



ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN VIAL Y/O DE GESTIÓN DEL TRÁNSITO DE TRES INTERSECCIONES DE LAS PRIORIZADAS EN EL PLAN MAESTRO METROPOLITANO DE MOVILIDAD DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA 2022-2037 EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.

ROAD SOLUTION AND/OR TRAFFIC MANAGEMENT ALTERNATIVES FOR THREE INTERSECTIONS OF THOSE PRIORITIZED IN THE PLAN MAESTRO METROPOLITANO DE MOVILIDAD OF THE ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA 2022-2037 IN THE URBAN AREA OF THE MUNICIPALITY OF BUCARAMANGA

Luisa María García-Ojeda ¹, Jose Miguel Mantilla-Sánchez ²

¹Estudiante de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-7284-9402>. correo electrónico: luisa2182137@correo.uis.edu.co

²Estudiante de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8577-6523>. correo electrónico: jose2190217@correo.uis.edu.co

Resumen

Este proyecto se enfoca en evaluar la infraestructura vial de tres intersecciones en Bucaramanga mediante medidas de gestión del tráfico y/o ajustes del diseño geométrico. Estos puntos críticos se seleccionaron con base en los datos del Plan Maestro de Movilidad Metropolitana 2022-2037 del AMB, el cual identificó un conjunto de intersecciones claves a mejorar a corto plazo con el fin de reducir índices como niveles de servicio, velocidades de operación y colas medias; para la selección de las intersecciones fue necesario tener en cuenta criterios como la disponibilidad de datos, la cercanía entre intersecciones, la siniestralidad, entre otros. En este trabajo se utilizaron herramientas de microsimulación de tránsito para evaluar los niveles de servicio, las colas medias y las velocidades promedio en las tres intersecciones evaluadas. Se establecieron dos alternativas de solución diseñadas para cada intersección (Avenida Quebradaseca con carrera 17, carrera 15 con calle 23, glorieta carrera 9 con Avenida Quebradaseca) y posteriormente se llevó a cabo un análisis objetivo utilizando literatura de elección multicriterio y variables identificadas a partir de la información disponible, buscando así un enfoque sistemático en la toma de decisiones. Como resultado de los análisis se obtiene como solución la implementación de intersecciones a desnivel, pasos elevados y glorietas que generan una mejora en las condiciones operativas de las vías adyacentes a las intersecciones seleccionadas.

Palabras clave: Plan Maestro de Movilidad Metropolitana; intersecciones; microsimulación; elección multicriterio; siniestralidad.

Abstract

This poroject is focused in evaluate the road infrastructure of three intersection in Bucaramanga through traffic management measures and geometric design adjustments. These critical points were selected based on data from the metropolitan movility master plan 2022-2037 of the AMB, wich identified a set of key intersections to be improved in a short term in order to reduce indices suchs as service levels, operation speeds and middle queues; for the selection of intersections was necessary to take some criteria such as data ability, proximity between intersections, accidents, among others. In this work, transit microsimulation tools were used to evaluate the service levels, middle queues and average speeds at the three intersections evaluated. Two alternatives designed for each intersection were established (Avenida Quebradaseca with carrera 17, carrera 15 with calle 23, glorieta carrera 9 with Avenida Quebradaseca) and subsequently an objective analysis was carried out using literature of multi-criterio choice and variables identified from the available information, seeking a systematic approach in decision making. As a result of the analysis, the implementation of uneven intersections, high roads and roundabouts that generate an improvement in the operating conditions of the tracks.

Keywords: Metropolitan Mobility Master Plan; intersections; microsimulation; multi-criteria election; accident rate.

1. Introducción

Según el Plan de Ordenamiento Departamental - POD, “En aspectos de movilidad, Santander presenta un alto potencial para el desarrollo de un modelo multifuncional de transporte...”; esto dado a que, en temas viales, el departamento cuenta con potencial para temas de transporte, así como terminales de carga y pasajeros con este propósito (aeropuerto Palonegro, aeropuerto de Yariguíes, entre otros).

En este mismo sentido, el Área Metropolitana de Bucaramanga AMB coincide en que algunas problemáticas en temas de movilidad en el territorio metropolitano se presentan principalmente por el incremento desmedido del parque automotor que repercute en un aumento en la congestión vehicular. En este sentido, y con el fin de tener una radiografía clara de la situación de movilidad en el área metropolitana y unas líneas claras de acción para mitigar el impacto de diversas problemáticas relacionadas con la movilidad y el bienestar de la población, el AMB mediante el Acuerdo Metropolitano 007 de 2022 acuerda la adopción del Plan Maestro Metropolitano de Movilidad - PMMM como “... *instrumento de planificación que guiará las acciones a corto, mediano y largo plazo del sistema de movilidad seguro y sostenible para el periodo 2022-2037.*” (Área Metropolitana de Bucaramanga, 2022).

Dicho PMMM a partir de la elaboración del Modelo de Transporte caracteriza las dinámicas de los orígenes y destinos de los viajes, identificando que el modo de transporte de mayor uso por los habitantes del área metropolitana es la motocicleta, con el 24.4% de uso, seguido por el transporte informal/ilegal con un 19.1% que se traduce en congestión vehicular y saturación de las

vías de los cuatro municipios que componen el área metropolitana, pero que se manifiesta con mayor impacto

en Bucaramanga. Este comportamiento en la partición modal es bastante negativo y va en contra de la tendencia mundial de promover el uso de modos de transporte sostenibles con el medio ambiente con los cuales se desincentive el uso de vehículos particulares para el desplazamiento.

Por esta razón el AMB como autoridad en transporte y ente planificador del territorio metropolitano, ha identificado en el PMMM diez puntos críticos de congestión vehicular que pueden ser mejorados por medio de proyectos de infraestructura vial, los cuáles buscan mejorar índices como lo son los niveles de servicio, velocidades de operación y tiempos de demora. De igual forma, el AMB lista una serie de intersecciones a las que, según el PMMM, se deben realizar intervenciones a corto, mediano o largo plazo, mejorándose, ampliándose o realizando nuevos tipos de intersecciones.

El objetivo principal de este trabajo de investigación fue plantear alternativas de solución de infraestructura vial y gestión del tránsito enfocadas en el mejoramiento de la operación vehicular en tres intersecciones de las diez priorizadas por el Área Metropolitana de Bucaramanga a través del Plan Maestro Metropolitano de Movilidad del AMB 2022 - 2037. Esto fue posible mediante la caracterización a partir de información secundaria adquirida sobre las condiciones actuales de tránsito de los puntos identificados, así mismo, se llevó a cabo una serie de microsimulaciones de tránsito que permitieron observar el escenario actual y futuro de las soluciones plantadas, por último, se hizo el análisis de resultados de las diferentes alternativas propuestas mediante un análisis multicriterio.

Este documento se organiza de la siguiente manera: en primer lugar, se encuentra la sección 2 *Caracterización de la movilidad del AMB*, en donde se organiza toda la información recolectada y que contextualiza el presente artículo, mostrando diferentes cifras basadas en estudios realizados por entidades públicas. En la sección 3 se muestra la *Metodología*, donde se expone el paso a paso de la metodología de investigación utilizada para la elaboración del presente artículo de investigación, así como la selección de las intersecciones a analizar y las propuestas de solución para cada una de las problemáticas de movilidad identificadas. En la sección 4 se muestran los *Resultados*, producto del procesamiento de la información recolectada para la evaluación de las alternativas planteadas en la anterior sección. Seguido de esto, en la sección 5, titulada *Análisis de resultados*, se muestra la explicación de lo obtenido a partir de las proposiciones realizadas ante la resolución de las problemáticas encontradas en las intersecciones viales. Finalmente, en la sección 6 se muestran las Conclusiones y Recomendaciones para futuras investigaciones.

Dentro del documento de Líneas Estratégicas del PMMM se identificaron unas problemáticas establecidas por la comunidad en talleres de participación ciudadana como: siniestralidad vial, congestión, inseguridad en el transporte público, falta de accesibilidad a la infraestructura, equidad de género, entre otras. En este trabajo de investigación nos enfocamos en el análisis de las medidas relacionadas con Infraestructura, Accesibilidad, Seguridad Vial, Congestión y Conectividad y cobertura.

De igual forma, el AMB cataloga los viajes en el área metropolitana de Bucaramanga en los diferentes modos de transporte. Se puede identificar, como lo muestra la Figura 2, que el transporte público mueve el 31,2% de estos viajes. Sin embargo, de este porcentaje corresponde un 19,1% al transporte informal, siendo el transporte público legal una participación del 12,1% del total de los viajes realizados, el cual comparado con un 49,7% del porcentaje de participación de los otros modos de transporte, es bajo.

2. Caracterización de la movilidad del AMB

En el presente marco de referencia se encuentra información secundaria recolectada relacionada con los objetivos del presente artículo de investigación.



El modo de transporte predominante en el Área Metropolitana de Bucaramanga es la moto con el **24,4%**, seguido por el transporte informal/ilegal con el **19,1%**.

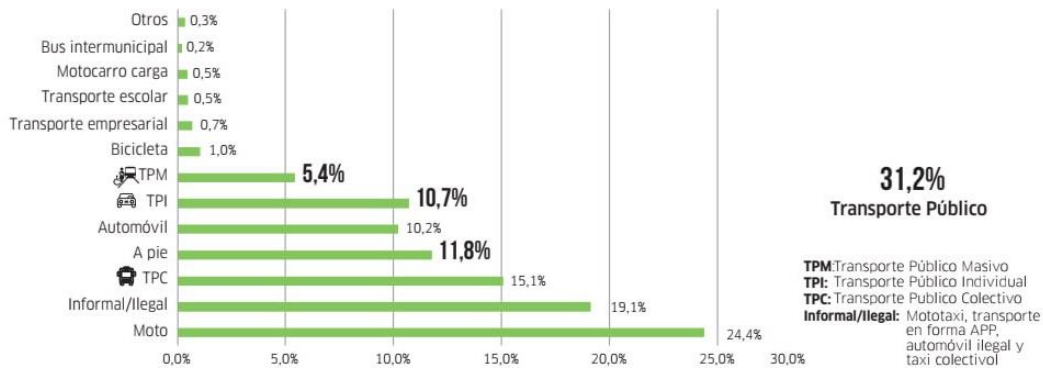


Figura 1. Modos de transporte preferidos en el área metropolitana de Bucaramanga. Fuente: Resumen ejecutivo PMMM 2022-2037 AMB.

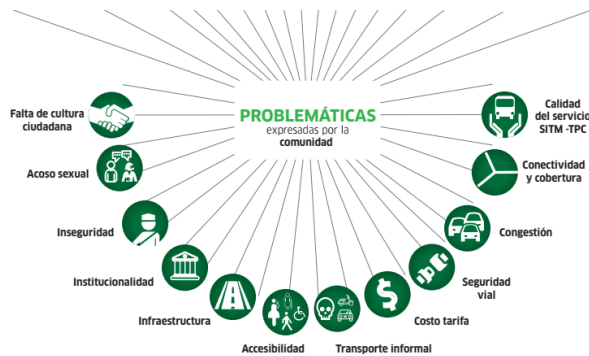


Figura 2. Problemáticas identificadas por la comunidad en el PMMM. Fuente: Resumen ejecutivo PMMM 2022-2037 AMB.

Por otra parte, la Dirección de Tránsito de Bucaramanga DTB, dentro de sus actividades misionales, realiza el seguimiento a la siniestralidad del municipio, mostrando que en los resultados de 2021-2022 hubo un aumento en las víctimas fatales en los siniestros, correspondiente al 14% comparado con el año 2021, y una disminución del 3% en las personas lesionadas en los siniestros viales. Estas cifras son preocupantes en el municipio debido a que se evidencia que la gravedad de los siniestros ha

aumentado, dejando más víctimas fatales que personas lesionadas.

ACCIDENTALIDAD COMPARATIVA ENERO A DICIEMBRE AÑOS 2021-2022					
CLASE DE ACCIDENTE	AÑO 2021	AÑO 2022	DIFERENCIA 2021-2022	% DIF	% ACC EN TOTAL 2022
ACCIDENTES CON VÍCTIMAS FATALES	74	84	10	14%	4%
ACCIDENTES CON LESIONADOS	1.421	1.347	-74	-5%	60%
ACCIDENTES SOLO DAÑOS	1.278	822	-456	-36%	36%
TOTAL	2.773	2.253	-520	-19%	100%
VÍCTIMAS FATALES EN LOS ACCIDENTES Y LESIONADOS EN ACCIDENTES					
VÍCTIMAS EN LOS ACCIDENTES	74	84	10	14%	
PERSONAS LESIONADAS EN LOS ACCIDENTES	2.183	2125	-58	-3%	

Tabla 1. Siniestralidad comparativa enero a diciembre años 2021-2022. Fuente: Dirección de Tránsito Bucaramanga DTB.

Teniendo en cuenta el PMMM dentro de sus propuestas establece una serie de proyectos estructurantes, transversales, estratégicos POT, proyectos viales y proyectos específicos, resumidos en la siguiente figura. Esto evidencia que el PMMM no es un documento aislado a la realidad del municipio, pues adopta también el análisis realizado de forma específica para el territorio por el Plan de Ordenamiento Territorial POT.

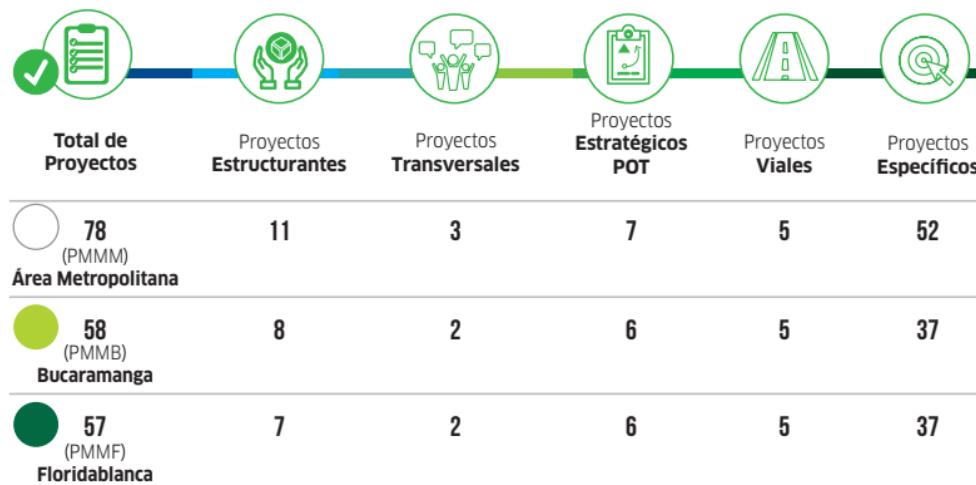


Figura 3. Total de proyectos propuestos por el PMMM. Fuente: Resumen ejecutivo PMMM 2022-2037 AMB.

De igual forma, el PMMM en el documento titulado *Formulación líneas estratégicas y proyectos de Bucaramanga*. Dentro de este documento encontramos proyectos más asociados a la realidad del municipio, contando con ocho (8) proyectos estructurantes, dos (2) proyectos transversales, seis (6) proyectos estratégicos POT, cinco (5) proyectos viales y treinta y siete (37) proyectos específicos.

Haciendo énfasis, el proyecto P27-E: Intersecciones Viales del documento *Formulación líneas estratégicas y proyectos de Bucaramanga* producto del PMMM, plantea las consideraciones para el manejo de intersecciones dentro del plan vial que propone este documento metropolitano. Teniendo en cuenta que un adecuado diseño de las intersecciones representa el correcto funcionamiento de la red vial adyacente a estas,

y que son distribuidoras del tráfico, el diseño de estas debe estar enfocado en la solución de los movimientos que se dan en la zona de influencia de estas, correspondiendo a las intenciones de viaje en dicha zona. A continuación, se presentan términos claves que hacen parte de este trabajo de investigación:

2.1. Intersecciones viales

Las soluciones viales y de gestión del tránsito son consideradas como estrategias que apuestan por el mejoramiento y la optimización de operación del flujo vehicular en zonas urbanas. Un tipo de solución es el diseño de intersecciones teniendo en cuenta el nivel de congestión vehicular transitada que muestra los puntos críticos, el resultado del estudio de proyección de flujo, las características geométricas de las vías que se cruzan y el nivel de siniestralidad. Algunos tipos de diseños de intersecciones e infraestructura son:

2.2. Intersecciones a nivel

Esta alternativa representa un área compartida por dos o más vías, su complejidad varía con respecto a las vías que interseca. Las intersecciones a nivel resultan convenientes ya que presentan como función principal posibilitar el cambio de dirección de la ruta y cuentan con mayor facilidad en su construcción. (Betancourt, Osiris, Bencomo, Alberto, & Esparza, 2015).

2.3. Intersección a desnivel

Los pasos a desnivel logran facilitar el paso de tránsito entre carreteras que se cruzan en niveles diferentes. También puede ser la zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todos los movimientos posibles. (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, 2008)

2.4. Intersecciones semaforizadas

Este tipo de intersección usa semáforos, que son dispositivos de señalización usados para regular el tránsito de vehículos y peatones en las vías, asignando el derecho al paso de vehículos o peatones. Este sistema la accidentalidad, disminuye el tiempo de cada viaje y mantiene un mejor control en las intersecciones (Betancourt, Osiris, Bencomo, Alberto, & Esparza, 2015).

2.5. Glorietas

Este tipo de intersección que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central. Las glorietas responden de manera eficiente a múltiples funciones como la regulación del tráfico, la regeneración urbana y

el paisajismo, sin embargo, en zona urbana no son recomendables. (Betancourt, Osiris, Bencomo, Alberto, & Esparza, 2015).

2.6. Arreglos geométricos

Los arreglos geométricos están compuestos por alineamiento horizontal, alineamiento vertical y el diseño transversal, estos se encargan de determinar las características geométricas a partir de factores como el tránsito, topografía, velocidades, con el fin de que circular de una manera cómoda y segura. En Colombia el uso de nuevos diseños geométricos es parte del plan de movilidad. (Betancourt, Osiris, Bencomo, Alberto, & Esparza, 2015).

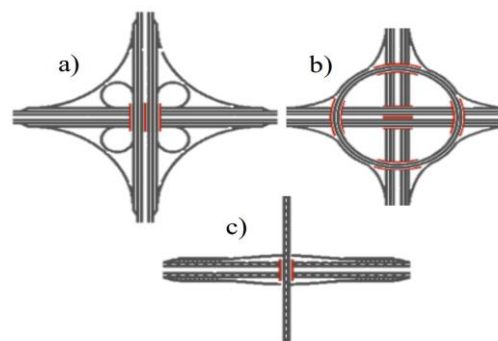


Figura 4. (a) Intersección a desnivel tipo trébol, (b) glorietta a desnivel, (c) intersección a nivel tipo diamante. Fuente: Hernández, Rodríguez (2020) Mejoramiento de la movilidad vehicular.

2.7. Plan Maestro Metropolitano de Movilidad – PMMM

Instrumento de planificación que guiará las acciones a corto, mediano y largo plazo del sistema de movilidad seguro y sostenible para el periodo 2022-2037, adoptado por el Área Metropolitana de Bucaramanga – AMB.

2.8. Dirección de Tránsito de Bucaramanga DTB

Entidad pública descentralizada, la cual tiene el propósito de organizar y controlar todo lo relacionado con el tránsito dentro del municipio de Bucaramanga y velar por el cumplimiento de las disposiciones legales sobre la materia, establecida desde el año 1928.

3. Metodología

Una vez realizada la contextualización y caracterización en términos de movilidad de la zona de estudio, a continuación, se presenta el paso a paso que se realiza para cumplir los objetivos del presente artículo de investigación:

3.1. Definición de la zona de estudio

A partir del documento Líneas Estratégicas del Plan Maestro Metropolitano de Movilidad, en el capítulo específico donde se realiza el análisis a las intersecciones viales del área metropolitana, y se priorizan aquellas que necesitan una mejora respecto a su infraestructura en el municipio de Bucaramanga. Las intersecciones que se

identifican en dicho documento se presentan en el ANEXO 01 LISTADO INTERSECCIONES, por lo tanto, este listado de intersecciones fue el punto de partida para la identificación de las intersecciones que hacen parte del análisis en este trabajo de investigación.

3.1.1. Selección de intersecciones

A partir de la priorización de intersecciones identificadas en el documento Líneas Estratégicas del Plan Maestro Metropolitano de Movilidad, se hace una subdivisión en tres categorías y en función del periodo de ejecución, siendo de corto plazo (2022 a 2027) y largo plazo (2027 – 2037), tal como se muestra a continuación:

INDICADOR	LÍNEA BASE		META				
	2022	2027	2032	2037			
Número de intersecciones a mejorar	0	Ampliar o mejorar 41 intersecciones según la sección transversal de los corredores en el Área Metropolitana de Bucaramanga para el año 2027	41	Ampliar o mejorar 84 intersecciones según la sección transversal de los corredores en el Área Metropolitana de Bucaramanga para el año 2032	84	Ampliar o mejorar 85 intersecciones según la sección transversal de los corredores en el Área Metropolitana de Bucaramanga para el año 2037	85
Número de intersecciones nuevas por desarrollar	0	Construir 27 intersecciones según nuevos corredores a desarrollar para el Área Metropolitana de Bucaramanga en el año 2027	27	Construir 55 intersecciones según nuevos corredores a desarrollar para el Área Metropolitana de Bucaramanga en el año 2032	55	Construir 64 intersecciones según nuevos corredores a desarrollar para el Área Metropolitana de Bucaramanga en el año 2037	64

Figura 5. Meta para el proyecto de intersecciones viales. Fuente: Documento líneas estratégicas PMMM 2022-2037 AMB.

El proyecto P27-E incluye en su desarrollo tres (3) tipos de intersecciones:

- **Intersecciones nuevas:** intersecciones que se proponen en aras de mejorar la movilidad en el sector, respondiendo a las necesidades de conexión de las vías aledañas.
- **Intersecciones por ampliar o mejorar:** intersecciones que requieren un cambio según la convergencia de corredores nuevos o que se modifique su sección transversal.
- **Intersecciones especiales:** intersección la cual al momento de su diseño y análisis de movimientos de los actores viales a solucionar debe considerar los diferentes ramales viales que convergen en un tramo corto.

En este trabajo de investigación se llevará a cabo un análisis enfocado sobre la red vial de la ciudad de Bucaramanga, específicamente aquellas intersecciones críticas que puedan o deban ser mejoradas o modificadas, por lo que los criterios tenidos en cuenta para la selección de las intersecciones a analizar fueron:

- Se tendrán en cuenta aquellas intersecciones por **ampliar o mejorar a corto plazo** de las listadas por el AMB en el Documento Diagnóstico del PMMM 2022-2037, con el fin de generar una propuesta de solución a una problemática más inmediata y acertada teniendo en cuenta el alcance del presente proyecto académico de investigación.
- Otro parámetro para tener en cuenta en este análisis es la siniestralidad presentada en estas intersecciones. Estos datos se obtienen del informe de gestión del grupo de gestión vial

presentado por la Dirección de Tránsito de Bucaramanga, considerando los años 2018-2022. Dentro de la base de datos de siniestralidad se cuenta con datos como: actor vial involucrado, número IPAT, dirección, comuna, clase de siniestro, clase de vehículo, nombre y apellido de las víctimas y fecha de los hechos. Esta información es obtenida de la página <https://transitobucaramanga.gov.co/dtb/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/movilidad/accidentalidad/>, donde anualmente se carga la información de siniestralidad vial en el municipio de Bucaramanga.

- iii) Se considera pertinente el análisis de intersecciones que tengan cercanía entre ellas. Esto con el fin de evaluar cuál sería el impacto en la malla vial adyacente a estas intersecciones, evaluándolo desde el éxito de la solución planteada en cada intersección, y cómo podría funcionar el sistema vial como un todo, ejecutando las soluciones que se plantearán.
- iv) La disponibilidad de datos como lo son los volúmenes vehiculares según Modelo de Transporte, cifras de siniestralidad vial, información en Plan de Ordenamiento Territorial, es otro factor importante al momento de elegir las intersecciones. Una vez se hayan seleccionado las posibles intersecciones definitivas a analizar de la lista de preliminares que se obtendrá, se realizará la consulta con el AMB para verificar la disponibilidad de datos contenidos en el modelo de transporte.
- v) Como último criterio para seleccionar intersecciones se tiene el análisis de las zonas atractoras y generadoras de viajes, de acuerdo con el modelo de transporte del AMB. De esta forma, se podrá verificar si las intersecciones que se van a considerar se encuentran en una zona de alta demanda de viajes.

Aplicando los criterios de selección anteriormente mencionados, por medio del uso de herramientas de georreferenciación y cartografía, se pudo contrastar la información planteada por el PMMM de las intersecciones por ampliar o mejorar a corto plazo y la información de siniestralidad obtenida de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga. Posteriormente, se realiza un mapa de calor con el fin de verificar los puntos donde se concentra mayor siniestralidad. (VER ANEXO 02 MAPAS DE CALOR SINIESTRALIDAD).

A continuación, se encuentran el primer grupo de intersecciones seleccionadas de acuerdo con los criterios anteriores intersecciones a tener en cuenta.

- Avenida Quebradaseca con calle 17
- Avenida Quebradaseca con carrera 22
- Carrera 15 con calle 23
- Glorieta carrera 9 con Avenida Quebradaseca
- Carrera 22 con calle 12
- Calle 12 con carrera 17
- Bulevar Bolívar con calle 13
- Vía al mar por carrera 1

Del anterior listado de intersecciones preliminares, se eligen las tres siguientes para ser estudiadas, teniendo en cuenta el cumplimiento de las condiciones ya expuestas anteriormente, como lo es la cercanía entre ellas para evaluar el impacto en la malla vial adyacente, la evaluación de la existencia de datos para lo cual se realizó un oficio al Área Metropolitana de Bucaramanga consignado en el ANEXO 03 SOLICITUD DE INFORMACIÓN AMB CR-14694-2023, de donde se obtiene toda la información relacionada a volúmenes vehiculares, zonas atractoras y generadoras de viajes, submatrices de origen-destino. Se da especial atención a las intersecciones que estén más cercanas a zonas atractoras y generadoras de viajes, dispuestas en el documento de formulación del PMMM 2022-2037 del AMB.

De esta forma se tienen las siguientes tres (3) intersecciones para ser analizadas en mayor detalle y encontrarles una solución vial y/o de gestión del tránsito:

1. Avenida Quebradaseca con carrera 17.
2. Carrera 15 con calle 23.
3. Glorieta carrera 9 con Avenida Quebradaseca.

El AMB proporcionó de forma más específica las zonas de atracción y generación de viajes generales, evidenciando así que estas tres intersecciones corresponden a zonas con alta generación y atracción de viajes en el municipio de Bucaramanga.

Los volúmenes vehiculares proporcionados por el AMB son obtenidos del Modelo de Transporte de cuatro etapas que esta entidad maneja. Estos son procesados y calibrados por este modelo teniendo en cuenta los pares Origen-Destino en el área metropolitana, habiendo sido estos calibrados desde una matriz semilla generada con aforos vehiculares realizados en el año 2022 (VER ANEXO 04)



Figura 6. Mapa de calor de origen de viajes general, énfasis en la zona centro. Fuente: Informe técnico AMB CD-317233-2023

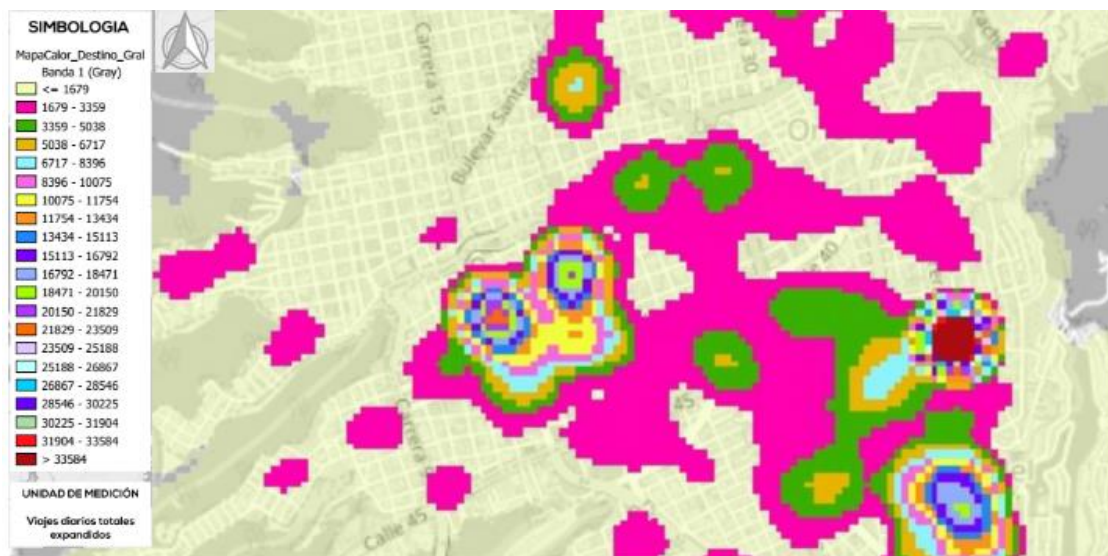


Figura 7. Mapa de calor de destino de viajes general, énfasis en la zona centro. Fuente: Informe técnico AMB CD-317233-2023

3.2. Caracterización de las zonas de estudio

A continuación, se describen las tres zonas de estudio teniendo en cuenta lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Bucaramanga:



Figura 8. Zonas normativas Bucaramanga. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

1. Avenida Quebradaseca con carrera 17.

Se encuentra ubicada en la zona normativa número 8, correspondiente a la Comuna Centro. Al analizar los sistemas estructurantes, se evidencia que a la intersección llega una vía Arteria Secundaria (Avenida Quebradaseca) y una Vía Arterial Terciaria (carrera 17).



- A. Sistema de Movilidad**
- A.1 Subsistema Infraestructura Vial**
 - Red Vial Nacional Orden 1
 - Vía Arteria Primaria
 - Vía Arteria Secundaria
 - Vía Arterial Terciaria
 - Vía Arteria Primaria Proyectada
 - Vía Arteria Secundaria Proyectada
 - Vía Arteria Terciaria Proyectada
 - Vía Local Nivel 1 Proyectada
- Intersección a desnivel
- Intersección a nivel
- A.2 Subsistema de Transporte**
 - Estaciones o Paradas de Metrolinea
 - Peatonal Exclusivo
 - Pasaje Peatonal
 - Trafico Calmado
 - Ciclorutas

Figura 9. Sistemas estructurantes zona 8 Comuna Centro. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027



Figura 10. Áreas de actividad zona 8 Comuna Centro. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

La zona aledaña a la intersección en cuestión corresponde al tipo C-3 Comercial y de servicios pesados. Es por esto que se considera una intersección de interés dado que, por

la naturaleza del sector, sobre esta circula una gran cantidad de tráfico.



Figura 11. Perfiles viales zona 8 Comuna Centro. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

Al analizar los perfiles viales de las vías en cuestión, se evidencia que corresponden a un perfil vial con código 93 correspondiente a un perfil “a consultar”. Es decir, no tiene un perfil único establecido (Av. Quebradaseca); y con código 15 correspondiente a un perfil 13.00 C (carrera 17), el cual se muestra a continuación:

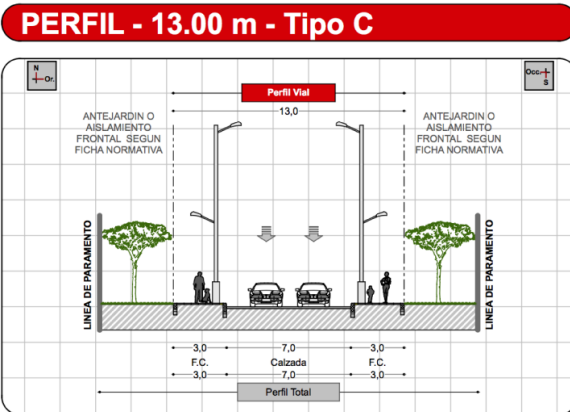


Figura 12. Perfil vial carrera 17. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

Se realiza una comparación entre los perfiles viales propuestos en el Plan de Ordenamiento Territorial POT y las mediciones realizadas mediante software de georreferenciación para la estimación de estos perfiles viales. Se realiza la comparación entre el ancho de carril de la Carrera 17 obtenido por POT (3.5 m) y el software de georreferenciación (6.5 m), estimando un error del 85%. Sin embargo, cabe aclarar que lo obtenido mediante el software de georreferenciación representa la realidad del ancho de la calzada en esta zona, por lo que se le recomienda a la DTB corroborar estos anchos de carriles. Se toma como referencia el ancho dispuesto por POT de 3,5 m para la Cra 17, y para la Av. Quebradaseca un

ancho de 3.6 m, medido en el software de georreferenciación.

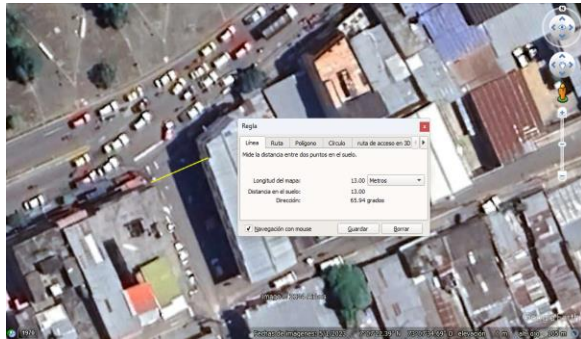


Figura 13. Perfil vial carrera 17 según software de georreferenciación. Fuente: Google Earth

Por otra parte, llevado a cabo un recorrido de la zona de influencia, se deja en evidencia la problemática de estacionamiento sobre la vía en la carrera 17 costado sur y ambos sentidos de la Avenida Quebradaseca.



Figura 14. Estacionamiento sobre la carrera 17. Fuente: elaboración propia.

2. Carrera 15 con calle 23.

Se encuentra ubicada en la zona normativa número 10, correspondiente a la Comuna San Francisco. Al analizar los sistemas estructurantes, se evidencia que a la intersección llega una vía Arteria Terciaria (Boulevard Santander), una vía Arterial Terciaria (calle 23) y una Vía Arteria Primaria (carrera 15).

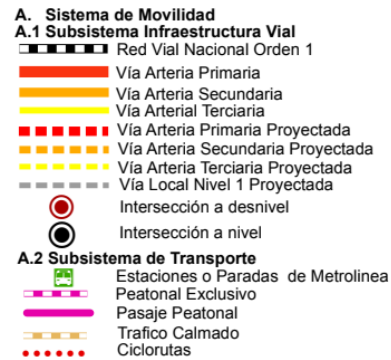
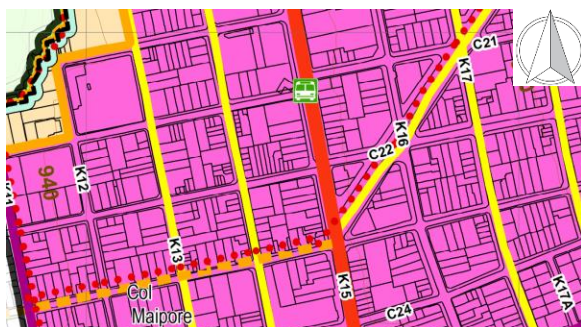


Figura 15. Sistemas estructurantes zona 10 Comuna San Francisco. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

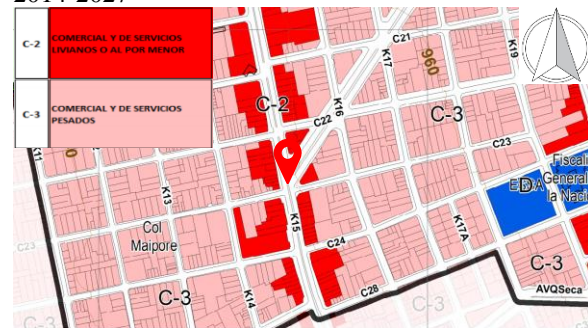


Figura 16. Áreas de actividad zona 10 Comuna San Francisco. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

La zona aledaña a la intersección en cuestión corresponde al tipo C-2 Comercial y de servicios livianos o al por menor, así como su zona aledaña corresponde al área C-3 Comercial y de servicios pesados.



Figura 17. Perfiles viales zona 10 Comuna San Francisco. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

Al analizar los perfiles viales de las vías en cuestión, se evidencia que corresponden a un perfil vial con código 85 correspondiente a un perfil “32.00 A” (carrera 15); código 45 correspondiente a un perfil “16.00 E” (calle

23) y código 84 correspondiente a un perfil “30.00 A” (Boulevard Santander). Los perfiles se muestran a continuación:

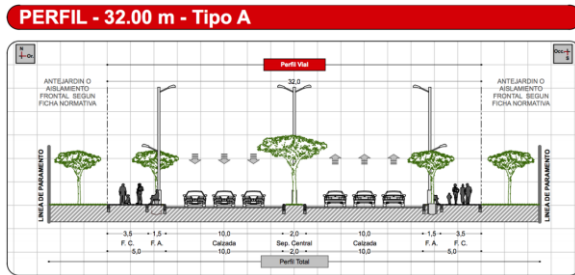


Figura 18. Perfil vial carrera 15. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

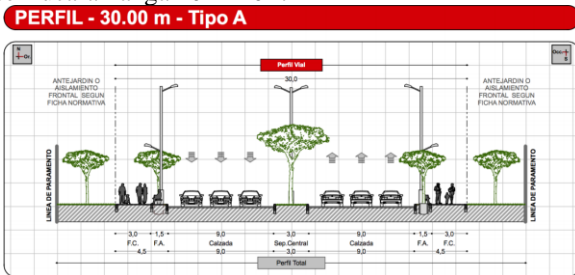


Figura 19. Perfil vial Boulevard Santander. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

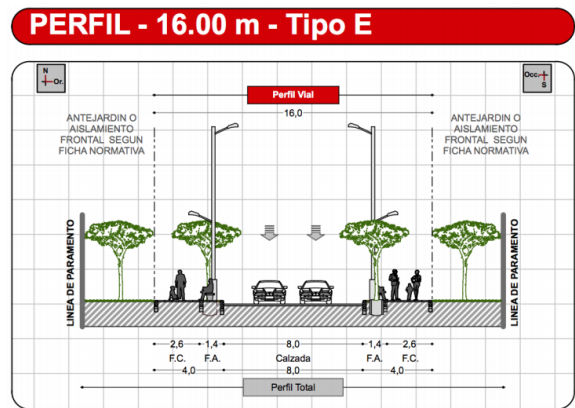


Figura 20. Perfil vial calle 23. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

Se realiza una comparación entre los perfiles viales propuestos en el Plan de Ordenamiento Territorial POT y las mediciones realizadas mediante software de georreferenciación para la estimación de estos perfiles viales. Se realiza la comparación entre el ancho de carril de la carrera 15 obtenido por POT (3.3 m) y el software de georreferenciación (3.3 m), estimando un error del 0% y usándose este ancho de carril para la modelación. Para la calle 23, el POT presenta un ancho de carril de 4.0 m

y el software de georreferenciación un ancho de 3.3 m. Se usa el ancho de carril de 3.3 m para la modelación en la Carrera 15. Finalmente, para el Boulevard Santander un ancho de carril de 3.3 m referido por el software de georreferenciación frente a un 3.0 m planteado por el POT.



Figura 21. Perfil vial carrera 15 según software de georreferenciación. Fuente: Google Earth

3. Glorieta carrera 9 con Avenida Quebradaseca. Se encuentra ubicada en la zona normativa número 9, correspondiente a la Comuna Occidente. Al analizar los sistemas estructurantes, se evidencia que a la glorieta llegan tres importantes vías: la carrera 9 (vía Arteria Secundaria), la carrera 10 (se proyecta como una vía Arteria Secundaria) y la Av. Quebradaseca (vía Arteria Secundaria). Es una intersección importante ya que comunica el sector oriental de Bucaramanga con el resto del municipio.





Figura 22. Sistemas estructurantes zona 9 Comuna Occidente. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

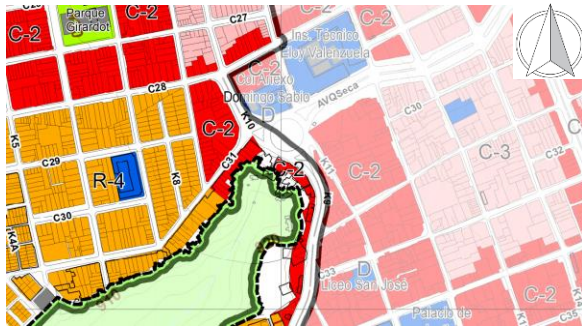


Figura 23. Áreas de actividad zona 9 Comuna Oriente. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

La zona aledaña a la intersección tiene una variedad de equipamientos, dentro de los que se encuentra el C-2 Comercial y de servicios livianos o al por menor y dotacional.

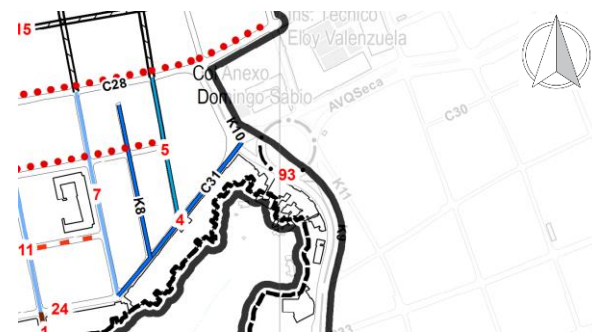


Figura 24. Perfiles viales zona 9 Comuna Oriente. Fuente: POT municipio de Bucaramanga 2014-2027

Al analizar los perfiles viales de las vías en cuestión, se evidencia que corresponden a un perfil vial con código 93 correspondiente a un perfil “por consultar”. Esto

representa que no se tiene total claridad en los perfiles viales que llegan a la zona de la intersección.

Se realiza una comparación entre los perfiles viales propuestos en el Plan de Ordenamiento Territorial POT y las mediciones realizadas mediante software de georreferenciación para la estimación de estos perfiles viales. Para la presente intersección, no se cuenta con perfiles viales definidos por POT, por lo que se utiliza el ancho de carril obtenido desde el análisis en software (ancho de carril de 3.6 m). Respecto a la carrera 10, según software de georreferenciación se tiene un ancho de 3.2 m, considerado para la modelación.

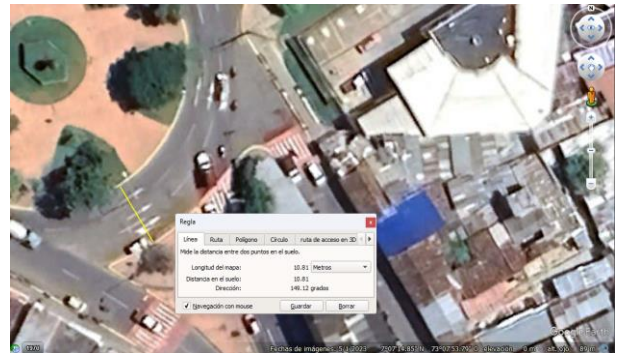


Figura 25. Perfiles viales analizados en la glorieta de la carrera 9 desde software. Fuente: Google Earth.

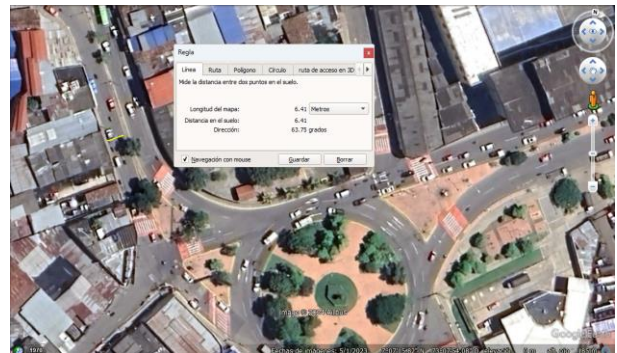


Figura 26. Perfiles viales analizados de la carrera 10 en software de georreferenciación. Fuente: Google Earth.

3.2.1. Volúmenes vehiculares

Los volúmenes vehiculares han sido proporcionados por el Área Metropolitana de Bucaramanga AMB, mediante oficio CD-317233-2023. En este se incluye la información de flujos vehiculares, así como las submatrices de cada una de las intersecciones de análisis para su posterior procesamiento. Se consignan en el ANEXO 05. INFORME TÉCNICO AMB CD-317233-2023.

3.3. Planteamiento de alternativas de solución vial y/o de gestión del tránsito

Para el planteamiento de alternativas es necesario realizar una caracterización vial que permita visualizar el escenario actual de las tres intersecciones, esta caracterización se presenta en el ANEXO 06. CARACTERIZACION VIAL

3.3.1. Avenida Quebradaseca - carrera 17

3.3.1.1. Alternativa 1. Avenida Quebradaseca - carrera 17

Esta alternativa comprende la realización de dos calzadas a desnivel correspondientes a la Avenida Quebradaseca sentido oriente-occidente y viceversa. Cada calzada a desnivel cuenta con dos carriles por sentido que permite el flujo libre de los vehículos que se direccionan en este sentido ya que no son detenidos por la intersección semaforizada de la carrera 18 con Avenida Quebradaseca. Adicional a esto, se le suma a la Avenida Quebradaseca entre carreras 17 y 18 un carril extra en las calzadas oriente-occidente y viceversa. En lo que respecta a las otras vías aledañas, mantienen su perfil vial actual.

Para la solución de la problemática de estacionamiento sobre la vía mostrado en la sección 3.2, se propone la implementación de hitos plásticos sobre la carrera 17 costado sur que divida los carriles de circulación para que el tráfico autorregule esta problemática. Es decir, que si un vehículo estaciona sobre la vía, entorpecerá la

operación de esta, razón por la cual no será posible realizar dicho estacionamiento y deberá retirarse del lugar. Adicional a ello, se le suma los controles viales y labores de despeje que realice la Dirección de Tránsito de Bucaramanga DTB.

Para facilitar la incorporación fácil y segura de los vehículos salientes del desnivel nuevamente hacia la Avenida Quebradaseca se propone la instalación de estoperoles que reduzcan la velocidad de los vehículos circulantes sobre la Avenida Quebradaseca (a nivel), siendo estos quienes cedan el paso.

Lo planteado anteriormente permite que la Avenida Quebradaseca, en el sector oriental a la carrera 18 (sector comprendido entre carreras 17, 16, 15) tengan una mayor fluidez vehicular, mejorando la operación de la glorieta de la y, a su vez, el nivel de servicio actual de la carrera 18 con Avenida Quebradaseca.

Los peatones tienen pasos seguros en las intersecciones, pues estas cuentan con un amplio espacio para su circulación y bahías de espera seguras. Además, estas travessías están protegidas por los dispositivos semaforicos existentes.

La construcción de este tipo de solución vial deja un total de 8.515 m² de espacio público dispuesto para el aprovechamiento de los peatones y personas del sector, así como para una recuperación de las zonas ambientales que puedan verse afectadas.

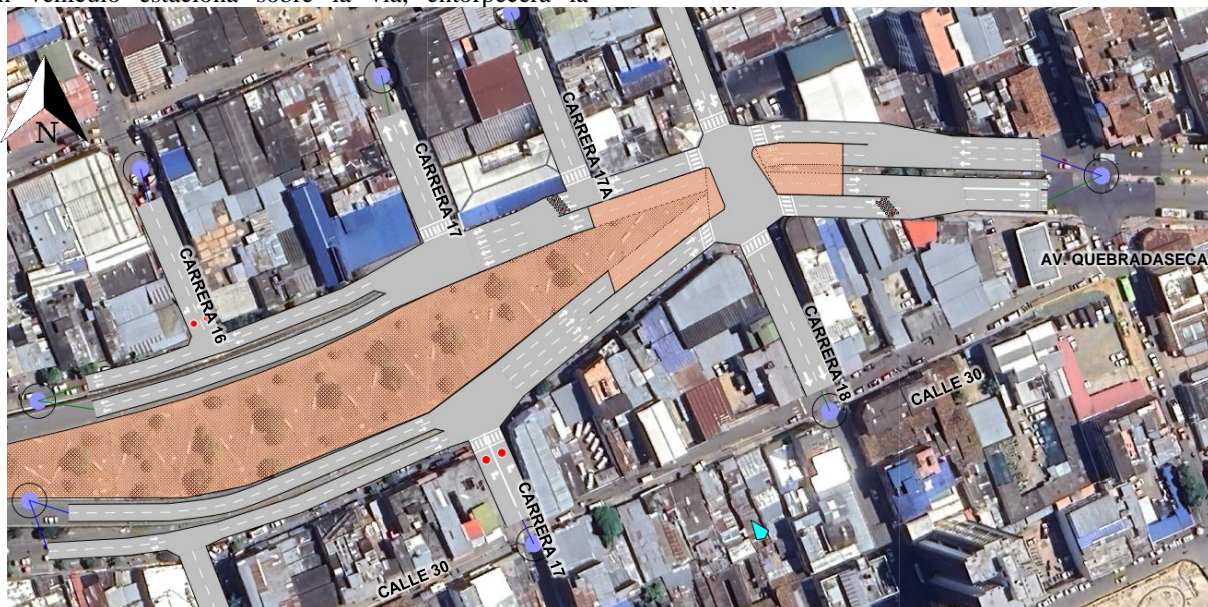


Figura 27. Alternativa 1. Avenida Quebradaseca - carrera 17. Fuente: elaboración propia.

3.3.1.1. Alternativa 2. Avenida Quebradaseca - carrera 17

La segunda solución para esta intersección consiste en una glorieta con un diámetro interno de quince (15) metros, compuesta de tres carriles de tres (3.0) metros cada uno. Esta glorieta reemplazaría la intersección semaforizada de la carrera 18, dándole fluidez al tráfico circulante en la zona de influencia. En lo que respecta a las otras vías aledañas, mantienen su perfil vial actual.

Sin embargo, al ser una intersección que no tiene regulación semafórica, se considera que las velocidades de operación puedan aumentar y, con ello, los riesgos para los peatones, que, aunque tienen pasos demarcados estos pueden no ser respetados y generar siniestros viales.

De igual forma, al ser las glorietas un tipo de infraestructura vial que requiere de conciencia y cultura ciudadana puede llegar a ser un escenario que no logre

reducir los índices de siniestralidad vial considerando los conflictos que puedan llegar a presentarse y el constante flujo vehicular sobre la intersección.

Así como la solución 1, para la presente intersección se propone la implementación de hitos plásticos sobre la carrera 17 costado sur que divida los carriles de circulación para que el tráfico autorregule esta problemática. Es decir, que, si un vehículo estaciona sobre la vía, entorpecerá la operación de esta, razón por la cual no será posible realizar dicho estacionamiento y deberá retirarse del lugar. Adicional a ello, se le suma los controles viales y labores de despeje que realice la Dirección de Tránsito de Bucaramanga DTB.

La construcción de este tipo de solución vial deja un total de 8.552 m² de espacio público dispuesto para el aprovechamiento de los peatones y personas del sector, así como para una recuperación de las zonas ambientales que puedan verse afectadas.



Figura 28. Alternativa 2. Avenida Quebradaseca - carrera 17. Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Carrera 15 – calle 23

3.3.2.1. Alternativa 1. Carrera 15 – calle 23

Esta intersección actualmente tiene restricción de giros en lo que respecta a la calle 23. Se propone una intersección a nivel donde los vehículos provenientes de la calle 23 puedan continuar por la misma calle o girar por la carrera 15 para continua por la carrera o por el

Boulevard Santander. Dada a su cercanía entre la intersección de la carrera 15 y el Boulevard Santander, se considera una misma intersección.

Adicional a lo anterior, se propone que en este punto la carrera 15 continúe su trayectoria mediante un desnivel que inicia desde antes de la carrera 23 y finaliza antes de la carrera 22, y viceversa. Este paso a desnivel permite

descongestionar la intersección de la carrera 15 con Boulevard Santander ya que no interferiría con los demás giros de la intersección.

La construcción del anterior paso deprimido requiere que se amplíe el perfil vial que pasa de tener dos (2) carriles por calzada a tener cuatro carriles, con un paso intermedio a tres (3) carriles para evitar efectos de “embotellamientos”. Se requieren de cuatro carriles para que dos de ellos se dispongan al paso a desnivel y los otros dos atiendan a los giros de la intersección ya existente.

En lo que respecta a la seguridad vial, se disponen de bahías amplias de espera para los peatones, así como diversos pasos peatonales dispuestos y protegidos por dispositivos semafóricos. Desagregar el paso de la carrera 15 por la intersección a nivel apacigua el tráfico

en circulante en dicha intersección. Asimismo, se requiere que la intersección lleve de marcación antibloqueo para que los vehículos no entorpezcan la operación de la misma.

El desarrollo de la presente solución vial requiere la afectación de predios aledaños que se encuentran sobre la carrera 15 dada la proyección de la ampliación del perfil vial de esta vía.

En total, la construcción de solución vial dejaría un área de espacio público de 654 m² dispuestos para el aprovechamiento de los peatones y personas del sector, así como para una recuperación de las zonas ambientales que puedan verse afectadas.



Figura 29. Alternativa 1. Carrera 15 – calle 23. Fuente: elaboración propia.

3.3.2.1. Alternativa 2. Carrera 15 – calle 23

La presente alternativa corresponde a la construcción de una glorieta a nivel de radio interno de quince (15) metros, compuesta de tres (3) carriles con ancho de tres (3.3) metros. La disposición de dicha glorieta permite eliminar la intersección semafórica existente la intersección de la carrera 15 con Boulevard Santander y con ello un aumento en las velocidades de operación sobre esta malla vial. El resto de las vías aledañas a la intersección mantienen sus perfiles viales actuales.

En materia de seguridad vial, puede darse el caso en que no se reduzcan los índices de siniestralidad vial dado el constante flujo vehicular sobre la intersección, situación que complica las travesías peatonales. A pesar de ello, se dispone de una señalización vial dispuesta para proteger a estos actores viales y darles prevalencia en la vía.

Para la construcción de dicha glorieta se requiere la afectación de aquellos predios que se encuentran ubicados sobre la carrera 15. Sin embargo, en el centro de la glorieta se dispone de un espacio público de 707 m² que puede ser usado para el aprovechamiento de los

peatones y personas del sector, así como para una recuperación de las zonas ambientales que puedan verse afectadas.

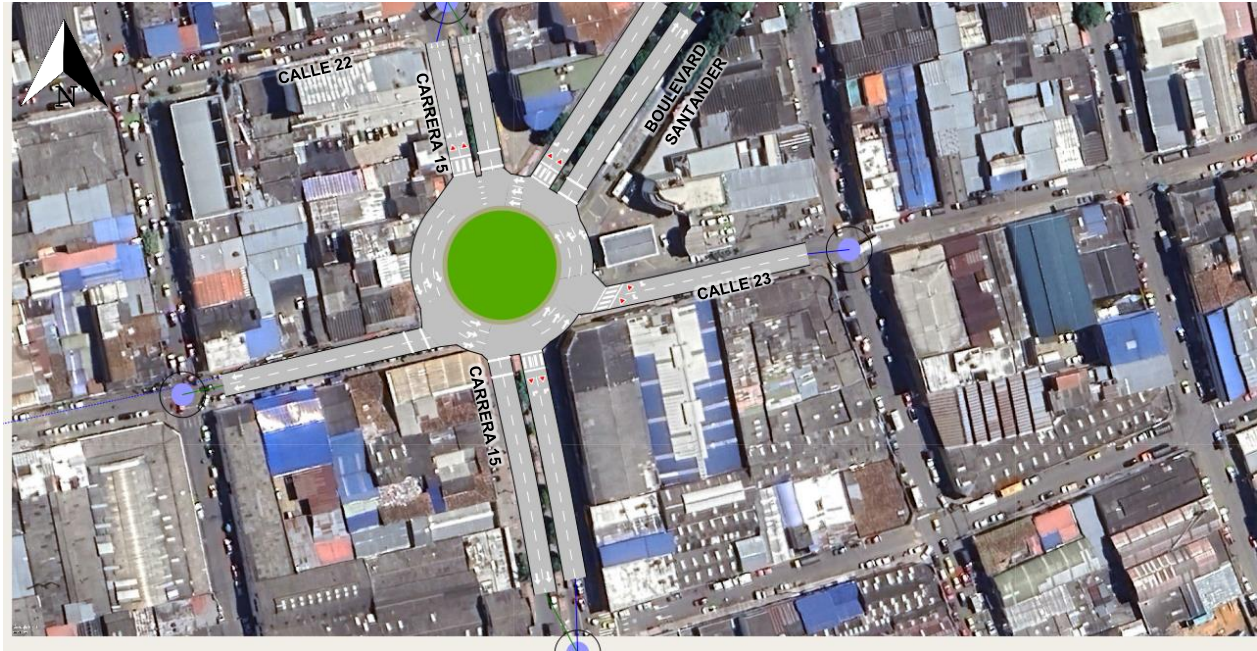


Figura 30. Alternativa 2. Carrera 15 – calle 23. Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Avenida Quebradaseca – carrera 9

3.3.3.1. Alternativa 1. Avenida Quebradaseca – carrera 9

La intersección se caracteriza por ser una glorieta con un alto flujo vehicular que se congestiona fácilmente debido a que todo este tráfico se concentra en la glorieta y no tiene alternativas para ser evacuada. Para la presente solución se plantea un paso elevado correspondiente a la extensión de la avenida quebrada seca hacia la carrera novena, haciendo que este giro hoy se ha realizado de forma directa sin interferir en la glorieta como el lugar donde se realizan las diferentes maniobras que presenta la intersección.

El paso elevado consta de dos (2) carriles por calzada con un ancho de carril de 3.3 metros, a los cuales se accede desde una ampliación de la calzada actual, pasando de tener dos (2) carriles de un ancho de 3.6 metros, a tener tres (3) carriles del mismo ancho. Eso con el fin de evitar el efecto “embotellamiento” en el momento que los

vehículos ingresen o salgan de dicho paso elevado. El resto de las vías aledañas a la intersección continúan con los mismos perfiles viales actuales.

En materia de seguridad vial, la intersección cuenta con numerosos pasos peatonales ubicados de forma estratégica para que las travessías se den en lugares donde se tenga plena visibilidad del peatón y puedan llegar a bahías seguras para ellos. De igual forma, se cuenta con el espacio público suficiente para realizar travessías cómodas y seguras considerando que la glorieta no tiene ciclos semafóricos que puedan proteger a estos actores viales. De igual forma, el hecho de descargar el tráfico proveniente de la Avenida Quebradaseca y que se dirija hacia la carrera 9, y viceversa, hace que la glorieta tenga un tráfico apaciguado y mejore su operación.

En total, esta solución cuenta con 2762 m² dispuestos para el aprovechamiento de los peatones y personas del sector, así como para una recuperación de las zonas ambientales que puedan verse afectadas.



Figura 31. Alternativa 1. Avenida Quebradaseca – Carrera 9. Fuente: elaboración propia.

3.3.3.2. Alternativa 2. Avenida Quebradaseca – carrera 9

Con esta alternativa se busca, de forma similar a la alternativa uno, disminuir el flujo vehicular que accede a la glorieta proveniente de la Avenida Quebradaseca y que se dirige hacia la carrera 9, y viceversa. Para esto, se dispone que los viajes que se realizan desde la carrera 9 hacia la avenida quebrada seca sean realizados a través de un desnivel de 2 carriles de ancho de 3.6 metros, mediante el cual los vehículos podrán evitar acceder a la glorieta para continuar con su trayecto.

Por otra parte, se propone la ampliación del costado occidental de la glorieta existente junto con un segmento de la carrera 10, pasando la carrera 10 de tener dos (2)

carriles de 2.8 m a tener tres (3) del mismo ancho, y la glorieta pasando de tener tres (3) carriles a cuatro (4) del mismo ancho.

Esta solución, igual que la alternativa 1, cuenta con numerosos pasos peatonales ubicados de forma estratégica para garantizar la visibilidad de los peatones y travesías cortas. Asimismo, dichas travesías llegan a bahías amplias y seguras.

En total, esta solución cuenta con 4077 m² dispuestos para el aprovechamiento de los peatones y personas del sector, así como para una recuperación de las zonas ambientales que puedan verse afectadas.

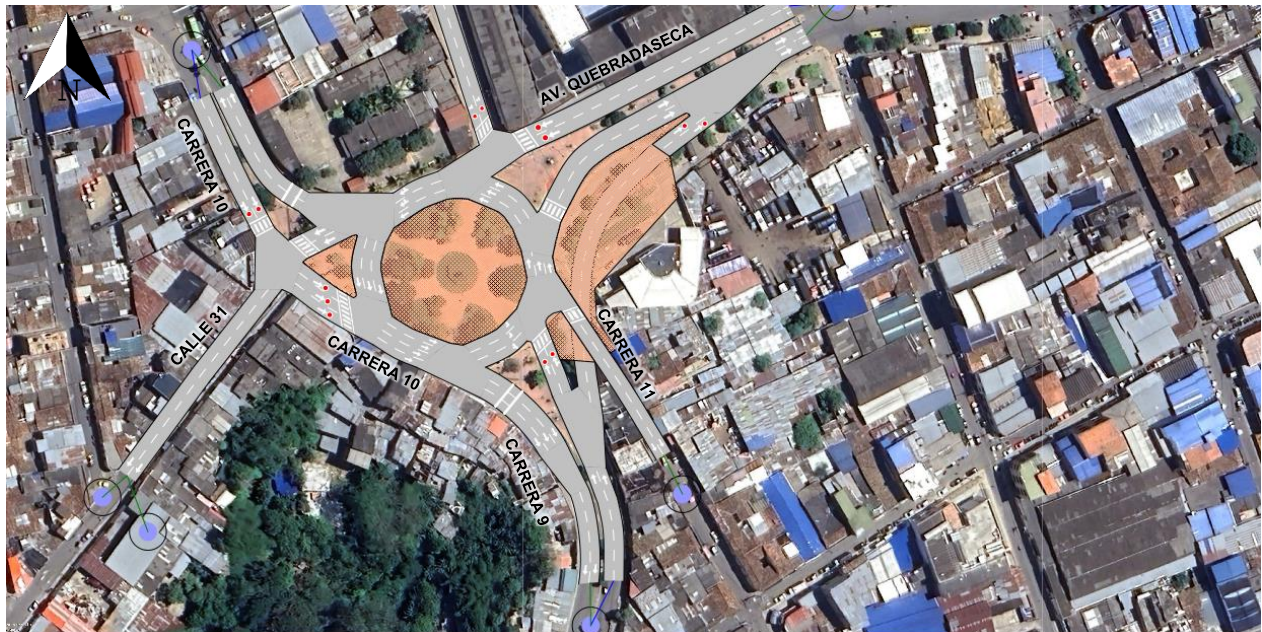


Figura 32. Alternativa 2. Avenida Quebradaseca – Carrera 9. Fuente: elaboración propia.

3.4. Niveles de servicio por intersección antes y después de la solución vial y/o de gestión del tránsito

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las micro simulaciones realizadas de cada uno de los escenarios propuestos, correspondientes a los años 0, 5, 10, y 15 de entrada en operación de dichos escenarios. Con este fin, se utilizaron proyecciones de tránsito teniendo como valor del área metropolitana de Bucaramanga 2018-2022 publicados por la dirección de tránsito de Bucaramanga DTB en su página oficial, haciendo uso de la siguiente ecuación para cada uno de

los medios de transporte considerados en las matrices Origen-Destino proporcionadas por el AMB:

$$T_n = T_0(1 + r)^{n-1}$$

Donde:

- T_n corresponde a los viajes futuros
- T_0 corresponde a los viajes actuales
- r corresponde a la tasa de crecimiento
- n corresponde a los años en estudio

INCREMENTO PARQUE AUTOMOTOR ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA A DICIEMBRE AÑOS 2018 A 2022								
No	CLASE	TOTAL PARQUE AUTOMOTOR ÁREA METROPOLITANA A DIC 2018	TOTAL PARQUE AUTOMOTOR ÁREA METROPOLITANA A DIC 2019	TOTAL PARQUE AUTOMOTOR ÁREA METROPOLITANA A DIC 2020	TOTAL PARQUE AUTOMOTOR ÁREA METROPOLITANA A DIC 2021	TOTAL PARQUE AUTOMOTOR ÁREA METROPOLITANA A DIC 2022	DIF AÑO 2021-2022	% VARIACIÓN DIF AÑO 2021-2022
1	AUTOMÓVIL	160.411	164.916	161.884	165.310	170.264	4.954	3,0%
2	BUS	4.514	4.972	3.583	3.564	3.837	273	7,7%
3	BUSETA	4.045	4.924	3.579	3.549	3.570	21	0,6%
4	CAMIÓN	17.405	17.320	16.665	17.332	18.449	1.117	6,4%
5	CAMIONETA	60.173	62.819	64.906	68.036	70.929	2.893	4,3%
6	CAMPERO	23.883	23.759	23.498	23.870	24.464	594	2,5%
7	MICRO BUS	3.856	4.653	3.431	3.431	3.609	178	5,2%
8	TRACTO CAMIÓN	5.983	6.207	5.688	5.916	6.583	667	11,3%
9	VOLQUETA	3.047	3.095	3.076	3.197	3.311	114	3,6%
10	MOTOCICLETA	410.651	445.045	462.379	493.521	528.835	35.314	7,2%
11	MAQ.AGRICOLA	53	62	62	80	60	-20	-25,0%
12	MAQ. INDUSTRIAL	23	36	31	39	657	618	1584,6%
13	MOTOCARRO	1.009	1.151	1.348	1.728	2.213	485	28,1%
14	MAQ.CONSTRUCCION	-	733	875	1.097	662	-435	-39,7%
15	MOTO TRICICLO	28	8	9	10	13	3	30,0%
16	CICLOMOTOR	-	73	125	154	196	42	27,3%
17	CUATRIMOTO	223	223	233	238	251	13	5,5%
18	CUADRICICLO	-	11	11	20	25	5	25,0%
19	REMOLQUE	7.280	1.414	1.455	1.600	1.868	268	16,8%
20	SEMIREMOLQUE	486	6.453	6.863	7.348	9.115	1.767	24,0%
21	MINIBÚS	5	5	5	5	-	-5	-100,0%
22	SIN CLASE	-	1	-	-	89	89	100,0%
	TOTAL MUNICIPIO	703.075	747.878	759.706	800.045	849.000	48.955	6,1%

Figura 33. Parque automotor metropolitano 2018-2022. Fuente: página web Dirección de Tránsito de Bucaramanga.

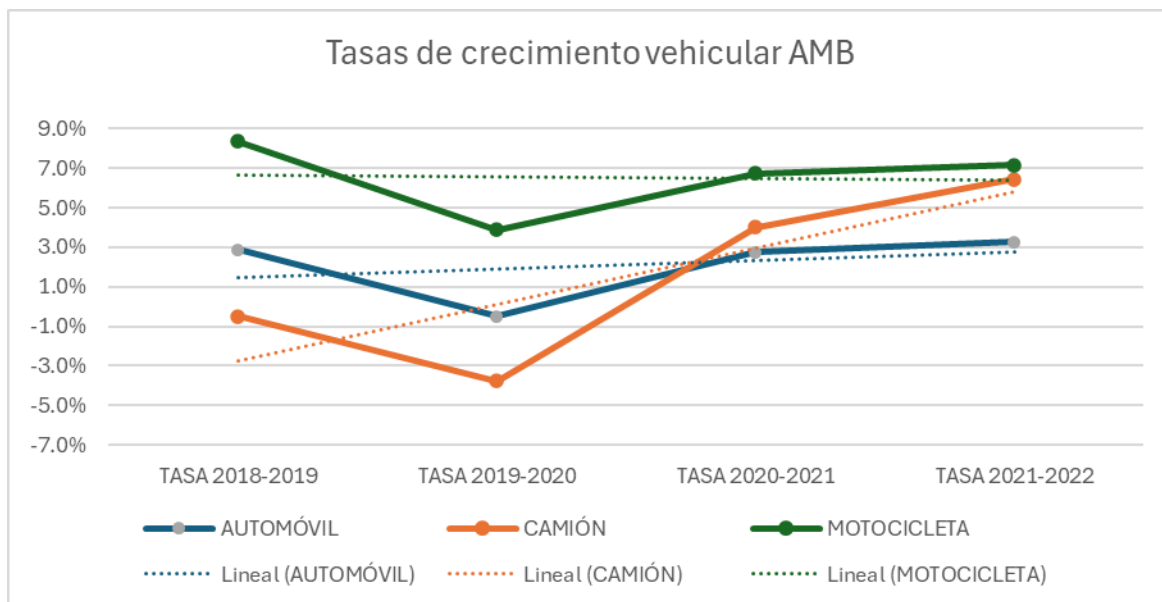


Figura 34. Tasas de crecimiento del parque automotor 2018-2022. Fuente: a partir de datos de la Dirección de Tránsito Bucaramanga DTB.

Tabla 2. Tasas de crecimiento del parque automotor utilizadas.

	AUTOMÓVIL	CAMIÓN	MOTOCICLETA
TASA 2018-2019	2.9%	-0.5%	8.4%
TASA 2019-2020	-0.5%	-3.8%	3.9%
TASA 2020-2021	2.8%	4.0%	6.7%
TASA 2021-2022	3.3%	6.4%	7.2%
Promedio tasas	2.1%	1.5%	6.5%

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Dirección de Tránsito Bucaramanga DTB.

Tabla 3. Factores multiplicativos para proyección de matrices O-D.

FACOR MULTIPLICATIVO $(1+r)^{(n-1)}$			
AÑO	AUTOMÓVIL	CAMIÓN	MOTOCICLETA
AÑO 5	1.0872	1.0632	1.2884
AÑO 10	1.2069	1.1479	1.7686
AÑO 15	1.3398	1.2393	2.4277

Fuente: elaboración propia.

3.5. Matriz multicriterio para la selección de las soluciones viales

Para el estudio de alternativas de mejoramiento que faciliten el análisis y la toma de decisiones es necesario analizar la calidad del diseño de una carretera con base en criterios técnicos, funcionales, estéticos, ambientales, socioeconómicos, de entorno y de seguridad. (Manual de

Diseño Geométrico de Carreteras, 2008). Entre estos criterios resaltan los siguientes:

3.4.1 Ambiental: El factor ambiental evalúa las acciones tendientes a minimizar, controlar, prevenir, mitigar y/o corregir los impactos ambientales, que se pueden causar por la ejecución de las obras. (Guía ambiental para

proyectos de infraestructura, 2011). Por esto es importante que las alternativas disminuyan los tiempos de viaje generando beneficios en tiempos y congestiones, minimizando las emisiones nocivas que generan un impacto ambiental.

Alto: Se concibe como factor ambiental alto cuando la alternativa cuenta con una propuesta de zonas verdes para la comunidad mejorando la capa ambiental del entorno.

Medio: Hace referencia a la alternativa que cuenta con menor espacio libre para la aplicación de zonas verdes.

Bajo: Esta alternativa no cuenta con ninguna propuesta ambiental que favorezca a la comunidad y a su entorno.

3.4.2 Estética: Se debe buscar una armonía de la vía con respecto a dos puntos de vista, el exterior o estático y el interior o dinámico. El estático se refiere a la adaptación de la vía con el entorno y la comunidad, mientras que el dinámico se refiere a lo agradable y cómoda que sea la vía para el conductor. (Agudelo, 2002).

Alto: Representa una solución con una propuesta de urbanismo que genere una mejor adaptación para la comunidad y para los conductores teniendo en cuenta la armonía desde ambos puntos de vista.

Medio: La solución contiene una propuesta urbanística media que no favorece el entorno y podría generar una menor adaptación de la comunidad.

Bajo: Esta alternativa no tiene en cuenta la armonía entre el entorno y la vía, generando congestión visual.

3.4.3 Funcionalidad: Esta es definida por el tipo de vía, sus características físicas, como la capacidad, el nivel de servicio y las propiedades del tránsito como son el volumen y su composición vehicular. (Agudelo, 2002). El nivel de servicio y los volúmenes obtenidos en las alternativas propuestas se presentan en la tabla 7.

Alto: El factor de funcionalidad alto representa el nivel de servicio más alto que ofrece la alternativa a 0, 5, 10 y 15 años lo que genera un

buen desarrollo de la movilidad en esta propuesta, considerando también las colas de la red, así como las velocidades medias.

Medio: Esta alternativa ofrece un nivel de servicio intermedio lo que genera un desarrollo medio de la movilidad, aumentando las colas de la red y las velocidades medias con respecto al factor funcional alto.

Bajo: Este factor representa el nivel de servicio más bajo lo que implica que en la red habrán altos tiempos de demora y de esta manera una posible congestión en la red vial.

3.4.4 Entorno: Se debe tener en cuenta el uso del suelo, este está determinado en el POT o PBOT de cada ciudad. Así mismo, se debe procurar minimizar al máximo el impacto social, económico y cultural que genera la construcción de una vía. Se debe buscar la mayor adaptación física posible a la topografía existente y el menor impacto a los predios existentes. (Agudelo, 2002).

Alto: Se considera factor de entorno alto cuando la alternativa compromete la menor cantidad de predios existentes para minimizar al máximo el impacto socioeconómico.

Medio: Esta alternativa cuenta con un número de predios afectados que generan una afectación media a nivel socioeconómico de la zona.

Bajo: El factor de entorno bajo hace referencia a la alternativa que comprometa la mayor cantidad de predios existentes.

3.4.5 Seguridad vial: Este factor representa el número de pasos o bahías peatonales en la intersección en análisis que permita la circulación eficiente y segura de los peatones que concurren en la zona de influencia.

Con el fin de realizar una selección que comprenda el mayor grado de cumplimiento de los objetivos, la matriz multicriterio como procedimiento de selección de alternativas permite de manera simultánea un análisis de los criterios de valoración establecidos.

A continuación, se presentan las matrices aplicadas para las tres intersecciones seleccionadas con el fin encontrarles una solución vial y/o de gestión del tránsito que posea un mayor grado de cumplimiento.

Tabla 4. Matriz multicriterio Av. Quebradaseca con carrera 17.

MATRIZ MULTICRITERIO Av. QUEBRADASECA – CARRERA 17			
FACOTRES	ACTUAL	SLN1	SLN2
Ambiental	Medio	Alto	Alto
Estético	Bajo	Alto	Medio
Funcional	Medio	Alto	Alto
Espacio público	Medio	Alto	Alto
Predios afectados	0	11	6
Cantidad de mov.	5	5	9
Seguridad vial	7	12	11

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Matriz multicriterio carrera 15 con calle 23.

MATRIZ MULTICRITERIO CARRERA 15 – CALLE 23			
FACOTRES	ACTUAL	SLN1	SLN2
Ambiental	Bajo	Alto	Alto
Estético	Medio	Alto	Medio
Funcional	Medio	Alto	Medio
Espacio público	Bajo	Medio	Alto
Predios afectados	0	14	9
Cantidad de mov.	8	10	16
Seguridad vial	8	9	8

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Matriz multicriterio Av. Quebradaseca con carrera 9.

MATRIZ MULTICRITERIO Av. QUEBRADASECA – CARRERA 9			
FACOTRES	ACTUAL	SLN1	SLN2
Ambiental	Bajo	Medio	Alto
Estético	Medio	Medio	Alto
Funcional	Bajo	Alto	Medio
Espacio público	Bajo	Medio	Alto
Predios afectados	0	26	19
Cantidad de mov.	12	12	12
Seguridad vial	13	13	14

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

Considerando la extensión de los resultados obtenidos de las microsimulaciones de tránsito de cada una de las soluciones planteadas y sus proyecciones a 5, 10 y 15 años, estos se consignan en la tabla 7 y se da su respectivo análisis en la siguiente sección *Análisis de resultados*.

5. Análisis de resultados

En total, se hicieron 27 microsimulaciones de tráfico de todos los escenarios planteados para las soluciones de movilidad de cada una de las intersecciones seleccionadas. De esta se obtienen los datos del nivel de servicio de la intersección en cuestión, las velocidades promedio de la red en general y la cola media de vehículos que se presenta en la red.

Una vez definidas las alternativas y analizadas las variables que generan mejoramiento de movilidad vehicular en cada intersección, se realizó una comparación entre el escenario base y las alternativas planteadas descritas en el capítulo 3.5 y teniendo en cuenta los resultados obtenidos mostrados a continuación, se evidencia que:

Tabla 7. Resultados de microsimulaciones.

AVENIDA QUEBRADASECA CON CARRERA 17								
NIVEL DE SERVICIO NDS			VELOCIDADES PROMEDIO			COLA MEDIA [VEH]		
AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
BASE	9.14		BASE	20.38		BASE	16.59	
AÑO 0	6.31 A	0.84 A	AÑO 0	22.66	33.36	AÑO 0	9.97	7.82
AÑO 5	6.41 A	1.41 A	AÑO 5	21.56	28.66	AÑO 5	14.5	19.06
AÑO 10	11.27 B	2.67 A	AÑO 10	16.25	20.37	AÑO 10	43.69	48.64
AÑO 15	14.36 B	3.25 A	AÑO 15	13.83	19.07	AÑO 15	75.95	60.23
CARRERA 15 CON CALLE 23								
NIVEL DE SERVICIO NDS			VELOCIDADES PROMEDIO			COLA MEDIA [VEH]		
AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
BASE	12.45		BASE	18.08		BASE	40.24	
AÑO 0	6.52 A	13.45 B	AÑO 0	19.00	14.61	AÑO 0	50.71	71.1
AÑO 5	6.58 A	13.69 B	AÑO 5	18.92	14.18	AÑO 5	51.19	73.86
AÑO 10	8.94 A	15.45 B	AÑO 10	18.08	12.42	AÑO 10	63.84	91.1
AÑO 15	12.96 B	15.78 B	AÑO 15	17.24	12.26	AÑO 15	79.01	96.52
AVENIDA QUEBRADASECA CON CARRERA 9								
NIVEL DE SERVICIO NDS			VELOCIDADES PROMEDIO			COLA MEDIA [VEH]		
AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	AÑO	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
BASE	8.74		BASE	14.36		BASE	41.33	
AÑO 0	1.11 A	2.54 A	AÑO 0	21.08	14.49	AÑO 0	10.34	15.76
AÑO 5	1.63 A	3.09 A	AÑO 5	19.8	10.76	AÑO 5	14.23	57.41
AÑO 10	2.19 A	6.22 A	AÑO 10	14.83	9.30	AÑO 10	47.75	79.04
AÑO 15	4.79 A	7.94 A	AÑO 15	11.95	9.15	AÑO 15	104.59	89.99

Fuente: elaboración propia.

- La solución para la avenida Quebradaseca con carrera 17, que obtuvo mejores resultados fue la solución número 2 (ver figura 24) correspondiente a una glorieta a nivel, debido a que presenta unos muy buenos niveles de servicio (pasando de 9.14 correspondiente al estado actual a 0.84, aunque ambos niveles de servicio sean A, es mucho más bajo que el actual), altas velocidades de operación y pocos niveles de cola de vehículos en la red. Sin embargo, de acuerdo con la matriz multicriterio en el aspecto estético podría mejorar. Un punto a favor de esta solución es la poca cantidad de predios afectados para su desarrollo, por lo que su costo podría ser menor en comparación con la otra alternativa que plantea la construcción de pasos a desnivel.
 - Para la carrera 15 con calle 23 la solución que mejor se adapta a las necesidades del tráfico en la zona es la solución número uno (ver figura 25), correspondiente a transformar la carrera 15 a un paso a desnivel. Esta solución cuenta con unos buenos parámetros como se refleja en la tabla 5, aunque con aspectos por mejorar como lo es el espacio público. Presenta unas velocidades de operación un poco superiores a las actuales, pero con un mejor nivel de servicio. Su ejecución puede resultar un poco más costosa que la ejecución de la otra alternativa (glorieta a nivel), pero en lo que respecta a colas medias, niveles de servicio y velocidades de operación (funcionalidad), la solución no satisface las necesidades de mejora. Estos factores también se ven afectados por la intersección semafórica de la carrera 15 con calle 22 que interrumpe la fluidez de la carrera 15 y todo el tráfico que esta acumula.
 - El escenario que mejor funciona para la Avenida Quebradaseca con carrera 9 es el escenario 1 (ver figura 27), dado que presenta unos niveles de servicio menores comparados con la otra alternativa (paso a desnivel con ampliación de un carril de la glorieta existente), una velocidad promedio superior en todos los escenarios proyectados y, en su mayoría, una cola media de vehículos inferior a la otra alternativa. Sin embargo, se evidencia un aumento significativo en esta cola de vehículos para el año 15. En comparación con la alternativa 2, no se supone una mayor diferencia en costos dado que ambos proyectos son de alta magnitud y requieren una alta inversión.
- ## 6. Conclusiones y Recomendaciones
- Las soluciones planteadas requieren de un diseño geométrico acorde a las necesidades y la realidad de los perfiles viales y demás características de las zonas. Los utilizados en el presente proyecto se tomaron de forma indicativa del Plan de Ordenamiento Territorial e imágenes satelitales.
 - Se hace necesario analizar los tiempos semafóricos de las intersecciones adyacentes fuera de la zona de influencia de cada una de las intersecciones analizadas dado que pueden ser los causales a que se presenten colas y tiempos de demora elevados en los resultados obtenidos de cada una de las micro simulaciones

realizadas, en específico en la carrera 15 con calle 22.

- Aunque el análisis en software de microsimulación de tráfico permite tener nociones de cómo podría ser el comportamiento vial ante las modificaciones de infraestructura y/o gestión del tránsito, es un alcance cercano a la realidad, pues puede tener imprecisiones partiendo de su estado ideal en la conducción y participación de los diferentes actores viales en la cotidianidad.
- Es de gran importancia hacer un estudio de tránsito debido a que con esta herramienta se puede predecir el comportamiento del tráfico ante cualquier eventualidad, modificación de la infraestructura vial, decisiones de gestión del tránsito y todos aquellos escenarios que se quieran evaluar partiendo de las condiciones bases (actuales) de movilidad y sus proyecciones.
- Para una mejor precisión en los datos de origen destino se requiere actualizar los aforos vehiculares para tener precisión en el comportamiento del tráfico de las zonas de influencia ya que los datos que se tienen son del estudio realizado para el plan maestro metropolitano de movilidad en el año 2021.
- El presente proyecto no tuvo como alcance realizar un análisis peatonal ni de usuarios de bicicletas en las zonas de influencia, por lo que puede ser considerado para futuras investigaciones teniendo como base los insumos recolectados y dispuestos en el presente documento y así, realizar un análisis completo de todos los actores viales que intervienen en la zona de influencia.
- Aunque ese tipo de soluciones de infraestructura vial y/o gestión del tránsito permiten aportar en la mejora de las condiciones de movilidad, es importante aplicar medidas de gestión de demanda hoy y desincentivo del uso del automóvil, fortaleciendo así los modos activos y el uso del transporte público como medidas de descongestión de las ciudades.
- Los vídeos de las microsimulaciones realizadas de cada uno de los escenarios propuestos pueden ser consultados en el siguiente enlace: <https://correouisedu-my.sharepoint.com/:f/g/personal/jose2190217>

correo_uis_edu_co/EjOop0MiQ3hHqWtaxEu tYsQBzIOhJ4tqVmpxsifJh7Sr4A?e=mDIyGN

7. Referencias

TSS-Transport Simulation Systems. (2008). Aimsun (versión 8.0.0) [Software de computador]. Sistemas Inteligentes de Transporte Ltda. <https://www.sit-colombia.com/>.

Agudelo Ospina, J.J. (2008). Diseño computarizado de carreteras. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.

Alcaldía de Bucaramanga. Plan de Ordenamiento Territorial POT. Bucaramanga, Santander.

Área Metropolitana de Bucaramanga AMB. (2022). Plan Maestro de Movilidad Área Metropolitana de Bucaramanga 2022 – 2037.

Cárdenas Grisales, J. (2002). Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Correa Montoya, M. (2021). Manual de diseño de vías urbanas. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.

Dirección de tránsito de Bucaramanga DTB. (2018). Cifras de siniestralidad vial 2018-2022. Bucaramanga, Colombia.

Dirección de tránsito de Bucaramanga DTB. (2018). Parque automotor del área metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia.

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

Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

Quintero-González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. Ambiente y Desarrollo, 21(40), 57-72. Recuperado de <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>