

Análisis de una solución de movilidad vehicular para mejorar la conexión norte - sur del área metropolitana el sector de la Puerta del Sol

Laura Camila Medina Becerra y Kerly Alejandra Páez Claro

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Yerly Fabian Martínez Estupiñán

Ph.D. (c)

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, a nuestros padres y a todos nuestros amigos que hicieron parte de este proceso, que nos apoyaron y estuvieron siempre a nuestro lado. A todos muchas gracias.

Camila Medina & Kerly Paez.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2. Marco Teórico	15
2.1 Opciones de solución a nivel de infraestructura	15
2.2 Modelos de simulación	17
3. Caracterización de la Zona de Influencia	18
3.1 Localización del proyecto	19
3.2 Zona de Influencia	19
3.3 Puntos atractores y generadores de viajes	20
3.4 Estado del pavimento	21
3.5 Semaforización	22
3.6 Movimientos viales	23
3.7 Volúmenes vehiculares	23
3.8 Velocidades	27
4. Análisis de la Situación Actual	31
4.1 Creación y configuración del modelo	32
4.2 Calibración y validación del modelo	32

4.3 Resultados del escenario base	36
4.4 Alternativas de solución.....	40
4.4.1 Alternativa 1.....	40
4.4.2 Alternativa 2.....	44
4.4.3 Alternativa 3.....	48
4.4.4 Alternativa 4.....	52
4.4.5 Alternativa 4a.....	56
5. Conclusiones	60
Referencias Bibliográficas	63
Apéndices.....	66

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Estado del pavimento.....	21
Tabla 2. Flujos vehiculares típicos diarios en cada año.....	24
Tabla 3. Indicador estadístico GEH para los aforos de cada modo de transporte.	34
Tabla 4. Indicador estadístico GEH para todo el modelo de micro simulación.	34
Tabla 5. Comparación de velocidades promedio entre los datos tomados y el modelo de la Calle 56.....	35
Tabla 6. Niveles de Servicio para intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en base al tiempo de demora (HCM 2010, 2010).....	36
Tabla 7. Niveles de servicio actuales de las intersecciones.	37
Tabla 8. Promedio de vehículos en cola.	39
Tabla 9. Niveles de servicio de la alternativa 1 proyectada a 5, 10 y 20 años.....	41
Tabla 10. Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 1.....	44
Tabla 11. Niveles de servicio de la alternativa 2 proyectada a 5, 10 y 20 años.....	46
Tabla 12. Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 2.....	48
Tabla 13. Niveles de servicio de la alternativa 3 proyectada a 5, 10 y 20 años.....	51
Tabla 14. Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 3.....	52
Tabla 15. Niveles de servicio de la alternativa 4 proyectada a 5, 10 y 20 años.....	55
Tabla 16. Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 4.....	55
Tabla 17. Niveles de servicio de la alternativa 4a proyectada a 5, 10 y 20 años.....	58

Tabla 18. Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 4a. 59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación del sector de estudio Puerta del Sol.	19
Figura 2. Zona de influencia del proyecto.	20
Figura 3. Estado del pavimento.	22
Figura 4. Intersecciones semaforizadas en la zona del proyecto.	22
Figura 5. Movimientos de la intersección Puerta del sol según la norma RILSA.	23
Figura 6. Distribución horaria de los flujos totales vehiculares directos.	25
Figura 7. Distribución modal de la intersección La Puerta del Sol a lo largo de los años.	27
Figura 8. Velocidades históricas promedio en la Autopista en diferentes años sentido Norte - Sur.	28
Figura 9. Velocidades mínimas en la Autopista en diferentes años sentido Norte - Sur.	28
Figura 10. Velocidades históricas promedio en la Autopista en diferentes años sentido Sur - Norte.	29
Figura 11. Velocidades históricas mínimas en la Autopista en diferentes años sentido Sur – Norte.	29
Figura 12. Velocidades históricas promedio en la Calle 56 en diferentes años sentido Oriente - Occidente.	30
Figura 13. Velocidades históricas promedio en la Calle 56 en diferentes años sentido Occidente - Oriente.....	30

Figura 14. Velocidades históricas mínimas en la Calle 56 en diferentes años sentido Occidente - Oriente.....	30
Figura 15. Modelo base en Aimsun.	32
Figura 16. Validación del escenario base.....	35
Figura 17. Intersecciones y tramos explicativos del escenario base.	37
Figura 18. Niveles de servicio del modelo del escenario base.	38
Figura 19. Alternativa de solución 1.	41
Figura 20. Niveles de servicio para la alternativa de solución 1.	43
Figura 21. Alternativa de solución 2.	45
Figura 22. Niveles de servicio para la alternativa de solución 2.	47
Figura 23. Alternativa de solución 3.	49
Figura 24. Niveles de servicio para la alternativa de solución 3.	49
Figura 25. Alternativa de solución 4.	53
Figura 26. Niveles de servicio para la alternativa de solución 4.	53
Figura 27. Alternativa de solución 4a.	56
Figura 28. Niveles de servicio para la alternativa de solución 4a.	57

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Tiempos semafóricos.	66

Resumen

Título: Análisis de una solución de movilidad vehicular para mejorar la conexión norte - sur del área metropolitana el sector de la Puerta del Sol *

Autor: Laura Camila Medina Becerra y Kerly Alejandra Páez Claro **

Palabras Clave: Aimsun, Micro simulación, Alternativas, Mejoramiento, Movilidad.

Descripción:

En Bucaramanga, la red vial presenta un colapso en su capacidad, especialmente en horas pico, debido al incremento vehicular resultado del desarrollo social/económico que afecta a los habitantes que se movilizan diariamente. Ante esta problemática, se buscan soluciones viales que mejoren la movilidad de manera eficiente y segura. Sin embargo, el problema de congestión es dinámico y continuo, y exige una mirada integral de una zona de influencia. Este proyecto plantea cuatro alternativas para mejorar la movilidad vehicular en el sector de la Puerta del Sol en Bucaramanga, analizando el comportamiento mediante el uso de herramientas de simulación en transporte. Los resultados obtenidos mostraron que de las 4 alternativas analizadas la que resultó con mayores beneficios corresponde a la alternativa que consiste en la construcción de un paso deprimido en la Calle 56, quedando encima nivel la Carrera 27 y removiendo el semáforo en dicha intersección, además de la ampliación de un carril en la Diagonal 15 para acceder a la Carrera 21, pues se observó una mejora considerable en los niveles de servicio, sin embargo, es de aclarar que cualquier solución a nivel de infraestructura debe ir acompañada de medidas de gestión del tránsito y el incentivo de uso de modos sustentables.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabian Martínez Estupiñán Ph. D. (c)

Abstract

Title: Analysis of a vehicular mobility solution to improve the north-south connection of the metropolitan area in the Puerta del Sol sector *

Author(s): Laura Camila Medina Becerra y Kerly Alejandra Páez Claro **

Key Words: Mobility, Alternatives, Improvement, Simulation, Aimsun.

Description:

In Bucaramanga, the road network presents a collapse in its capacity, especially during peak hours, due to the increase in vehicles resulting from social/economic development that affects the inhabitants who move daily. Faced with this problem, road solutions are sought that improve mobility efficiently and safely. However, the problem of congestion is dynamic and continuous, and requires a comprehensive view of an area of influence. This project proposes four alternatives to improve vehicular mobility in the Puerta del Sol sector in Bucaramanga, analyzing the behavior using transportation simulation tools. The results obtained showed that of the 4 alternatives analyzed, the one that resulted with the greatest benefits corresponds to the alternative that consists of the construction of a depressed passage on Calle 56, leaving Carrera 27 above the level and removing the traffic light at said intersection, in addition to the expansion of a lane on Diagonal 15 to access Carrera 21, since a considerable improvement in service levels was observed, however, it should be clarified that any solution at the infrastructure level must be accompanied by traffic management measures and the incentive to use sustainable modes.

* Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabian Martínez Estupiñán, Ph. D. (c)

Introducción

Actualmente, en la ciudad de Bucaramanga (Santander) la red vial ha presentado un colapso en su capacidad, especialmente en las horas de máxima demanda dado al desmesurado incremento del parque automotor en la última década. Dicho crecimiento se refleja en que para el año 2011 el número de vehículos matriculados en el Área Metropolitana de Bucaramanga era de 307 mil y para el año 2020 este número se incrementó a 760 mil vehículos, lo cual equivale a un aumento del 147% (RUNT, 2020). Además, al revisar la proporción de vehículos que circulan por cada habitante, siendo 581.130 el número de habitantes solo en el casco urbano de Bucaramanga en 2018, se obtiene que por cada 2 habitantes hay un vehículo privado, cifras que son altas para una ciudad intermedia como lo es Bucaramanga y que dejan ver una situación crítica de la movilidad de la ciudad basada principalmente en el automóvil, contrastando de manera negativa con la tendencia mundial que busca que la población migre a los medios de transporte público sostenibles y amigables con el medio ambiente (Porras y Otros, 2011).

Una de las problemáticas generadas a partir de este vertiginoso crecimiento en la tasa de motorización es la congestión vehicular que se presenta en diferentes puntos de la ciudad y a diferentes horas, generándose una saturación de la infraestructura vial que termina afectando la calidad de vida de los habitantes. Ese detrimento en la calidad de vida se corrobora en la percepción negativa que tienen los habitantes de la ciudad y que se demuestra en los resultados de la Encuesta de Percepción Ciudadana BMCV-2019 donde más del 44% de los encuestados perciben que toman más tiempo realizar sus trayectos habituales.

Al revisar en detalle la red vial de la ciudad se encuentra que uno de los puntos críticos, que es un paso casi obligado en el Área Metropolitana de Bucaramanga por su importancia en la conectividad norte – sur, es el sector donde confluye la Diagonal 15, la Carrera 27 y la vía hacia Girón, conocido como la Puerta del Sol. Este punto neurálgico que hace 24 años fue intervenido, el cual era una glorieta a nivel (Ardila, 2019), generando el intercambiador que actualmente existe, hace posible la comunicación tanto con el sur, como con el norte y con el municipio de Girón. Según El Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga 2011- 2030, los conductores que se movilizan por dicha zona se enfrentan es a un embotellamiento especialmente en horas pico al tomar la Diagonal 15 entre Calle 45 o la Carrera 27 entre Calles 58 y 53. Adicionalmente sobre la autopista Floridablanca – Bucaramanga desde Puerta del Sol y Puente Provenza por los altos flujos vehiculares y por esta razón ha sido diagnosticada como crítica. Dada la importancia de este sector en la conectividad norte-sur del Área Metropolitana de Bucaramanga, este trabajo de investigación responde el siguiente interrogante ¿Cuál sería una alternativa adecuada de movilidad para mejorar circulación vehicular en el sector conocido como la Puerta del Sol en Bucaramanga?

Este artículo está organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta una revisión bibliográfica de la literatura acerca del proyecto. En la sección 3 se muestra la caracterización de diferentes variables de la zona de estudio encontradas en la revisión de archivos y trabajo de campo. En la sección 4 se presenta el análisis de la situación actual y las alternativas de solución. Y por último en la sección 5 se encuentran las conclusiones y sugerencias para futuras investigaciones.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Definir una alternativa de solución viable para la movilidad vehicular en la zona del intercambiador vial de la Puerta del Sol de la ciudad de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar funcionalmente el intercambiador vial con base en la información secundaria encontrada sobre la situación actual del sector y así generar un diagnóstico de movilidad de la zona.

- Calibrar un escenario de modelación de la situación base a partir de la definición de una zona de influencia directa del sector de análisis.

- Establecer alternativas de solución y compararlas con la situación actual para identificar la opción óptima mediante el uso de herramientas de simulación.

2. Marco Teórico

Cuando se habla de intersección vial se hace referencia al área donde dos o más vías se cruzan en un punto determinado, esto incluye a todos los elementos de diseño geométrico que forman parte de las vías además de que nos permite controlar la seguridad, la eficiencia, el costo de operación y la velocidad de circulación, por esto la intersección es una de las partes más importantes en la red vial urbana (Pinos y Riquetti, 2016).

El congestionamiento vehicular que se genera con el paso de los años en las intersecciones viales es una problemática a nivel mundial, debido al incremento del flujo vehicular que se presenta tanto por el desarrollo social como el económico, por ende, se puede decir que la oferta de infraestructura vial es menor a la demanda de transporte que se genera (Uribe, 2009) y si a esto se le agrega la falta de cultura vial, la problemática se hace insostenible. Una de las causas del congestionamiento es la falta de planificación vial ya que no se toman en cuenta los criterios como el desarrollo poblacional, diseño geométrico, los aforos y monitoreos de rutas de los diferentes modos de transporte (Rodríguez Rucobo et al., 2015).

2.1 Opciones de solución a nivel de infraestructura

Ante las problemáticas asociadas a la congestión, casi siempre se argumenta que la solución implica necesariamente contar con una infraestructura vial que optimice los requerimientos para la circulación vehicular, además de proporcionar un diseño eficiente y seguro (Uribe, 2009), enfocándose de manera continua en los flujos vehiculares de las intersecciones por medio de los diseños geométricos de las vías, el uso de glorietas, pasos a desnivel o

semaforizaciones que cumplan con satisfacer la demanda vehicular en la intersección y así poder solucionar los problemas que se presenten. Hay que dejar claro que, aunque la infraestructura es esencial en la movilidad, no es la única opción (Betancourt et al., 2015).

De las posibles soluciones que se asocian con la optimización de infraestructura en intersecciones viales, se encuentran diferentes alternativas como son:

Glorietas: pueden ser más seguras a comparación de otras intersecciones a nivel, debido a que los automóviles giran en un mismo sentido y se reduce los accidentes viales, además de que está prohibido el estacionamiento de automóviles en los carriles (Betancourt et al., 2015).

Vuelta en u: son usadas para disminuir el retraso y el congestionamiento cuando en las intersecciones hay vueltas a la izquierda, donde los conductores que dan la vuelta izquierda en u deben dar el paso a los que transitan en sentido contrario y esperar para realizar su vuelta en u (Betancourt et al., 2015).

Intersecciones semaforizadas: las intersecciones semaforizadas es una solución viable de las más viejas y populares en el mundo. Puesto que ayuda significativamente al mejoramiento de la capacidad vial, las demoras y a la seguridad de los peatones en la vía (García et al., 2015).

Intersecciones a nivel: estas intersecciones se encuentran entre las más simples ya que no tienen ningún tipo de segregación vertical, además de la facilidad para su construcción, pero al momento de que el flujo vehicular aumente se pueden ocasionar congestiones (Betancourt et al., 2015).

Intersecciones a desnivel: tienen una capacidad mayor ya que separa el flujo en varios niveles y con esto se reduce en gran manera el conflicto usando estructuras como túneles, puentes, viaductos, entre otras las cuales se conectan por medio de rampas (Mendoza et al., 2015).

La movilidad vehicular se puede mejorar con un conocimiento adecuado de su funcionamiento, en relación con esto, se puede tomar el flujo vehicular como una función de distribución cambiante con el tiempo, donde se modela con la teoría de líneas de espera y de esta manera obtener un modelo de tráfico vehicular. Estos modelos se obtienen por medio de la abstracción del problema y de una posterior simplificación de los elementos que lo conforman e intervienen en él.

2.2 Modelos de simulación

No obstante, muchas veces no solo basta con solucionar una intersección puntual, pues el problema de congestión es dinámico y continuo, ya que el crecimiento poblacional y otros aspectos infieren a que se produzcan grandes colas de vehículos en un corredor vial, por lo tanto, los análisis exigen una mirada integral de una zona de influencia que busquen garantizar la seguridad vial en la intersección mejorando el control de los giros inadecuados y posible causa de accidentes y optimizando el flujo de los vehículos en busca de reducir las demoras en los trayectos.

Por tal razón, se hace necesario contar con herramientas de modelación que permitan hacer un análisis de la problemática mediante simulaciones con datos reales a fin de, en base a los resultados que se obtengan, buscar de proponer soluciones de movilidad vehicular de una zona de influencia. Una vez que se obtiene un modelo, este se puede evaluar tanto a través de una solución analítica o mediante simulaciones (Puerto Hernández et al., 2015).

La modelación mediante simulaciones se puede realizar en tres tipos:

Macroscópico: que se caracterizan por ser representaciones continuas del flujo de tránsito, se refieren a medidas generales como la relación entre flujo, velocidad, y densidad. Estas

características del modelo pierden mucho detalle, pero ganan en habilidad para tratar los problemas de dimensiones colosales dentro de tiempos de ejecución cortos (Álvarez, 2017).

Mesoscópicos: la metodología de estos modelos consiste en simular un conjunto reducido de vehículos como si fueran uno solo. Por otro lado, los vehículos y el comportamiento del conductor no son distinguidos ni descritos individualmente, si no en términos con funciones de distribución de probabilidad (Álvarez, 2017).

Microscópicos: son aquellos que se centran en el comportamiento individual de cada vehículo para obtener el comportamiento global del tráfico en una vía. Tienen en cuenta, por tanto, los parámetros interrelacionados que determinan la dinámica de los vehículos (Álvarez, 2017).

3. Caracterización de la Zona de Influencia

Como se mencionó anteriormente este trabajo de investigación se enfoca en el sector conocido como la Puerta del Sol en la ciudad de Bucaramanga. Por lo tanto, para realizar la caracterización de la zona de estudio se hizo una revisión principalmente de información secundaria de aforos vehiculares y velocidades históricas, tomadas por parte del grupo de investigación de Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. También, se hizo un levantamiento de información primaria correspondiente a la geometría de las vías, el estado de la carpeta asfáltica y los andenes, los perfiles viales y la señalización.

3.1 Localización del proyecto

El proyecto tomó como referencia un punto importante de conexión en el área metropolitana de Bucaramanga por su importancia en la conectividad norte – sur y sur – norte como lo es el Intercambiador vial de la Puerta del Sol. En este sector confluye la Diagonal 15, la Carrera 27 y la vía hacia Girón, que corresponden a arterias viales de la ciudad que a diario soportan un alto flujo vehicular. En la Figura 1 se muestra una vista aérea en detalle de la ubicación del sector de estudio.

Figura 1.

Ubicación del sector de estudio Puerta del Sol.



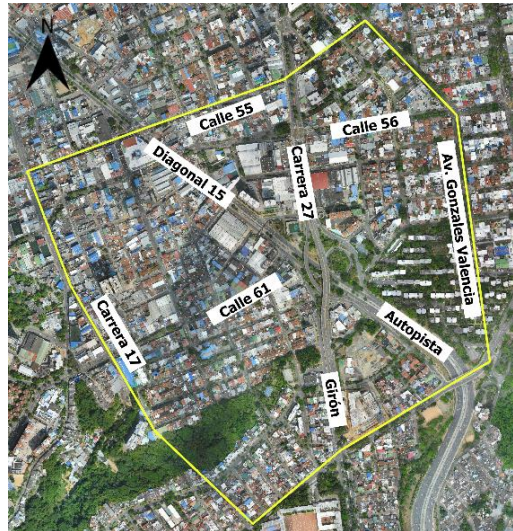
3.2 Zona de Influencia

La zona de influencia se determinó teniendo en cuenta las problemáticas de movilidad asociadas al crecimiento vertiginoso del parque automotor de los últimos años y la congestión vial que se presentan en esta zona y que afectan de manera directa los tiempos de viaje y la fluidez de tránsito, puesto que es un punto fundamental en la conectividad de la ciudad y los sectores que son generadores y atractores de movilidad vehicular los cuales confluyen en el intercambiador. La

zona de estudio se encuentra delimitada al norte por la Calle 55, al suroccidental por la Calle 81 y nororiental por el parque de las hormigas, al oriente por la Gonzales Valencia y al occidente por la carrera 17 como se puede ver en la Figura 2.

Figura 2.

Zona de influencia del proyecto.



3.3 Puntos atractores y generadores de viajes

En la zona de influencia existen diversos puntos que resultan ser de gran interés para la población residente en esta área y para muchos habitantes de la ciudad, lo que las caracteriza como puntos atractores y generadores de viajes para los usuarios de esta infraestructura (Pineda y Alvarado, 2016).

Para este estudio, estos puntos influyen en la movilidad de la zona debido a que son puntos atractores de viajes que generan desplazamiento de vehículos por esta zona y por consiguiente congestión vehicular. Por ejemplo, en la Carrera 27, se ubican varias empresas/ locales de comercio de ventas de electrodomésticos, motos y automóviles, entre otros, como Alkomprar, Suzuki, Chevrolet, Kia y Hyundai, además de las estaciones de servicio Terpel y Texaco en sentido norte – sur.

En la Diagonal 15, se ubica el centro comercial La Isla, los parqueaderos de carros y motos San Andresito II y Coosanandresito, hoteles y residencias como Jhonyky. Además, se encuentra la estación de servicio Terpel y diferentes tiendas de materiales para la construcción como Distribuciones Colombia SAS y ALFA.

Por la Calle 61, priman en su mayoría ferreterías y locales de venta de repuesto de automotores, se destacan Comultrasan, Maxceramica, Ardisa y Todo repuestos y frenos la 61, entre otros, también se ubica el supermercado Cajasan.

Por último, en la Calle 56 en el occidente – oriente se ubican varios restaurantes como Domino's Pizza y Patacones, además hacia el occidente después de la Diagonal 15 se encuentran varios hoteles.

3.4 Estado del pavimento

Según el registro fotográfico tomado se determinó que el estado del pavimento en la zona de influencia se encuentra deteriorado en algunas zonas que se especifican en la Tabla 1, donde se observaron daños tipo baches, parches, agrietamientos, fisuras, hundimientos y piel de cocodrilo sobre la vía, como se muestra en la Figura 3.

Tabla 1.

Estado del pavimento.

Vías	Estado
Carrera 27 – Calle 58	Moderado
Carrera 21- Calle 56	Grave
Carrera 22 – Calle 56	Moderado
Carrera 17 – Calle 55	Leve
Carrera 30 – Parque Hormiga	Grave
Calle 56 - Carrera 21	Moderado
Calle 55 - Carrera 22	Moderado
Calle 61	Leve
Diagonal 15 – Carrera 21	Moderado

Figura 3.

Estado del pavimento.

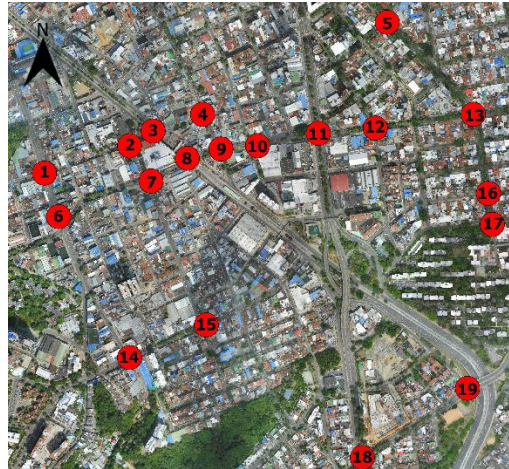
**3.5 SemafORIZACIÓN**

En la zona de estudio se encuentran 19 intersecciones semaforizadas, que se ubican en cercanías de la intersección principal donde no se cuenta con semaforización, esto se puede observar en la Figura 4. El comportamiento y tiempo de los semáforos que hacen parte de la zona de influencia fueron obtenidos por el grupo de investigación Geomática.

Las intersecciones semaforizadas cuentan con ciclos de 88 y 118 segundos, sobre las vías principales como Carrera 27, Diagonal 15, Carrera 17 y Calle 56 los ciclos semafóricos son de 118 segundos y en las vías secundarias son de 88 segundos, en el Apéndice 1 se pueden encontrar los tiempos semafóricos de toda lo zona.

Figura 4.

Intersecciones semaforizadas en la zona del proyecto.



3.6 Movimientos viales

Se identificaron los movimientos de la intersección de la Puerta del sol en base a la metodología de la norma RILSA, como se puede ver en la Figura 5.

Figura 5.

Movimientos de la intersección Puerta del sol según la norma RILSA.



3.7 Volúmenes vehiculares

Como parte de la caracterización, se realizó un análisis con información secundaria de volúmenes vehiculares históricos facilitados por el grupo de investigación Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, que corresponden a información de

los años 2005, 2009, 2010, 2013 y 2021 en diferentes puntos de la zona de influencia definidos en tres momentos del día, como lo son la mañana, el medio día y la noche. En la Tabla 2 se muestran los volúmenes vehiculares típicos diarios promedio para los años mencionados en los diferentes movimientos en el sector de la Puerta del Sol.

Tabla 2.

Flujos vehiculares típicos diarios en cada año.

Movimiento	2005		2009		2010	
CR 27-Girón	7.635	14h	9.781	24h	8.764	14h
Girón- CR27	9.650	14h	8.229	24h	10.394	14h
Florida- Diagonal 15	28.833	14h	33.353	24h	22.138	14h
Diagonal 15- Florida	25.158	14h	19.333	24h	14.246	14h
CR 27- Florida	30.766	14h	38.564	24h	34.220	14h
Florida- CR 27	15.749	14h	16.238	24h	17.561	14h

Movimiento	2013		2021	
CR 27-Giron	13.198	14h	57.375	16h
Girón- CR27	19.350	14h	44.358	16h
Florida- Diagonal 15	25.190	14h	60.379	16h
Diagonal 15- Florida	32.794	14h	39.160	16h
CR 27- Florida	46.156	14h		
Florida- CR 27	20.261	14h		

Según la información presentada en la Tabla 2, se observa que el movimiento de la Carrera 27 – Girón, tuvo un aumento en la tasa de crecimiento en comparación a los demás giros de un 13% del 2005 al 2021. Además, se observó que el movimiento Carrera 27 – Florida es el más cargado respecto a los demás giros, puesto que tiene mayor flujo en todos los años teniendo en cuenta que este es uno de los giros que comunica el norte y el sur de la ciudad. Otro movimiento

de mayor flujo es Florida – Diagonal 15, el cual en el año 2021 es el que más flujo presenta, aunque en años anteriores su flujo era menos intenso.

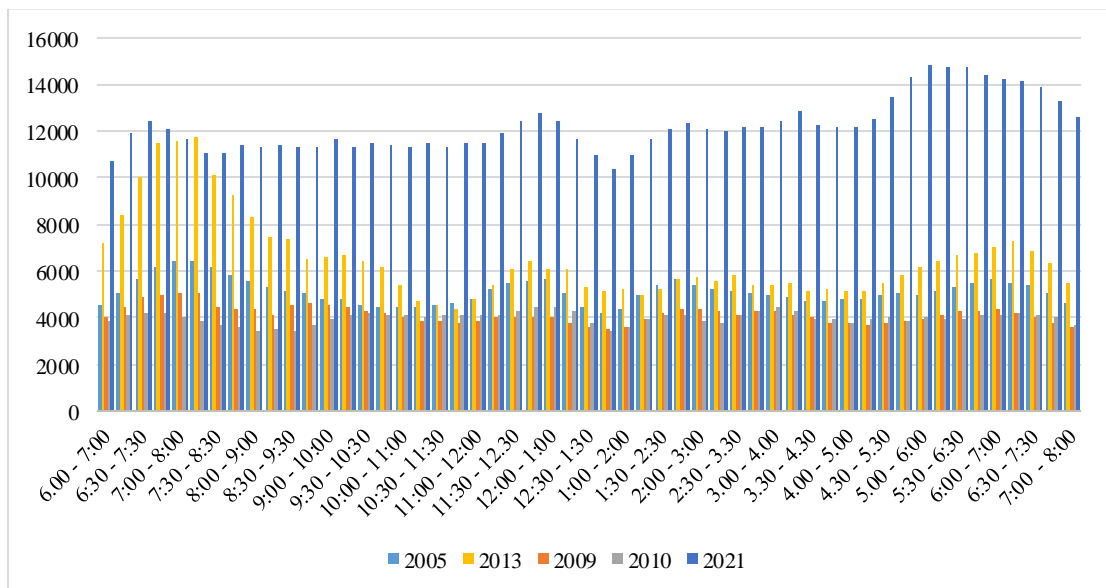
En el análisis del flujo vehicular se tuvieron en cuenta los siguientes tipos de vehículos: Buses, vehículos livianos, motos y vehículos pesados, los cuales se convirtieron a vehículos equivalentes teniendo en cuenta los siguientes factores de equivalencia:

- Vehículos livianos igual a 1.
- Buses igual a 2.
- Vehículos pesados igual a 2.5.
- Motos igual a 0.5.

Tomando como referencia los movimientos directos, es decir, Carrera 27 – Girón, Girón – Carrera 27, Florida – Diagonal 15 y Diagonal 15 – Florida en los diferentes se evidenció los flujos totales y las horas pico en los diferentes años.

Figura 6.

Distribución horaria de los flujos totales vehiculares directos.



Con base en los resultados que se observan en la Figura 6, la hora pico en la mañana para los años 2005, 2009 y 2013 se encontraba en el rango de 7:00 a 8:00 am, mientras que en los años 2010 y 2021 estuvo entre 6:30 a 7:40 am, donde se evidenció que no hay una variación muy significativa y este rango de tiempo corresponde a los tiempos donde la población se dirige al trabajo o estudio. De igual forma, el volumen total de la intersección entre los años 2005 y 2010 disminuyó y luego aumentó en los años 2013 y 2021.

De igual manera, la hora pico del medio día para todos los años se ubica entre las 11:45 y 12:45 pm, en el momento donde muchos colegios terminan y comienzan sus jornadas escolares. Con respecto a los flujos en estas horas, se mantuvieron similares los volúmenes entre 2005 y 2013 pero en 2021 se duplicó este valor, pasando de 6.321 a 12.800.

Por último, para la hora pico de la noche entre los años 2005 y 2013 hay una variación de 15 minutos desde las 6:00 a 7:00pm y 6:15 a 7:15 pm respectivamente, en cambio para el 2021 fue de 5:00 a 6:00 pm. De igual forma, los volúmenes permanecen constantes entre los años 2005 y 2013, mientras que para el año 2021 aumenta significativamente.

En base a los datos anteriores se determinó la hora de máxima demanda de 17:00 a 18:00, luego se realizó la proyección de los conteos del año 2013 para el año 2021, debido a que solo se tenía información de cuatro de los seis giros de la intersección, para esto se utilizó la siguiente ecuación (1).

$$TF = TA * (1 + \%tasa)^n \quad (1)$$

TF = Transito Futuro o proyectado.

TA = Transito actual.

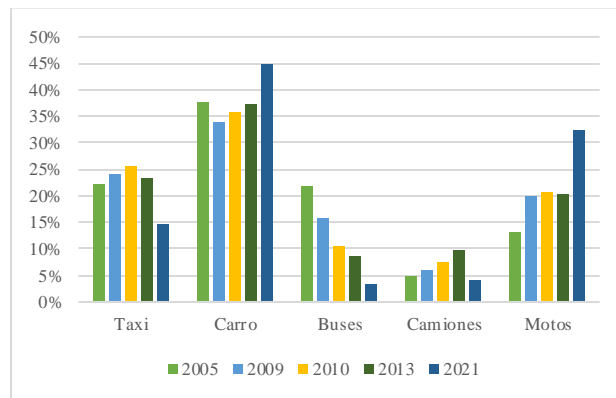
$\% tasa$ = Tasa de crecimiento vehicular.

n = Numero de años de proyección.

Con este análisis, se encontraron las tasas de crecimiento anual para cada tipo de vehículo, siendo estas de 10% para carros, 4.7% para buses, 4.5% para camiones y el 12.2% para motocicletas. Posteriormente, estas tasas de crecimiento se utilizaron para la proyección de los demás aforos que se encuentran en la zona de influencia.

Figura 7.

Distribución modal de la intersección La Puerta del Sol a lo largo de los años.



Se pudo observar en la Figura 7, que a lo largo de los años se ha incrementado la participación de las motos. En el año 2005, se tenían un porcentaje del 13% el cual incremento a 33% para el año 2021. Además, para los taxis, buses y camiones disminuyeron entre el año 2013 y 2021, mientras que los carros tuvieron un aumento significativo del 38% al 45%.

3.8 Velocidades

Para caracterizar la zona de influencia actual se tomaron los datos históricos suministrados por el grupo de investigación Geomática sobre las velocidades en los tramos viales que afectan la zona. La información analizada corresponde a datos de velocidades medias diarias sobre el corredor vial Bucaramanga (Carrera 27) – Floridablanca en sentidos norte – sur y sur – norte. A continuación, en las figuras se muestran la comparación de velocidades entre distintos años.

Figura 8.

Velocidades históricas promedio en la Autopista en diferentes años sentido Norte - Sur.

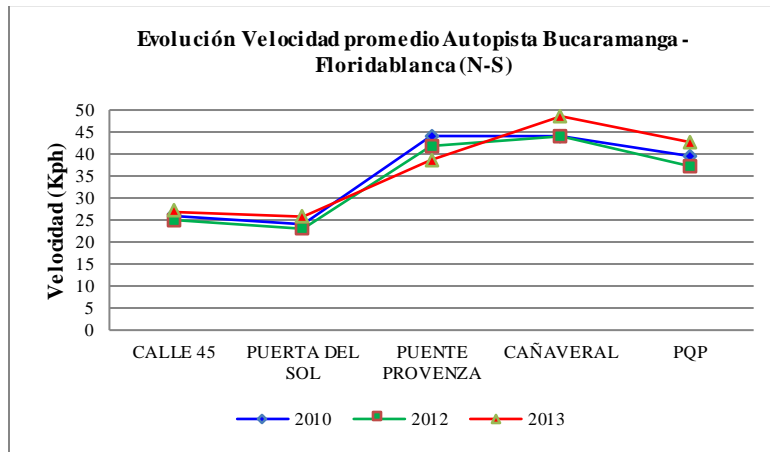
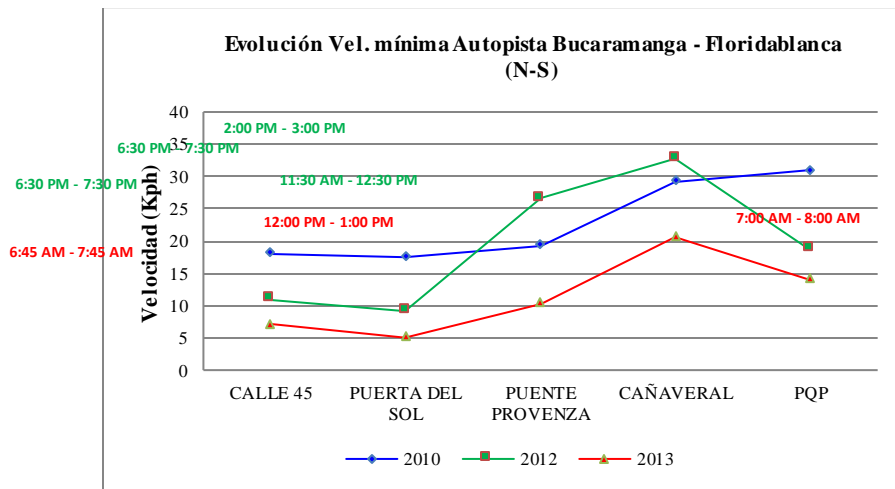


Figura 9.

Velocidades mínimas en la Autopista en diferentes años sentido Norte - Sur.



De la Figura 8 y la Figura 9, se observó que en la Autopista Bucaramanga – Floridablanca, en sentido norte – sur, las velocidades mantuvieron una tendencia con valores similares entre los años 2012 y 2013, siendo el tramo más lento entre la Calle 45 y la Puerta del Sol y el tramo más rápido el comprendido entre el sector de Provenza y Cañaveral.

La menor velocidad se presentó en el sentido norte – sur en el periodo pico de la noche entre las 6:45 PM – 7:45 PM correspondiendo al momento en que la mayoría de las personas vuelven a sus hogares después de la jornada laboral o de estudio.

Figura 10.

Velocidades históricas promedio en la Autopista en diferentes años sentido Sur - Norte.

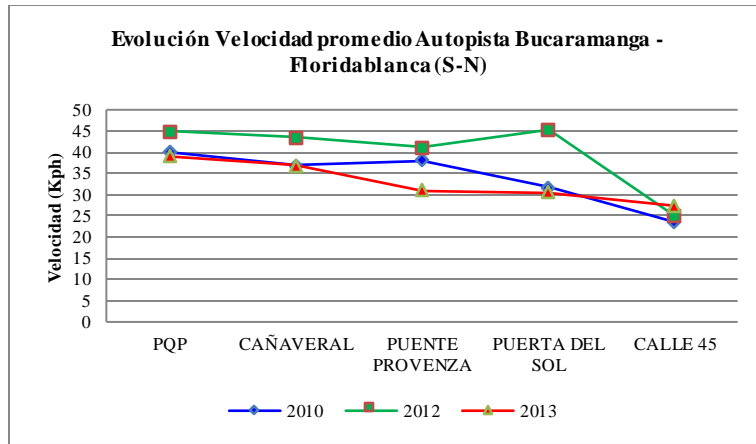
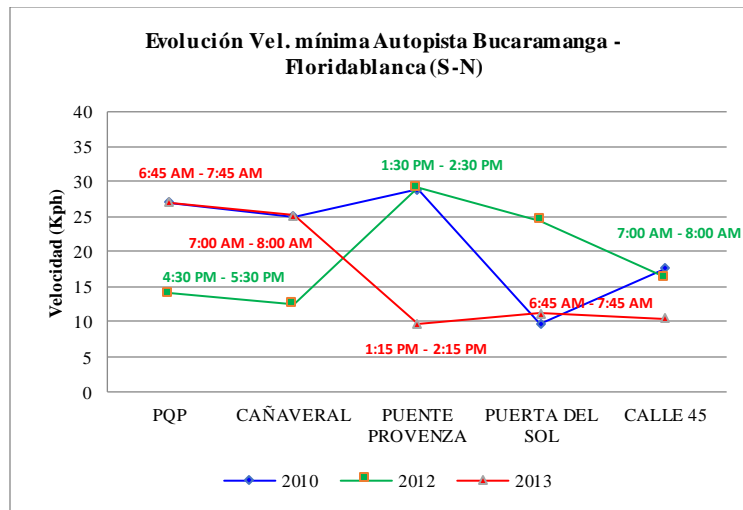


Figura 11.

Velocidades históricas mínimas en la Autopista en diferentes años sentido Sur – Norte.



Para el caso del sentido Sur – Norte, el tramo más lento se presentó a partir del Puente de Provenza hasta el sector de la Calle 45 y el tramo más rápido el comprendido entre el sector de PQP ‘Papi quiero piña’ y Cañaveral. En el sentido sur – norte se presenta en el periodo pico de

medio día entre la 1:00 PM a 2:00 PM correspondiendo al periodo de reinicio de actividades laborales y estudiantiles después del receso de medio día.

Otro importante tramo vial que se ve afectado por las dinámicas de movilidad de la Puerta del Sol es la Calle 56.

Figura 12.

Velocidades históricas promedio en la Calle 56 en diferentes años sentido Oriente - Occidente.

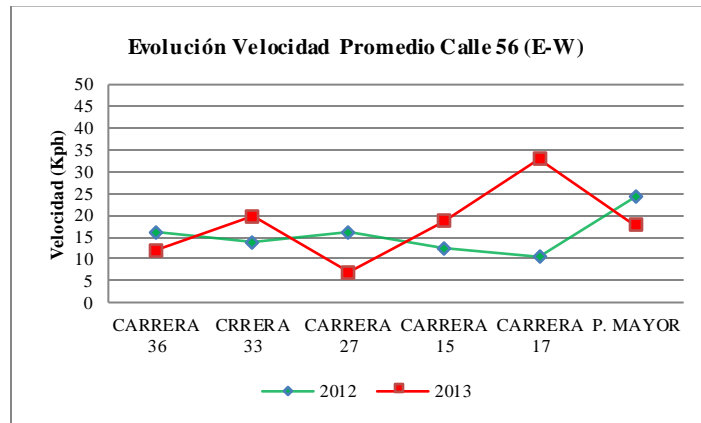


Figura 13.

Velocidades históricas promedio en la Calle 56 en diferentes años sentido Occidente - Oriente.

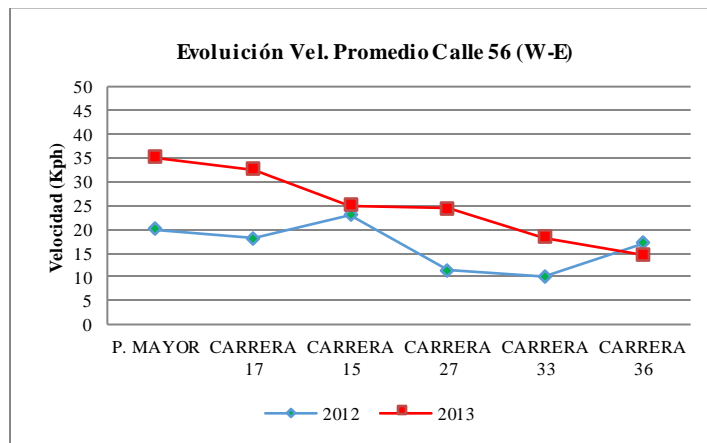
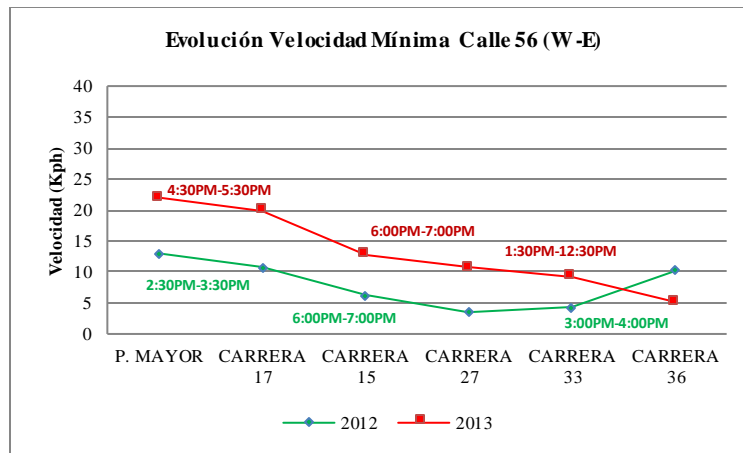


Figura 14.

Velocidades históricas mínimas en la Calle 56 en diferentes años sentido Occidente - Oriente.



De los tramos analizados el que presenta las menores velocidades promedio es el corredor de la Calle 56, en el sentido oriente – occidente, se destaca que este comportamiento se presenta principalmente entre el tramo que comprende la Carrera 27 y la Diagonal 15, debido a la presencia de 5 intersecciones semaforizadas en un espacio tan corto, así como a la presencia de una fase adicional debido al giro izquierdo en la intersección de la Carrera 27 con Calle 56.

Al comparar los resultados de velocidades obtenidos en el año 2012 y en el año 2013 para el corredor de la Calle 56, se observó que se ha presentado un aumento de la velocidad promedio en el sentido occidente – oriente y en el sentido oriente – occidente. El pico del día con la menor velocidad se presenta en las horas de la noche en ambos sentidos, correspondiendo al periodo entre las 6:00 PM – 7:00 PM.

4. Análisis de la Situación Actual

Para el análisis del proyecto en la situación actual se elaboró un modelo de micro simulación utilizando el software AIMSUN, el cual es una herramienta para la simulación de tráfico, teniendo en cuenta la información primaria y secundaria, como lo es la geometría de la red, el ancho de la calzada, las señalizaciones, entre otros (López y Bastidas, 2019).

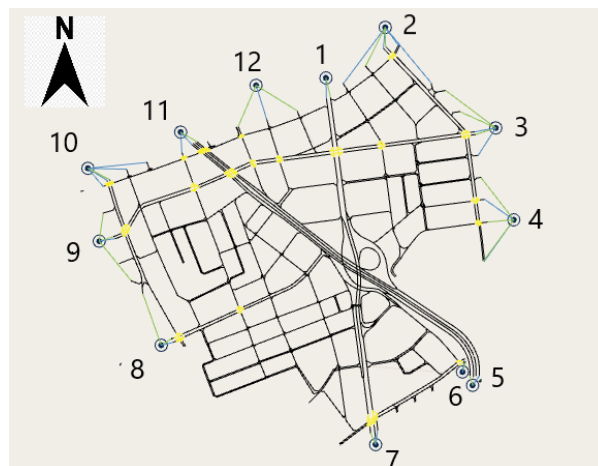
4.1 Creación y configuración del modelo

La creación de la geometría de la red vial se obtuvo desde Open Street Maps y utilizando la fotografía aérea de la zona de estudio facilitada por el Grupo de Investigación Geomática que se ajustó a la red de modelación, además, se asignó un plan de control maestro de semáforos teniendo en cuenta los tiempos para cada grupo semafórico de la zona, información que fue entregada por la Dirección de Tránsito de Bucaramanga.

Luego, se crearon doce centroides los cuales generan y atraen los flujos vehiculares y se realizaron las matrices O – D donde se asignó la demanda para cada uno de los modos de viajes, teniendo en cuenta que se clasificaron los modos para el modelo en vehículos livianos, motos, buses y vehículos pesados. El resultado de la creación de la red y las secciones se puede observar en la Figura 15.

Figura 15.

Modelo base en Aimsun.



4.2 Calibración y validación del modelo

Para calibrar el modelo de simulación se debe tener en cuenta el comportamiento del sistema real y ajustar los parámetros para que los resultados del modelo sean similares a los datos

reales, se tuvo en cuenta la configuración de la geometría de la red, además del comportamiento del conductor que incluye parámetros asociados con el seguimiento del automóvil, las maniobras de cambio de carril, la aceptación de hueco y el rendimiento del vehículo, seguido de esto se asignó un modelo de elección de ruta teniendo en cuenta los diferentes criterios (Aimsun, 2022).

Se utilizó el método estocástico del usuario para la asignación de tráfico en el modelo debido a que le permite al usuario escoger rutas más cortas, trayectos más rápidos y económicos los cuales se asemejan más a la realidad del comportamiento de un conductor.

Para la validación, se utilizó la herramienta de los detectores que brinda el software de Aimsun, la cual permite hacer una comparación entre los datos simulados y los datos reales del escenario. Además, teniendo en cuenta el método estadístico GEH, el cual se determinó en los años 70s por Geoffrey E. Havers que representa la bondad de ajuste del modelo a partir de la siguiente ecuación (2) (Dirección General de Desarrollo Carretero, 2006):

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (O - M)^2}{(O + M)}} \quad (2)$$

O: Volumen de tráfico observado en campo

M: Volumen de tráfico que pasa en el modelo

Generalmente, se acepta que un modelo de asignación de tráfico estará satisfactoriamente calibrado si (Feldman, 2012):

- Al menos el 85% de los arcos tienen un GEH inferior a 5.0.
- El GEH de todo el modelo no debe superar el valor de 4.0 para estar calibrado.

Se implementaron 52 detectores para la simulación donde se midieron los aforos y se ejecutaron 30 replicaciones considerando que son suficientes para obtener resultados válidos, también se tiene en cuenta que se realizó para cada uno de los modos de transporte.

Luego de ejecutar las replicaciones y sacar la media, se compararon con los datos reales para calcular el GEH de cada modo de transporte.

Tabla 3.

Indicador estadístico GEH para los aforos de cada modo de transporte.

Modo de transporte	GEH<5	¿Cumple?
Automóviles	96%	Sí
Buses	100%	Sí
Camiones	85%	Sí
Motos	88%	Sí

En la Tabla 3 se encuentran los porcentajes del indicador GEH para cada modo de transporte del proyecto, donde se observa que cumple con la validación.

Tabla 4.

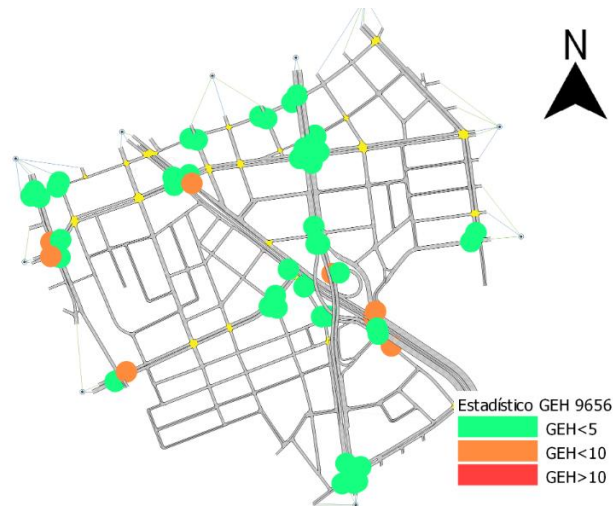
Indicador estadístico GEH para todo el modelo de micro simulación.

Modo de transporte	GEH	¿Cumple?
Carros	2.2	Sí
Buses	0.8	Sí
Camiones	2.9	Sí
Motos	3.3	Sí
Promedio	2.3	Sí

En la Tabla 4 se observa que el indicador GEH de todo el modelo cumple con el segundo parámetro para la validación del modelo. Además, en la Figura 16, se observa los arcos del modelo simulado donde más del 85% de los detectores tienen un indicador GEH menor a 5.

Figura 16.

Validación del escenario base.



Adicionalmente dentro del proceso de calibración se tuvieron en cuenta las velocidades con la que se transitaban en algunos tramos viales que estaban dentro de la zona de estudio. Dichos tramos fueron la Calle 56 entre las carreras 33 y carrera 17. Se realizó una comparación entre los datos tomados en campo y se compararon con las simuladas por el software.

Tabla 5.

Comparación de velocidades promedio entre los datos tomados y el modelo de la Calle 56.

Oriente – Occidente				
	2013 [Km/h]	2022 [Km/h]	Modelo [Km/h]	%
Carrera 33	3.2	2.6	2.5	2.3
Carrera 27	11.2	9.0	8.6	4.2
Diagonal 15	13.7	10.9	11.5	5.3
Carrera 17	13.0	10.4	10.9	4.8
Oriente – Occidente				
	2013 [Km/h]	2022 [Km/h]	Modelo [Km/h]	%
Carrera 17	25.1	20.1	21.0	4.6
Diagonal 15	28.8	23.0	22.0	4.3
Carrera 27	15.0	12.0	12.5	4.3
Carrera 33	14.5	11.6	12.0	3.7

En la Tabla 5 se obtuvo que, en esta comparación, la diferencia entre las velocidades del modelo no superaba en más del 5% las velocidades tomadas en campo, por lo tanto, se puede

afirmar que el modelo si se ajusta de manera adecuada a las velocidades tomadas en campo y esto genera un buen ajuste al modelo (Feldman, 2012).

4.3 Resultados del escenario base

Una vez modelado, calibrado y validado el modelo del escenario base en el software, se tomó como indicador de evaluación los Niveles de Servicio (NDS), que permitieron analizar el desempeño e identificar los problemas operacionales que se presenta en la intersección. Por lo tanto, se tomaron como indicador de análisis el tiempo de demora en intersecciones que entrega el software Aimsun y de esta forma poder calcular los niveles de servicio, con base en la información que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6.

Niveles de Servicio para intersecciones semaforizadas y no semaforizadas en base al tiempo de demora (HCM 2010, 2010).

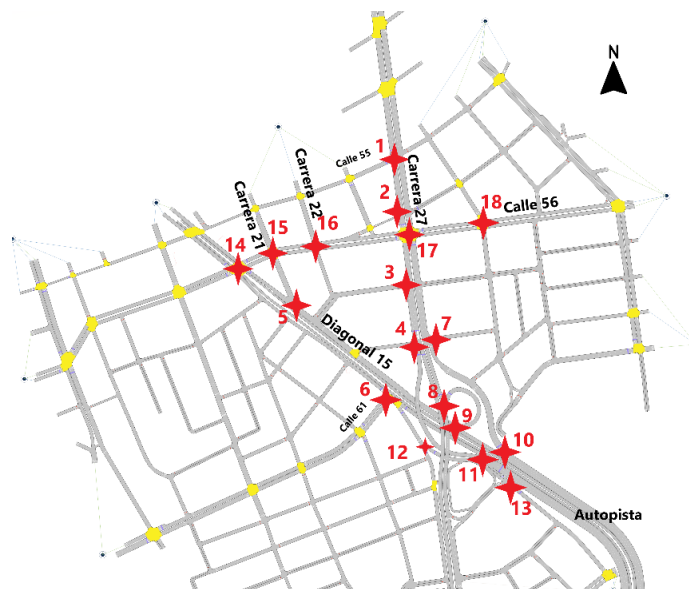
NDS	Tiempo de demora (s)	Tiempo de demora (s)
	Semaforizada	No semaforizada
A	≤10	≤10
B	10 – 20	10 – 15
C	20 – 35	15 – 25
D	35 – 55	25 – 35
E	55 – 80	35 – 50
F	>80	>50

Según la HCM del 2010 para determinar los niveles de servicio se añade al criterio de tiempo de demoras la relación volumen capacidad (v/c), donde si esta supera el valor de 1.0 se define por defecto un nivel de servicio F, sin tener en cuenta el criterio de demora (Estrada Polanco y Rodríguez Vega, 2018).

De la simulación del proyecto se obtuvo los NDS del área de influencia, donde se tuvieron en cuenta las siguientes intersecciones semaforizadas y no semaforizadas como puntos de control como se ve en la Figura 17.

Figura 17.

Intersecciones y tramos explicativos del escenario base.



Como se observa en la Tabla 7, el nivel de servicio más crítico para intersecciones no semaforizadas se encuentra en la carrera 27 con Calle 55, la cual presenta un NDS F y por ende un tiempo de demora promedio mayor a 50 segundos y una relación de volumen capacidad mayor a 1.0. Para las intersecciones semaforizadas la Carrera 28 con Calle 56 es la que presenta un nivel de servicio mayor a las demás, siendo esta F y las demás cuentan con un nivel de servicio D, donde se puede destacar la Carrera 27 con Calle 56 la cual presenta tiempos de demora de 35 y 55 segundos.

Tabla 7.

Niveles de servicio actuales de las intersecciones.

N°	INTERSECCIÓN NO SEMAFORIZADA	NDS
1	Cra 27 con Calle 55	F
2	Cra 27 con Calle 55a	E
3	Cra 27 con Calle 58	D
4	Cra 27 - Autopista -Girón	B
5	Diagonal 15 con Cra 21	D
6	Diagonal 15 con Calle 61	C
7	Cra 27 - Girón - Calle 60	C
8	Girón - Oreja Dg 15	B
9	Oreja - Dg 15	B
10	Autopista - Cra 27 - Dg 15	C
11	Autopista - Parque hormigas	B
12	Diagonal 15 – Carrera 27	B
13	Parque Las Hormigas	B
N°	INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA	NDS
14	Diagonal 15 con Calle 56	D
15	Cra 21 con Calle 56	D
16	Cra 22 con Calle 56	D
17	Cra 27 con Calle 56	D
18	Cra 28 con Calle 56	F

En la Figura 18, se encuentra un esquema del área de influencia donde se pueden evidenciar los diferentes NDS de las calles y carreras del modelo según la relación v/c que es tomada del software.

Figura 18.

Niveles de servicio del modelo del escenario base.



El programa arrojó los siguientes datos de vehículos en cola para las intersecciones teniendo en cuenta el sentido en el que llegan para cada una de estas, como en la Carrera 27 con Calle 55, donde llegan los corredores viales en los sentidos oeste-este (W-E) y norte-sur (N-S) como se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.

Promedio de vehículos en cola.

Corredor vial	Vehículos en cola [veh]
Cra 27 - Cll 55 WE	9.0
Cra 27 - Cll 55 NS	18.0
Cra 27 - Cll 56 NS	19.0
Cra 27 - Cll 56 SN	15.6
Cra 27 - Cll 56 EW	29.6
Cra 27 - Cll 56 WE	21.2
Cra 28- Cll 56 NS	10.0
Cra 28- Cll 56 EW	22.0
Cra 28- Cll 56 WE	15.0
Cra 27 - Cll 58 WE	10.0
Dg 15 - Cll 56 NS	17.5

Dg 15 - Cll 56 SN	13.0
Dg 15 - Cll 56 EW	15.1
Dg 15 - Cll 56 WE	20.7
Cra 21 - Cll 56 SN	19.0
Cra 21 - Cll 56 EW	15.7
Cra 21 - Cll 56 WE	10.3
Cra 22 - Cll 56 NS	12.9
Cra 22 - Cll 56 EW	11.9
Cra 22 - Cll 56 WE	7.2

Las mayores longitudes de cola se presentan en la Carrera 27 con Calle 56 en sentido N-S y E-W. También en el sector de la Carrera 21 con Calle 56 en sentido S-N y en la Carrera 28 con Calle 56 en sentido E-W, las cuales concuerdan con los escenarios reales.

4.4 Alternativas de solución

Después de calibrar y analizar cómo se comportaba el modelo de simulación del escenario actual en la intersección y zona de estudio e identificar cuáles son las problemáticas que afectan su desempeño, se identificaron un conjunto de alternativas de solución que se describen a continuación.

4.4.1 Alternativa 1

Esta alternativa consiste en ampliar a tres carriles la vía que conduce de la autopista a la Carrera 27 sentido sur – norte, en la parte final de la oreja al llegar a la Carrera 27 donde esta se reduce a dos carriles en el punto A de la Figura 19, en este punto se produce un cuello de botella que genera congestión por acumulación de los vehículos que vienen por la autopista procedentes de Floridablanca.

Posteriormente, en la Carrera 27 en sentido norte-sur entre las Calles 56 y 58 se amplía a 4 carriles y en el mismo sentido la oreja que comunica con la autopista se amplía a tres carriles ya que esta solo cuenta con dos para darle mayor fluidez al intercambiador, como se pueden observar en la Figura 19 en los puntos B y C respectivamente.

Adicionalmente, como se muestra en la Figura 19 la Diagonal 15 se amplía a tres carriles en el punto D hasta el punto E, y a cuatro carriles desde el punto E que se extiende hasta el cruce con la Carrera 21 en el punto F y de ahí se amplía a tres carriles hasta la Calle 56.

Figura 19.

Alternativa de solución 1.



Los niveles de servicio que resultaron de la simulación de la alternativa 1, se muestran en la Tabla 9. Además, se realizó una comparación de los NDS actuales con las proyecciones a 5, 10 y 20 años del flujo vehicular.

Tabla 9.

Niveles de servicio de la alternativa 1 proyectada a 5, 10 y 20 años.

Intersección	Nivel de Servicio				
	Base	Alt 1	5 años	10 años	20 años
Cra 27 con Calle 55	F	D	D	E	F
Cra 27 con Calle 55a	E	D	D	E	E
Cra 27 con Calle 58	D	B	B	C	C
Cra 27 - Autopista -Girón	B	B	C	C	D
Diagonal 15 con Cra 21	D	B	B	C	D
Diagonal 15 con Calle 61	C	C	D	E	E
Cra 27 - Girón - Calle 60	C	B	C	C	D
Girón - Oreja Dg 15	B	B	B	C	C
Oreja - Dg 15	B	B	B	B	C
Autopista - Cra 27 - Dg 15	C	B	D	E	F
Autopista - Parque hormigas	B	B	B	C	D
Diagonal 15 – Carrera 27	B	B	C	C	D
Parque Las Hormigas	B	B	C	D	D
Diagonal 15 con Calle 56	D	C	C	D	E
Cra 21 con Calle 56	D	D	D	E	E
Cra 22 con Calle 56	D	C	D	E	F
Cra 27 con Calle 56	D	C	D	E	F
Cra 28 con Calle 56	F	D	D	F	F

Como se muestra en la Tabla 9, los NDS para esta alternativa mejoraron con respecto al escenario base a lo largo de la Carrera 27 desde la Calle 55 hasta la Calle 58 en sentido norte-sur, pasando de tener niveles de servicio F y E a contar con niveles D y C. Además, mejoro en la Diagonal 15 y Carrera 21 con Calle 56 sentido sur-norte, y por último en el cuello de botella que se presenta sobre la Carrera 27 en sentido sur-norte, esto se debe a la ampliación de las vías en estos puntos. En las demás intersecciones no mencionadas los NDS se mantienen en el mismo nivel sin presentar algún cambio. Luego, para los primeros 5 años de implementación de esta alternativa, las intersecciones de la Carrera 27 en ambos sentidos pasan a ser un nivel más crítico al que se encontraban pasando de niveles C a D en la mayoría de los casos, debido a que la ampliación que se realizó no es suficiente para el flujo proyectado para este año, en cambio, para la Carrera 21 y la Diagonal 15 se mantuvieron los mismos niveles en C y D al igual de las demás intersecciones. Para 10 y 20 años los NDS de la mayoría de las intersecciones llegan a estar entre

E y F, niveles inaceptables para el funcionamiento operacional de estas. En base a lo anterior, el alcance de esta alternativa no es lo suficiente para ayudar a contrarrestar el crecimiento del parque automotor para los años proyectados y por tanto esta alternativa no es recomendable su implementación.

Teniendo en cuenta la relación de v/c se obtuvo del software los NDS de los diferentes tramos de vías de la zona de influencia que se muestran en la Figura 20, donde el nivel de servicio de la Carrera 27 entre las Calles 56 y 58 se encontraba en F y paso a ser D. Asimismo, en la Diagonal 15 y la Carrera 27 sentido norte-sur se presentó una mejora pasando de F a D.

Figura 20.

Niveles de servicio para la alternativa de solución 1.



Otro análisis que se hizo para cada alternativa fue la revisión de las longitudes de cola en puntos o intersecciones de control. Se puede observar en la Tabla 10, que las colas de vehículos no disminuyeron significativamente al realizar esta alternativa, siendo la Carrera 21 con Calle 56 en sentido sur-norte la que obtuvo una mayor disminución del 37%. Asimismo, en la Carrera 27

la máxima disminución fue del 20% que se ubica en la Calle 56 en sentido norte-sur. Además, disminuyó ligeramente en zonas como la Carrera 22 y la Diagonal 15 con Calle 56 entre un 3% a 7%. Aunque se presentan estas disminuciones la longitud de cola sigue siendo crítica puesto que no se alcanzan a disipar los vehículos cuando el semáforo está en verde.

Tabla 10.

Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 1.

Corredor vial	Vehículos en cola	
	Escenario Base [veh]	Alt 1 [veh]
Cra 27 - Cll 55 WE	9.0	7.2
Cra 27 - Cll 55 NS	18.0	16.6
Cra 27 - Cll 56 NS	19.0	20.0
Cra 27 - Cll 56 SN	15.6	15.0
Cra 27 - Cll 56 EW	29.6	28.2
Cra 27 - Cll 56 WE	21.2	27.2
Cra 28- Cll 56 NS	10.0	8.0
Cra 28- Cll 56 EW	22.0	22.0
Cra 28- Cll 56 WE	15.0	17.0
Cra 27 - Cll 58 WE	10.0	9.0
Dg 15 - Cll 56 NS	17.5	17.0
Dg 15 - Cll 56 SN	13.0	13.0
Dg 15 - Cll 56 EW	15.1	15.0
Dg 15 - Cll 56 WE	20.7	15.4
Cra 21 - Cll 56 SN	19.0	12.0
Cra 21 - Cll 56 EW	15.7	10.0
Cra 21 - Cll 56 WE	10.3	10.0
Cra 22 - Cll 56 NS	12.9	12.1
Cra 22 - Cll 56 EW	11.9	12.5
Cra 22 - Cll 56 WE	7.2	7.0

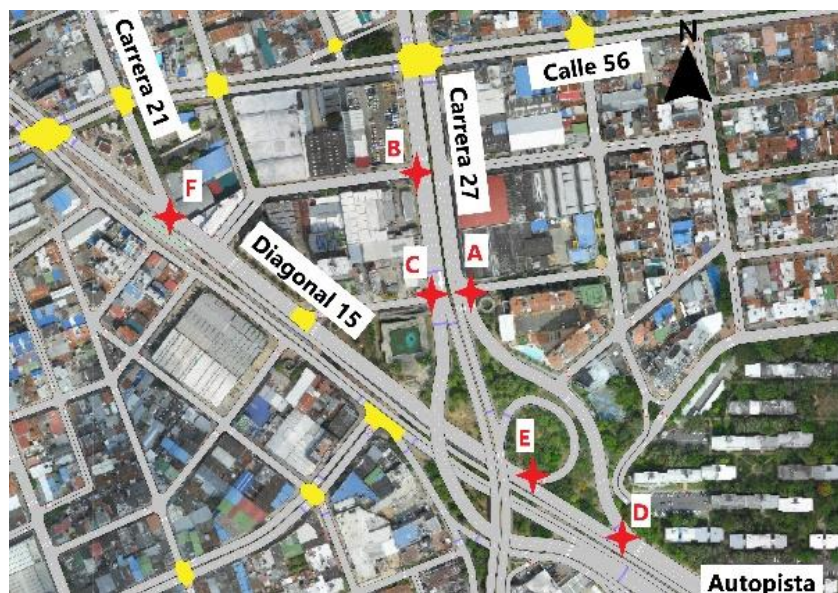
4.4.2 Alternativa 2

Esta alternativa consiste en conectar la Carrera 22 con la autopista en sentido norte-sur, dándole continuidad desde la Calle 58 a la Calle 60 (del punto A al punto B) y con un paso elevado

se conecta con la autopista en el sentido norte-sur (del punto B al punto C) como se puede observar en la Figura 21. Esto con el fin de contar con una vía alterna a la Carrera 27 por donde el tráfico pueda circular y disminuir el flujo que se presenta en esta, buscando disminuir de esta forma la congestión. Esta vía cuenta con una calzada de dos carriles de 3.5 metros cada uno. La afectación predial que se generaría es de gran impacto, puesto que, afecta un gran número de predios que cuentan con construcciones residenciales de gran altura, lo que significa un alto costo para su construcción, pero ese tipo de análisis no hace parte del alcance del proyecto.

Figura 21.

Alternativa de solución 2.



En los resultados que se muestran en la Tabla 11, se puede evidenciar los NDS con la alternativa 2 y la proyección en los 5, 10 y 20 años. En comparación con los NDS actuales esta alternativa mejora significativamente en la intersección de la Carrera 27 con la Calle 55, que pasa de un nivel F a ser un nivel C, del mismo modo las intersecciones de las Calles 55a y 58 con la Carrera 27 pasan de ser E y D a un nivel B y C respectivamente. Las intersecciones sobre la Calle 56 se encuentran en NDS D y F, que pasan a un nivel C y E.

Al realizar las proyecciones se pudo identificar que en 5 años el NDS de la Carrera 22 y la Carrera 27 con Calle 56 vuelve a un nivel D, afectando a la Carrera 27 con Calle 58 y las demás intersecciones sobre la Calle 56 siendo más críticos sus niveles de servicio, puesto que al cabo de 10 y 20 años ya contarían con NDS entre D y F para todas las intersecciones, lo que las hace inaceptables debido que la implementación de esta alternativa genera que el flujo de la Carrera 27 se desplace hacia otras vías como la Carrera 22 debido a el fenómeno de redistribución de flujo, y esto a su vez afectando a otras intersecciones sobre la Calle 56. Por lo tanto, en los próximos años se puede deducir que esta alternativa no tiene un buen comportamiento operacional.

Tabla 11.

Niveles de servicio de la alternativa 2 proyectada a 5, 10 y 20 años.

Intersección	Nivel de Servicio				
	Base	Alt 2	5 años	10 años	20 años
Cra 27 con Calle 55	F	C	D	D	E
Cra 27 con Calle 55a	E	B	D	D	E
Cra 27 con Calle 58	D	C	D	D	E
Cra 27 - Autopista -Girón	B	B	B	C	D
Diagonal 15 con Cra 21	D	C	C	C	D
Diagonal 15 con Calle 61	C	C	D	D	E
Cra 27 - Girón - Calle 60	C	B	C	C	D
Girón - Oreja Dg 15	B	B	B	C	D
Oreja - Dg 15	B	C	C	C	D
Autopista - Cra 27 - Dg 15	C	C	F	F	F
Autopista - Parque hormigas	B	B	B	C	C
Diagonal 15 – Carrera 27	B	B	B	C	C
Parque Las Hormigas	B	B	B	C	C
Diagonal 15 con Calle 56	D	C	C	C	D
Cra 21 con Calle 56	D	C	C	C	D
Cra 22 con Calle 56	D	C	D	D	E
Cra 27 con Calle 56	D	C	D	D	D
Cra 28 con Calle 56	F	E	F	F	F

En la Figura 22, se muestran los NDS de la alternativa 2 teniendo en cuenta la relación v/c de cada tramo de vía, donde la Carrera 27 se encuentra en nivel E, y la continuación de la Carrera

22 hacia la autopista con un nivel C mientras que la Carrera 22 antes de la Calle 56 cuenta con un nivel más crítico que el escenario base pasando de un nivel E a un nivel F, debido a que se desvía parte del flujo hacia esta carrera.

Figura 22.

Niveles de servicio para la alternativa de solución 2.



La ocupación de los vehículos en cola para cada intersección teniendo en cuenta el sentido en que llegan se presenta en la Tabla 12, donde se puede evidenciar que la Carrera 27 con las Calles 55 y 56 en sentido norte-sur disminuye en un 32% y 44%, a pesar de ser el porcentaje más alto las vías siguen siendo críticas ya que la cantidad de vehículos no se alcanzan a disipar.

Por otra parte, en la Carrera 22 con Calle 56 en sentido norte-sur donde la ocupación de vehículos en cola no era tan crítica, ocurrió lo contrario, aumentó un 55% debido a que gran parte del tráfico de la Carrera 27 se traslada a esta vía, además, la mayoría de las vías se encuentran en un estado crítico.

Tabla 12.*Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 2.*

Corredor vial	Vehículos en cola	
	Escenario base [veh]	Alt 2 [veh]
Cra 27 - Cll 55 WE	9.0	13.0
Cra 27 - Cll 55 NS	18.0	10.0
Cra 27 - Cll 56 NS	19.0	13.0
Cra 27 - Cll 56 SN	15.6	16.0
Cra 27 - Cll 56 EW	29.6	29.0
Cra 27 - Cll 56 WE	21.2	13.0
Cra 28- Cll 56 NS	10.0	8.0
Cra 28- Cll 56 EW	22.0	23.0
Cra 28- Cll 56 WE	15.0	15.0
Cra 27 - Cll 58 WE	10.0	10.0
Dg 15 - Cll 56 NS	17.5	15.0
Dg 15 - Cll 56 SN	13.0	14.0
Dg 15 - Cll 56 EW	15.1	15.0
Dg 15 - Cll 56 WE	20.7	10.0
Cra 21 - Cll 56 SN	19.0	12.0
Cra 21 - Cll 56 EW	15.7	15.0
Cra 21 - Cll 56 WE	10.3	11.0
Cra 22 - Cll 56 NS	12.9	20.0
Cra 22 - Cll 56 EW	11.9	12.0
Cra 22 - Cll 56 WE	7.2	10.0

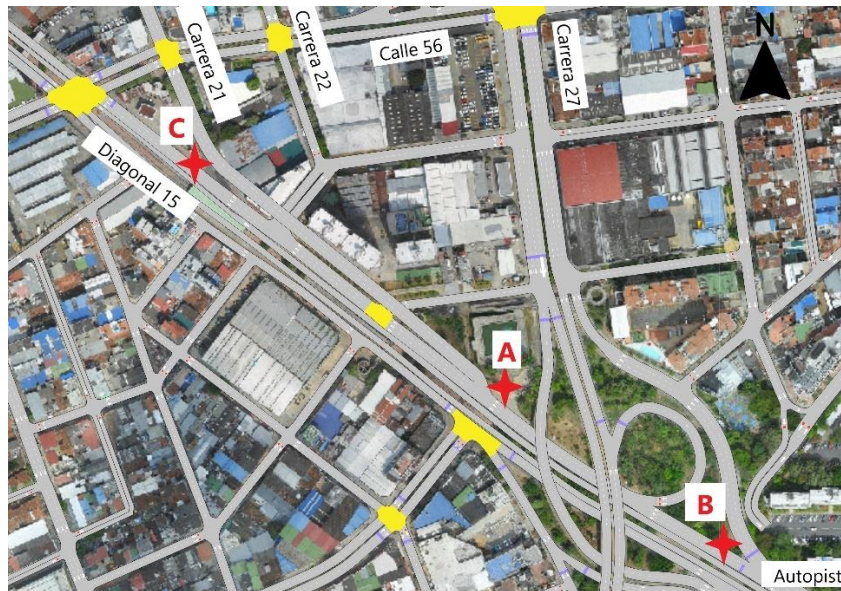
4.4.3 Alternativa 3

Para esta alternativa se plantea hacer una paralela elevada de que conecte la autopista Floridablanca – Bucaramanga con la Carrera 21 en el sentido sur-norte de la que se desprende tres carriles en el punto A, con el propósito que los vehículos que van hacia esta vía no produzcan largas filas en la Diagonal 15 y así no se genere congestión sobre esta al hacer este cruce. Además, se amplía a tres carriles la entrada a la Diagonal 15 después de la intersección que comunica la

autopista con la Carrera 27 y la Diagonal 15 en el punto B y se extendió a tres carriles la Diagonal 15 desde el punto C hasta llegar a la Calle 56 como se muestra en la Figura 23.

Figura 23.

Alternativa de solución 3.



En la Figura 24 se muestran los NDS de los tramos viales para la Alternativa 3 teniendo en cuenta la relación v/c de las vías. Se puede observar que los NDS no tienen una mejora considerable en comparación con los del escenario base, donde se ve que los resultados de NDS de la Diagonal 15 y la Carrera 21 pasaron de ser F y E a ser C y D. Además, el NDS a lo largo de la Calle 56 disminuyó ligeramente pasando de E a D. Sin embargo, en las demás vías de la intersección se mantuvieron los NDS y no se pudo mejorar con respecto a los del escenario base.

Figura 24.

Niveles de servicio para la alternativa de solución 3.



En la Tabla 13 se observa que los NDS de la Alternativa 3 mejoran en comparación a los del estado actual, esto sucede en las intersecciones de la Diagonal 15 y Carrera 21 con Calle 56 pasando de niveles de servicio D a niveles B y C, además en la conexión entre la Autopista y la Diagonal 15 pasa a ser B, esto se debe a que ya no se genera un embotellamiento por la Diagonal 15 de vehículos que van hacia la Carrera 21 y tienen un acceso directo hacia esta. En las otras intersecciones como las de la Carrera 27 y la Calle 56 se ve una pequeña mejora en los NDS pasando de D y E a C y D.

Transcurridos los 5 primeros años los NDS vuelven a ser D y E entre las intersecciones de la Carrera 27 y la Diagonal 15, y en el caso de la Diagonal 15 con Carrera 21 su nivel de servicio se mantiene en B. Para los siguientes 10 años de su implementación llegan a NDS de E en las intersecciones más importantes como la Carrera 27 con Calle 56. Por último, al pasar 20 años los NDS en la intersección son pésimos ya que llegan a ser hasta F, aunque entre la Carrera 21 y la

Diagonal 15 llega a un nivel D, esto debido a que la alternativa se enfoca en disminuir la congestión en la zona de la Diagonal 15 y la Carrera 21 con Calle 56 donde se puede observar que a los 5 y 10 años mantiene unos niveles de servicios aceptables con respecto a las demás intersecciones, las cuales solo tienen un buen funcionamiento en máximo 5 años y esto no se es comparable con el gran costo que conlleva su construcción.

Tabla 13.

Niveles de servicio de la alternativa 3 proyectada a 5, 10 y 20 años.

Intersección	Nivel de Servicio				
	Base	Alt 3	5 años	10 años	20 años
Cra 27 con Calle 55	F	D	D	E	E
Cra 27 con Calle 55a	E	D	E	E	F
Cra 27 con Calle 58	D	C	D	E	F
Cra 27 - Autopista - Girón	B	B	B	C	D
Diagonal 15 con Cra 21	D	B	B	C	D
Diagonal 15 con Calle 61	C	B	C	D	D
Cra 27 - Girón - Calle 60	C	B	B	B	B
Girón - Oreja Dg 15	B	B	B	B	C
Oreja - Dg 15	B	B	B	B	C
Autopista - Cra 27 - Dg 15	C	B	C	D	E
Autopista - Parque hormigas	B	B	B	B	B
Diagonal 15 – Carrera 27	B	B	B	B	B
Parque Las Hormigas	B	B	B	B	C
Diagonal 15 con Calle 56	D	C	C	D	E
Cra 21 con Calle 56	D	C	C	E	E
Cra 22 con Calle 56	D	D	D	E	E
Cra 27 con Calle 56	D	C	C	D	D
Cra 28 con Calle 56	F	D	D	E	F

En términos de vehículos en cola para la Alternativa 3, en la Tabla 14, se observa que la Carrera 21 con Calle 56 sentido sur-norte, que era una de las vías más problemáticas junto con la Diagonal 15 con Calle 56 sentido sur-norte se presenta una disminución considerable del 54% y 68% respectivamente. Otras vías como la Calle 56 con Carrera 21 este-oeste y Carrera 27 este-oeste presentaron una disminución en 36% y 46%, además en las otras vías disminuyó alrededor

del 10%. Esto representa una mejoría en comparación con el escenario actual, aunque no muy considerable ya que los valores de longitud de cola son en promedio más de 10 vehículos lo que muestra que la cola en la vía no se alcanza a disipar cuando el semáforo está en verde.

Tabla 14.

Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 3.

Corredor vial	Vehículos en cola	
	Escenario base [veh]	Alt 3 [veh]
Cra 27 - Cll 55 WE	9.0	9.0
Cra 27 - Cll 55 NS	18.0	17.3
Cra 27 - Cll 56 NS	19.0	18.0
Cra 27 - Cll 56 SN	15.6	15.0
Cra 27 - Cll 56 EW	29.6	16.5
Cra 27 - Cll 56 WE	21.2	15.0
Cra 28- Cll 56 NS	10.0	11.0
Cra 28- Cll 56 EW	22.0	19.0
Cra 28- Cll 56 WE	15.0	16.0
Cra 27 - Cll 58 WE	10.0	12.2
Dg 15 - Cll 56 NS	17.5	15.5
Dg 15 - Cll 56 SN	13.0	6.0
Dg 15 - Cll 56 EW	15.1	10.0
Dg 15 - Cll 56 WE	20.7	20.0
Cra 21 - Cll 56 SN	19.0	6.0
Cra 21 - Cll 56 EW	15.7	10.6
Cra 21 - Cll 56 WE	10.3	10.0
Cra 22 - Cll 56 NS	12.9	11.6
Cra 22 - Cll 56 EW	11.9	10.2
Cra 22 - Cll 56 WE	7.2	6.0

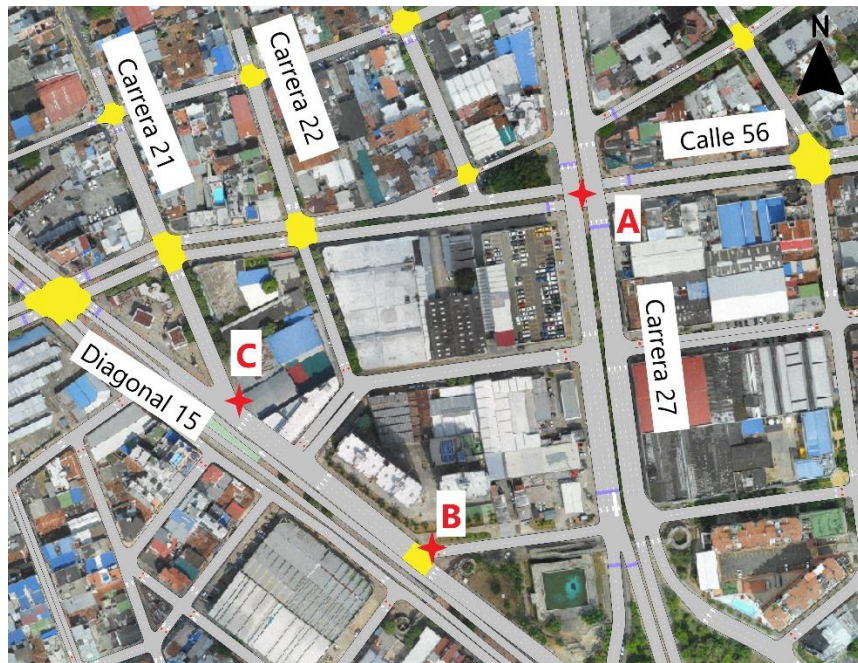
4.4.4 Alternativa 4

Para esta alternativa se elimina el semáforo de la Calle 56 (punto A) y se realiza un deprimido por la Calle 56 que conecta las vías en ambos sentidos, con el fin de generar un paso

constante entre estas. Además, se amplía un carril más sobre la Diagonal 15 sentido sur-norte (punto B) que se extiende hasta la Carrera 21 (punto C) como se observa en la Figura 25.

Figura 25.

Alternativa de solución 4.



Los NDS que muestra esta alternativa se observa en la Figura 26, donde se observa que mejora significativamente en comparación con el escenario base. Se puede observar en la Carrera 27 donde pasa de un nivel F a un nivel entre C y D teniendo en cuenta la relación v/c de las vías. De igual manera, en la Diagonal 15 y la Carrera 21 los niveles de servicio pasaron de ser E y F a ser C y D respectivamente.

Figura 26.

Niveles de servicio para la alternativa de solución 4.



En la Tabla 15 se encuentran los NDS del escenario actual, la alternativa 4 y las proyecciones a 5, 10 y 20 años. Los resultados muestran que la implementación de esta alternativa mejora significativamente los niveles puesto que se encuentran entre C y B para todas las intersecciones, ya que se está teniendo en cuenta una solución para ambos sentidos. Además, los NDS para 5 años aumentan de manera controlada donde el peor nivel es D y se presenta en intersecciones como la Carrera 21 con Calle 56 y la Diagonal 15 con Calle 56, las demás siguen estando en un nivel C. Luego de 10 años los niveles de servicio se mantienen siendo el nivel más crítico D que se presenta en las intersecciones de la Calle 56 con las Carreras 21, 22 y 27. Por último, en 20 años el mayor NDS alcanzado es E en la Calle 56 con la Carrera 27, la Carrera 21 y la Diagonal 15, entre otras. En base a esto se puede decir que esta alternativa puede resultar como una buena opción para solucionar la problemática ya que su desempeño operativo aceptable se mantiene hasta más de 10 años, aunque se debe tener en cuenta que con esta alternativa se pueden

ver afectadas las intersecciones de la Calle 56 con las Carreras 22 y 21, puesto que todo el flujo llega a este punto.

Tabla 15.

Niveles de servicio de la alternativa 4 proyectada a 5, 10 y 20 años.

Intersección	Nivel de Servicio				
	Base	Alt 4	5 años	10 años	20 años
Cra 27 con Calle 55	F	C	C	D	D
Cra 27 con Calle 55a	E	C	C	C	D
Cra 27 con Calle 58	D	C	D	D	E
Cra 27 - Autopista -Girón	B	B	B	C	C
Diagonal 15 con Cra 21	D	B	C	C	D
Diagonal 15 con Calle 61	C	C	C	D	E
Cra 27 - Girón - Calle 60	C	B	B	C	C
Girón - Oreja Dg 15	B	B	B	C	C
Oreja - Dg 15	B	B	C	C	D
Autopista - Cra 27 - Dg 15	C	C	C	D	E
Autopista - Parque hormigas	B	B	C	C	D
Diagonal 15 – Carrera 27	B	B	B	C	C
Parque Las Hormigas	B	B	C	D	D
Diagonal 15 con Calle 56	D	C	C	D	E
Cra 21 con Calle 56	D	C	D	D	E
Cra 22 con Calle 56	D	C	D	D	E
Cra 27 con Calle 56	D	B	B	C	D
Cra 28 con Calle 56	F	C	C	D	E

Con respecto a las longitudes de cola que se muestran en la Tabla 16 de la alternativa 4, se presentan reducciones considerables como la Carrera 27 con Calle 56 en sentido este-oeste, oeste-este, sur-norte y norte-sur siendo del 93%, 91%, 81% y 74% respectivamente. Por otra parte, en la Calle 56 con Carrera 22 aumentó la longitud de cola en un 30% en sentido este-oeste, debido a que todo el flujo se concentra en este punto, de igual manera en la Calle 56 con Carrera 21 aumentó en un 25%, mientras la Diagonal 15 con Calle 56 tuvo un incremento del 14%.

Tabla 16.

Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 4.

Corredor vial	Vehículos en cola	
	Escenario base [veh]	Alt 3 [veh]
Cra 27 - Cll 55 WE	9.0	5.0
Cra 27 - Cll 55 NS	18.0	7.0
Cra 27 - Cll 56 NS	19.0	5.0
Cra 27 - Cll 56 SN	15.6	3.0
Cra 27 - Cll 56 EW	29.6	2.0
Cra 27 - Cll 56 WE	21.2	2.0
Cra 28- Cll 56 NS	10.0	6.0
Cra 28- Cll 56 EW	22.0	16.0
Cra 28- Cll 56 WE	15.0	14.0
Cra 27 - Cll 58 WE	10.0.	3.0
Dg 15 - Cll 56 NS	17.5	15.0
Dg 15 - Cll 56 SN	13.0	12.0
Dg 15 - Cll 56 EW	15.1	14.0
Dg 15 - Cll 56 WE	20.7	18.0
Cra 21 - Cll 56 SN	19.0	10.0
Cra 21 - Cll 56 EW	15.7	12.0
Cra 21 - Cll 56 WE	10.3	8.0
Cra 22 - Cll 56 NS	12.9	10.0
Cra 22 - Cll 56 EW	11.9	16.0
Cra 22 - Cll 56 WE	7.2	4.0

4.4.5 Alternativa 4a

Con esta alternativa se plantea al igual que la alternativa 4 eliminar el semáforo de la Calle 56 con Carrera 27 en el punto A, realizando un paso deprimido que conecte esta calle generando un paso constante a la Carrera 27, adicionalmente se implementa las alternativas 2 y 3 donde se le da continuidad a la Carrera 22 hasta la autopista sentido norte-sur en los puntos B, C y D de la Imagen 27 y en el punto E se crea una paralela elevada que conecta con la Carrera 21.

Figura 27.

Alternativa de solución 4a.



En la Figura 28, se observan los NDS que se obtuvieron de esta alternativa donde la Carrera 27, la Diagonal 15 y la Carrera 22 pasan a tener niveles entre D y E, teniendo en cuenta la relación de volumen capacidad de las vías. Asimismo, en la Calle 56 los niveles de servicio que se encontraban entre C y D se mantienen en estos sin generar ningún cambio significativo.

Figura 28.

Niveles de servicio para la alternativa de solución 4a.



En base a las intersecciones que se analizaron en la Tabla 17 se encuentran los resultados de la alternativa, donde todas estas se encuentran entre niveles B y C. Para las proyecciones de 5 y 10 años se mantuvieron NDS aceptables siendo el peor nivel D. Para 20 años ya se llegó a niveles E en intersecciones como la Diagonal 15 con Calle 56 y a lo largo de la Carrera 27 desde la Calle 55 hasta la Calle 58.

Tabla 17.

Niveles de servicio de la alternativa 4a proyectada a 5, 10 y 20 años.

Intersección	Nivel de Servicio				
	Base	Alt 4	5 años	10 años	20 años
Cra 27 con Calle 55	F	C	C	D	D
Cra 27 con Calle 55a	E	B	C	D	E
Cra 27 con Calle 58	D	C	C	D	E
Cra 27 - Autopista - Girón	B	B	B	C	C
Diagonal 15 con Cra 21	D	B	B	C	D
Diagonal 15 con Calle 61	C	C	C	D	E
Cra 27 - Girón - Calle 60	C	B	B	C	C
Girón - Oreja Dg 15	B	B	C	C	D
Oreja - Dg 15	B	B	C	D	D
Autopista - Cra 27 - Dg 15	C	B	C	C	E

Autopista - Parque hormigas	B	B	C	C	D
Diagonal 15 – Carrera 27	B	B	B	C	C
Parque Las Hormigas	B	B	C	C	D
Diagonal 15 con Calle 56	D	C	C	D	E
Cra 21 con Calle 56	D	B	C	D	D
Cra 22 con Calle 56	D	C	C	D	D
Cra 27 con Calle 56	D	B	B	C	D
Cra 28 con Calle 56	F	C	C	C	D

En la Tabla 18, se puede ver que las longitudes de cola disminuyen significativamente, donde las intersecciones sobre la Carrera 27 disminuyen entre un 44% y 97%, aunque la intersección de la Carrera 22 con Calle 56 incrementa en un 16% debido a que una parte del flujo de la Carrera 27 se traslada a esta vía.

Tabla 18.

Promedio de vehículos en cola. de la alternativa 4a.

Corredor vial	Vehículos en cola	
	Escenario base [veh]	Alt 3 [veh]
Cra 27 - Cll 55 WE	9.0	5.0
Cra 27 - Cll 55 NS	18.0	5.0
Cra 27 - Cll 56 NS	19.0	4.0
Cra 27 - Cll 56 SN	15.6	3.0
Cra 27 - Cll 56 EW	29.6	1.0
Cra 27 - Cll 56 WE	21.2	2.0
Cra 28- Cll 56 NS	10.0	8.5
Cra 28- Cll 56 EW	22.0	12.3
Cra 28- Cll 56 WE	15.0	14.6
Cra 27 - Cll 58 WE	10.0	2.1
Dg 15 - Cll 56 NS	17.5	14.8
Dg 15 - Cll 56 SN	13.0	8.1
Dg 15 - Cll 56 EW	15.1	14.0
Dg 15 - Cll 56 WE	20.7	18.7
Cra 21 - Cll 56 SN	19.0	5.3
Cra 21 - Cll 56 EW	15.7	11.2
Cra 21 - Cll 56 WE	10.3	8.4
Cra 22 - Cll 56 NS	12.9	15.0

Cra 22 - Cll 56 EW	11.9	11.2
Cra 22 - Cll 56 WE	7.2	5.0

5. Conclusiones

- Se logró establecer que las vías sobrepasan la capacidad operacional debido al crecimiento desmesurado de los volúmenes vehiculares que transitan por la zona, ya que este es un punto de alto flujo, pues los habitantes de Florida y Girón transitan con regularidad para realizar sus actividades en Bucaramanga.

- Para valorar los problemas de congestión vehicular en la zona de estudio fue necesario elaborar un modelo de micro simulación con el software Aimsun, que permitió simular y realizar evaluaciones de operación de tráfico de diferente complejidad, algo muy importante para este proyecto. Gracias a este software de modelación, se evaluó el desempeño del intercambiador de la Puerta del Sol y permitió realizar una comparación entre la situación actual, las alternativas de solución y las proyecciones evidenciando los NDS y longitudes de cola críticas, por tanto, es necesario buscar algunas alternativas para mejorar esta problemática.

- Con el análisis presentado se determina que realmente el problema de congestión no es el intercambiador de la Puerta de Sol, sino las intersecciones cercanas como la de la Calle 56 con Carrera 27, además del cruce de la Diagonal 15 al tomar la Carrera 21 y el cruce de la vía que conduce de la Autopista a la Carrera 27 sentido sur-norte. Por esto, todas las alternativas que se plantearon se enfocan en solucionar estos puntos de conflicto y así mejorar los problemas de congestión vehicular.

- Con la alternativa 1 se logra identificar que la implementación de más carriles en la zona no es suficiente puesto que no se obtiene una mejora considerable en el desempeño operativo, en

las vías que se ampliaron los carriles como la Carrera 27 pasó de un NDS F a E y la Diagonal 15 pasó de un nivel D a C, además, las longitudes de colas solo disminuyeron entre el 20% y 40% quedando la mayoría en un estado crítico.

- La alternativa 2 plantea un nuevo paso elevado en el intercambiador para darle continuidad a la Carrera 22 hacia la Autopista y así descongestionar la Carrera 27, esto representa una opción de alto costo. Los NDS pasan de F a un nivel C y con una proyección a 5 años llega a ser de E, y respecto las longitudes de cola disminuyen en promedio entre un 15%-20% en la mayoría de los tramos viales, con excepción de la Carrera 22 ya que aumenta en un 52%, siendo inaceptables, debido que la implementación de esta alternativa genera que el flujo de la Carrera 27 se desplace hacia otras vías como la Carrera 22, por el fenómeno de redistribución de flujo, y esto a su vez afectando a otras intersecciones sobre la Calle 56. Por tanto, esta alternativa no tiene un comportamiento eficiente si no hasta los primeros 5 años, llegando a tener NDS de E, además que su construcción es de muy alto costo.

- En la alternativa 3 la implementación de una paralela sobre la Diagonal 15 que conecta con la Carrera 21 los niveles de servicio solo presentan mejoría sobre la Diagonal pasando de un nivel D a B mientras en la Carrera 27 solo pasa a un nivel D y la mayoría de las intersecciones presentan colas críticas que no alcanzan a disipar los vehículos. Además, esta alternativa implica altos costos de construcción y debe ir acompañada de medidas de gestión de tránsito.

- La alternativa 4 propone eliminar el semáforo de la Calle 56 con Carrera 27 y realizar un deprimido por la Calle 56 que conecta la Calle en ambos sentidos y ampliar a un carril para acceder hacia la Carrera 21, esto ayuda a descongestionar en ambos sentidos las vías. Con la implementación de esta alternativa el desempeño operacional mejora considerablemente con NDS que pasan de F a C y con una reducción promedio en las colas vehiculares del 50%-80%. Esta

alternativa tiene un comportamiento aceptable durante casi 10 años de su implementación, se debe tener en cuenta que para la implementación de esta alternativa es necesario un alto presupuesto.

- Para la alternativa 4a, se implementaron las alternativas 2, 3 y 4 y con esto se logró que los niveles de servicio pasen a B en la mayoría de las intersecciones, además mejora significativamente en las proyecciones manteniendo niveles aceptables hasta más de 10 años en comparación de la alternativa 4 donde las Carreras 21 y 22 no tienen cambios significativos debido a que no se implementó ningún cambio.

- Se recomienda que para futuras investigaciones se aborden soluciones que impliquen análisis peatonal, de usuarios de ciclорrutas u otros modos de transporte que en esta investigación no se tuvieron en cuenta, ya que no está dentro del alcance de este proyecto. Debido a que con una caracterización más detallada de la zona es posible encontrar alternativas que disminuya la siniestralidad y así generar un mejor funcionamiento de la infraestructura.

Referencias Bibliográficas

- Aimsun. (2022). *Calibration and Validation - Aimsun Next User's Manual*.
- Álvarez, J. (2017). Micro simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/8642>
- Ardila, E. K. (2019). *La 'Bucaramanga del ayer': Hoy, la legendaria glorieta de la Puerta del Sol*. *Vanguardia*. <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/la-legendaria-glorieta-de-la-puerta-del-sol-DN816324>
- Betancourt, G. H., Bencomo, J. O. V., y Esparza, M. A. R. (2015). Vialidad: Problemática en Intersecciones Viales de Áreas Urbanas, Causas y Soluciones. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56), 25–32.
- Dirección General de Desarrollo Carretero. (2006). *Manual de Modelación para Carreteras de Cuota, Normateca Interna de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes*.
<http://sct.gob.mx/normatecaNew/manual-de-modelacion-para-carreteras-de-cuota/>
- Estrada Polanco, L. S., y Rodríguez Vega, L. T. (2018). *Propuesta para mejorar los niveles de servicio en dos intersecciones de la Av. Simón Bolívar, comprendidas entre las avenidas José de San Martín y Paso de Los Andes – Pueblo Libre* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/624577>
- Feldman, O. (2012). *The GEH measure and quality of the highway assignment models*. *Association for European Transport and Contributors*. 1–18.

- García, E. M., Bencomo, J. O. V., Esparza, y M. A. R. (2015). Vialidad: Análisis y evaluación de Intersecciones Urbanas. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56), 51–60.
- HCM 2010. (2010). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- López, R., y Bastidas, H. (2019). Recomendaciones técnicas para mejorar la movilidad en carrera primera ruta 50 del municipio de Facatativá con sistemas de transporte inteligente y simulaciones en el software AIMSUN. *Universidad Piloto de Colombia*. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6172>
- Mendoza, J. F., Quezada, F. M., y Trejo, J. A. (2015). Propuesta metodológica para justificar la construcción de intersecciones a desnivel. *Instituto Mexicano Del Transporte, Publicación Técnica*, No. 436. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt436.pdf>
- Pineda, Yazmín., y Alvarado, Francisco. (2016). *Propuesta para potenciar el servicio de transporte eléctrico de superficie en la Ciudad de México: Estudio de caso: reincorporación de la línea E de trolebuses del Eje 8 Sur*. 50–52.
- Pinos, V., y Riquetti, J. P. (2016). *Diseño de intersecciones en vías urbanas* [Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5901>
- Porras, H., y Otros. (2011). *Plan Maestro de Movilidad Bucaramanga 2011 - 2030*.
- Puerto Hernández, S., Forero Forero, S., y Herrera Cuartas, J. (2015). Modelo y simulación de una intersección vial usando el software Arena. *Revista Mutis*, 5(1), 66–73.
- Rodríguez Rucobo, N. P., Vidaña Bencomo, J. O., y Rodríguez Esparza, A. (2015). Vialidad: Evaluación del congestionamiento vehicular en intersecciones viales. *Cultura Científica Y Tecnológica*. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56).

RUNT. (2020). *Registro Único Nacional de Transito - Parque automotor registrado en RUNT*.

Uribe, S. L. (2009). Propuesta metodológica para el diseño de intersecciones urbanas. *I*, 4(7), 46–

54.

Apéndices

Apéndice A. Tiempos semafóricos.

Tabla 1.

Tiempos semafóricos de la zona de influencia.

1) Cra 17 - CII 55	TC	118				9) Cra 21 - CII 56	TC	88			
	A			C			A			C	
	Rojo	45	Rojo	45	Rojo			Rojo	36		
	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo			Amarillo	3		
	Verde	70	Verde	70	Verde			Verde	49		
	B			D			B			D	
Rojo	75	Rojo		Rojo	54	Rojo	54				
Amarillo	3	Amarillo		Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde	40	Verde		Verde	31	Verde	31				
2) Cra 17c - CII 55	TC	88				10) Cra 22 - CII 56	TC	88			
	A			C			A			C	
	Rojo	45	Rojo		Rojo		38	Rojo			
	Amarillo	3	Amarillo		Amarillo		3	Amarillo			
	Verde	40	Verde		Verde		47	Verde			
	B			D			B			D	
Rojo	45	Rojo		Rojo	52	Rojo	52				
Amarillo	3	Amarillo		Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde	40	Verde		Verde	33	Verde	33				
3) Dg 15 - CII 55	TC	118				11) Cra 27 - CII 56	TC	118			
	A			C			A			C	
	Rojo	47	Rojo	47	Rojo		35	Rojo	35		
	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo		3	Amarillo	3		
	Verde	68	Verde	68	Verde		80	Verde	80		
	B			D			B			D	
Rojo	73	Rojo		Rojo	85	Rojo	85				
Amarillo	3	Amarillo		Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde	42	Verde		Verde	30	Verde	30				
4) Cra 21 - CII 55	TC	88				12) Cra 28 - CII 56	TC	88			
	A			C			A			C	
	Rojo		Rojo	45	Rojo		44	Rojo			
	Amarillo		Amarillo	3	Amarillo		3	Amarillo			
	Verde		Verde	40	Verde		41	Verde			
	B			D			B			D	
Rojo	45	Rojo		Rojo	44	Rojo	44				
Amarillo	3	Amarillo		Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde	40	Verde		Verde	41	Verde	41				
5) Av. Gonzalez V - CII 55	TC	88				13) Cra 32 - CII 56	TC	118			
	A			C			A			C	
	Rojo	31	Rojo	59	Rojo		61	Rojo	61		
	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo		3	Amarillo	3		
	Verde	54	Verde	26	Verde		54	Verde	54		
	B			D			B			D	
Rojo		Rojo	31	Rojo	61	Rojo	61				
Amarillo		Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde		Verde	54	Verde	54	Verde	54				
6) Cra 17 - CII 56	TC	118				14) Cra 17 - CII 61	TC	118			
	A			C			A			C	
	Rojo	63	Rojo	63	Rojo			Rojo	33		
	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo			Amarillo	3		
	Verde	52	Verde	52	Verde			Verde	52		
	B			D			B			D	
Rojo	59	Rojo	59	Rojo	31	Rojo	31				
Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde	56	Verde	56	Verde	54	Verde	54				
7) Cra 17c - CII 56	TC	88				15) Cra 17c - CII 61	TC	88			
	A			C			A			C	
	Rojo	46	Rojo		Rojo		46	Rojo			
	Amarillo	3	Amarillo		Amarillo		3	Amarillo			
	Verde	39	Verde		Verde		39	Verde			
	B			D			B			D	
Rojo	44	Rojo	44	Rojo	44	Rojo	44				
Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo	3				
Verde	41	Verde	41	Verde	41	Verde	41				
8) Dg 15 - CII 56	TC	118				16) Cra 32 - CII 62	TC	118			
	A			C			A			C	
	Rojo	48	Rojo	48	Rojo		45	Rojo	45		
	Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo		3	Amarillo	3		
	Verde	67	Verde	67	Verde		70	Verde	70		
	B			D			B			D	
Rojo	72	Rojo	72	Rojo		Rojo	75				
Amarillo	3	Amarillo	3	Amarillo		Amarillo	3				
Verde	43	Verde	43	Verde		Verde	40				

17) Cra 32 - CII 63	TC	118		
	A	C		
	Rojo	45	Rojo	45
	Amarillo	3	Amarillo	3
	Verde	70	Verde	70
	B	D		
	Rojo	75	Rojo	
	Amarillo	3	Amarillo	
Verde	40	Verde		
18) Cra 27 - CII 67	TC	88		
	A	C		
	Rojo	56	Rojo	54
	Amarillo	3	Amarillo	3
	Verde	29	Verde	31
	B	D		
	Rojo	67	Rojo	58
	Amarillo	3	Amarillo	3
Verde	18	Verde	27	
19) Cra 30 - CII 67	TC	88		
	A	C		
	Rojo	50	Rojo	
	Amarillo	3	Amarillo	
	Verde	35	Verde	
	B	D		
	Rojo	41	Rojo	41
	Amarillo	3	Amarillo	3
Verde	43	Verde	43	

Nota: Grupo de investigación de Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.