta de atención temprana cuando estos se encontraban en etapas menos severas. En consecuencia, estos problemas sobre la vía pueden ser causantes de mayor incidentalidad.

Referencias

- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Anuario Nacional de Siniestralidad Vial Colombia 2020*. Bogotá. Obtenido de <https://bit.ly/3mNyLJT>
- Alcaldía de Medellín. (27 de Enero de 2022). *Geomedellin*. Obtenido de Geomedellin: <https://bit.ly/3yCG8ZZ>
- Alcaldía de Medellín. (2022). *Mapas Medellín*. Obtenido de MapGIS5: <https://bit.ly/3nZkZEI>
- Desarrollo Vial al Mar S.A.S. (2022). *Devimar*. Obtenido de <https://www.devimar.co>
- El Colombiano. (26 de Mayo de 2022). Vecinos de la quebrada La Iguaná viven con miedo a otra creciente. *El Colombiano*. Obtenido de <https://bit.ly/3O0UhpQ>
- Instituto Nacional de Vías. (2006). *Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. Bogotá.
- Observatorio de Movilidad de Medellín. (Diciembre de 2021). *Observatorio de Movilidad*. Obtenido de <https://tabsoft.co/39sWU5y>
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial: es hora de pasar a la acción*. Ginebra. Obtenido de <https://bit.ly/3MTLNjD>
- Organización Panamericana de la Salud. (2019). *Estado de la seguridad vial en la Región de Las Américas*. Washington, D.C. Obtenido de <https://bit.ly/3tAD27j>
- Quintero González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*. doi:<https://doi.org/10.11144/>