

Análisis de alternativas para el mejoramiento de la movilidad vehicular en la intersección vial localizada en la Calle 45 con Avenida La Rosita en la ciudad de Bucaramanga, Santander

Cristian Gerardo Roa Hernández, Leidy Sthefania Rodríguez Camacho

Proyecto 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

2020

Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Revisión Bibliográfica	12
2.1 Análisis de Base de Datos Bibliográficas	12
2.2 Intersecciones viales	14
2.2.1 Intersecciones viales a nivel.....	15
2.2.2 Intersecciones viales a desnivel	15
2.3 Simulación de tráfico	17
2.4 Alternativas de solución.....	20
3. Metodología	21
3.1 Definición de la zona de estudio	22
3.2 Caracterización de la zona de estudio	24
3.2.1 Estado del pavimento.....	24
3.2.2 Inventario de señalización:.....	25
3.2.3 Puntos de conflicto.....	27
3.2.4 Maniobras permitidas.....	27
3.2.5 Accidentalidad	28

3.2.6	Semaforización.....	29
3.2.7	Geometría.....	31
3.2.8	Velocidades	32
	Según el.....	32
3.2.9	Registro fotográfico	34
3.3	Análisis de los aforos vehiculares	35
3.4	Construcción y calibración del modelo de micro-simulación del escenario actual	38
3.4.1	Creación de la red	38
3.4.2	Creación de secciones	38
3.4.3	Asignación del tráfico	39
3.4.4	Calibración y validación del modelo	40
3.4.5	Resultados del escenario base:	43
3.5	Alternativas de solución planteadas	46
3.5.1	Alternativa 1ª.....	46
3.5.2	Alternativa 1B	51
3.5.3	Alternativa 2.....	55
3.5.4	Alternativa 3.....	59
3.6	Análisis y comparación de las alternativas	63
4.	Conclusiones	65
	Referencias bibliográficas.....	69

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Documentos relacionados con mitigación de congestión de tráfico mediante el análisis y simulación de intersecciones viales publicados por año según la base de datos Scopus.....	13
Figura 2. Documentos relacionados con mitigación de congestión de tráfico mediante el análisis y simulación de intersecciones viales publicados por países o territorios según la base de datos Scopus.....	14
Figura 3. Intersecciones a desnivel tipo trébol a), glorieta a desnivel b) y tipo diamante c).	16
Figura 4. Documentos relacionados con el software de simulación Aimsun publicados por años según la base de datos Scopus.....	19
Figura 5. Zona de influencia del proyecto.	23
Figura 6. Registro del estado del pavimento.....	25
Figura 7. Clasificación de las señales verticales en la zona de estudio.	26
Figura 8. Puntos de conflicto, dirección de los flujos vehiculares y semaforización de la intersección.	27
Figura 9. Ubicación de los 19 grupos semafóricos	30
Figura 10. Plan de control en la zona.....	30
Figura 11. Longitudes de cola.....	32
Figura 12. Registro fotográfico de la intersección.....	34
Figura 13. Crecimiento del parque automotor en la ciudad de Bucaramanga.	36

Figura 14. Comportamiento del flujo vehicular en el año 2016.	36
Figura 15. Composición vehicular en la intersección en la hora de Máxima demanda para el año 2020.....	37
Figura 16. Modelo base con Aimsun.	39
Figura 17. Porcentaje de vehículos en cola escenario base.....	45
Figura 18. Niveles de Servicio escenario base.....	46
Figura 19. Alternativa 1A.	48
Figura 20. Niveles de Servicio Alternativa 1A.	49
Figura 21. Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 1A.....	49
Figura 22. Alternativa 1B.....	52
Figura 23. Niveles de Servicio Alternativa 1B.	52
Figura 24. Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 1B	53
Figura 25. Afectación predial de la Alternativa 2.....	56
Figura 26. Niveles de Servicio Alternativa 2.....	57
Figura 27. Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 2.....	57
Figura 28. Afectación predial de la Alternativa 3.....	60
Figura 29. Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 3.....	61
Figura 30. Niveles de Servicio Alternativa 3.....	62

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Maniobras permitidas en la intersección.	28
Tabla 2. Velocidades de circulación de los vehículos medidas en campo.....	33
Tabla 3. Indicador estadístico GEH para la validación por aforos para cada modo de transporte del modelo de microsimulación.	42
Tabla 4. Indicador estadístico GEH para la validación por velocidades de circulación del modelo de microsimulación.	42
Tabla 5. Descripción y clasificación de los Niveles de Servicio para intersecciones semaforizadas en base al tiempo de demora según el HCM 2010 (Yadira, 2007)	43
Tabla 6. Niveles de Servicio para la Alternativa 1A proyectada a 5, 10 y 20 años.....	50
Tabla 7. Niveles de Servicio para la Alternativa 1B proyectada a 5, 10 y 20 años.....	54
Tabla 8. Niveles de Servicio para la Alternativa 2 proyectada a 5, 10 y 20 años.....	59
Tabla 9. Niveles de Servicio para la Alternativa 3 proyectada a 5, 10 y 20 años.....	62
Tabla 10. Comparación de las alternativas.	65

Resumen

Título: Análisis de alternativas para el mejoramiento de la movilidad vehicular en la intersección vial localizada en la Calle 45 con Avenida la Rosita en la ciudad de Bucaramanga, Santander*

Autores: Cristian Gerardo Roa Hernández, Leidy Sthefania Rodríguez Camacho**

Palabras Clave: Intersección conflictiva, Nivel de servicio, Aimsun, Micro simulación, Alternativas, Mejoramiento, Movilidad.

Las intersecciones que están compuestas por un número considerable de calzadas son elementos de la infraestructura vial de la ciudad que usualmente presentan inconvenientes en su operación por la cantidad de tramos viales, flujos vehiculares y giros que estas soportan. Este artículo se enfoca en el análisis de la intersección vial que se ubica en la Calle 45 con Avenida La Rosita en la ciudad de Bucaramanga, la cual es un punto neurálgico de la ciudad ya que en este se conectan un total de 7 vías. Con el propósito de conocer el comportamiento de esta intersección y analizar sus niveles de servicio y flujos vehiculares, se realizó la caracterización de su zona de influencia. Luego de esto y con el uso de la herramienta de modelación de tráfico Aimsun se efectuó un análisis de microsimulación para conocer el estado actual de la intersección y el comportamiento de un total de 4 alternativas que permitirían el mejoramiento de la movilidad vehicular en este punto. El resultado principal de esta investigación fue que la alternativa más adecuada para mejorar la movilidad en esta intersección a largo plazo es la construcción de un intercambiador donde las calle 45 y Avenida Rosita pasan a desnivel. Sin embargo, el análisis también muestra alternativas menos robustas que podrían ser implementadas a corto plazo y no implicarían una inversión alta.

* Proyecto de Grado

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

Abstract

Title: Analysis of alternatives for the improvement of vehicle mobility at the road intersection located at Calle 45 & Avenida la Rosita in the city of Bucaramanga, Santander *

Authors: Cristian Gerardo Roa Hernández, Leidy Sthefania Rodríguez Camacho **

Keywords: Conflictive intersection, Service level, Aimsun, Micro simulation, Alternatives, Improvement, Mobility.

Intersections that are comprised of a significant number of carriageways are elements of the city's road infrastructure that usually have problems in their operation due to the number of road sections, traffic flows and turns that they support. This article focuses on the analysis of the road intersection located at Calle 45 & Avenida La Rosita in the city of Bucaramanga, which is a nerve spot of the city because there are 7 stretch roads are connected there. With the purpose of know the behavior of this intersection and analyze its service levels and vehicle flows, the characterization of its influence zone was carried out. After this and with the use of the traffic modeling tool Aimsun, a microsimulation analysis was carried out for the current state of the intersection and 4 alternatives that would allow the improvement of vehicular mobility at this spot. The main result of this research was that the alternative more adequate to improve mobility at this intersection in the long term is the construction of an interchange where 45th Street and Rosita Avenue pass overhead. However, the analysis also shows less robust alternatives that could be implemented in the short term and would not imply a high investment.

* Proyecto de Grado

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

Introducción

El casco urbano de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana han tenido un crecimiento demográfico acelerado, lo cual ha generado una expansión territorial un tanto desorganizada que ha estado acompañada de una dependencia del uso del automóvil, que a su vez ha traído una serie de problemáticas de movilidad. Problemáticas, que se acrecientan con las dificultades que se presentan en el sistema de transporte público asociadas a una planificación desarticulada y la falta de buses que se manifiesta en una deficiencia en cobertura para algunas zonas de la ciudad. Además, las constantes modificaciones en la operación no han permitido ofrecer un servicio de transporte público de calidad que sea una alternativa eficiente y atractiva frente al automóvil y la motocicleta. Asimismo, el déficit de infraestructura vial para modos de transporte activos no permite ofrecer una alternativa de transporte sustentable a los ciudadanos. Estas problemáticas han sido potenciadas, por el aumento año a año del parque automotor, que actualmente supera los 700 mil vehículos según la Dirección de Tránsito de Bucaramanga, lo cual ha hecho que los tiempos de viaje aumenten, que el gasto en transporte de las familias se incremente y que su calidad de vida se haya visto disminuida, sumado al deterioro en la calidad del aire y la salud. Además, la siniestralidad en la ciudad de Bucaramanga se ha convertido en un aspecto a tener en cuenta dado el número creciente de siniestros viales (Ortega & Ortega, 2019).

Para dar solución a este tipo de problemáticas en las diferentes zonas urbanas, los expertos en ingeniería de tránsito y transporte apuestan entre muchas estrategias por mejorar las intersecciones viales, ya que debido a la sobresaturación vehicular y a la cantidad de vías que

convergen en ellas las problemáticas son más notorias convirtiéndolas en puntos de conflicto sobre una red vial (Betancourt, Osiris, Bencomo, Alberto, & Esparza, 2015).

En el sector del centro de la ciudad de Bucaramanga, exactamente en el punto de encuentro de la Calle 45 con Avenida La Rosita se encuentra ubicado un punto conflictivo, en el cual se intersecan un total de 7 ejes viales, 3 que son de una sola calzada: Calle 41, Calle 48 y Calle 45; y 4 que son de doble calzada: Carrera 21, Carrera 23, Avenida Gonzales Valencia y Calle 45. Esta intersección es neurálgica tanto en la comunicación norte – sur y este – oeste de la ciudad ya que permite la conexión con la zona centro, y además brinda una conexión rápida con la zona comercial de Cabecera. Otra característica operacional importante de esta intersección es que dentro de ella se permite a los vehículos realizar un total de 17 maniobras de giro, siendo uno de los factores que aumenta el problema de congestión en este punto. Dado dicho panorama en esta investigación se hizo un análisis de alternativas para mitigar los problemas de movilidad vehicular y disminuir las externalidades negativas que produce la congestión en este punto, a partir de la revisión del diseño, de la operación de cada alternativa analizada desde la ingeniería de tránsito y del uso de la herramienta de simulación de tráfico Aimsun.

Este documento se organiza de la siguiente forma: En la sección 2 se presenta una revisión de la literatura enfocada principalmente en las intersecciones viales y la simulación de tráfico. En la sección 3 se presenta la metodología y el procedimiento con el cual se desarrolló esta investigación. En la sección 4 se muestran los resultados de los escenarios de simulación planteados. En la sección 5 se muestra el análisis y discusión de los resultados y por último en la sección 6 se encuentran las conclusiones y sugerencias para futuras investigaciones.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Establecer un análisis comparativo entre alternativas enfocadas en mitigar los impactos negativos en la movilidad vehicular del sector ubicado en la intersección de la calle 45 con la Avenida la Rosita “Siete Bocas” en la ciudad de Bucaramanga.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre la implementación de alternativas en intersecciones de múltiples accesos.
- Identificar las principales problemáticas de movilidad en la zona de estudio con base en la caracterización del estado del tránsito y la infraestructura del sector.
- Determinar el impacto de la implementación de las alternativas de solución planteadas a partir del uso de modelos de micro simulación de tráfico.

2. Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica en cualquier proyecto de investigación tiene como propósito reunir la mayor cantidad de información existente y de calidad referente a un tema de investigación particular y de esta forma conocer es el estado del conocimiento actual de un tema específico. La información se obtiene de diversas fuentes como revistas, libros, artículos científicos y trabajos académicos como tesis de pregrado y posgrado. Existen muchas bases de datos en las cuales se puede realizar la búsqueda respectiva de la información, algunas de las bases de datos usadas en esta investigación fueron: SciELO, Science Direct, Scopus, Google Scholar y la base de datos de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander.

La revisión bibliográfica estuvo compuesta en primer lugar por un análisis bibliométrico general de la información publicada en la base de datos Scopus para tener una referencia inicial sobre intersecciones viales. Luego se hizo una búsqueda mucho más precisa incluyendo conceptos como simulación de tráfico y las intersecciones viales. Asimismo, se definieron los parámetros más comunes para evaluar la calidad y funcionamiento de una intersección vial y las alternativas más usadas para mitigar los problemas de congestión en intersecciones.

2.1 Análisis de Base de Datos Bibliográficas

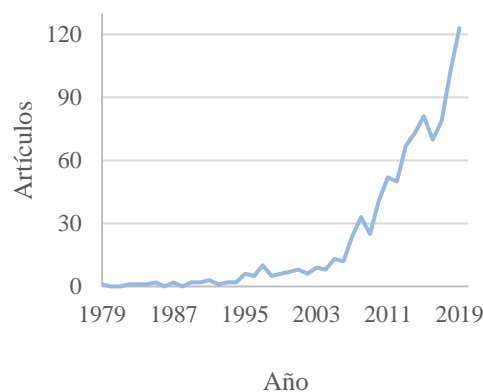
Las bases de datos bibliográficas son recopilaciones de publicaciones de diversos temas y tienen como objetivo agrupar la mayor cantidad de información de investigaciones, artículos, citas,

libros, tesis, etc. En la actualidad las bases de datos cuentan con herramientas para realizar análisis bibliométricos de los resultados de una búsqueda específica, en donde se puede ver la cantidad de publicaciones sobre un tema que se publican por año, por autores, por países, por área temática y otras categorías más (Álvarez, 2014). Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó la búsqueda bibliográfica en la base de datos Scopus, la cual cuenta con cerca de 25.100 revistas de más de 5.000 editores internacionales (Elsevier, 2020).

En la figura 1 se observa el análisis resultante tras la búsqueda de artículos relacionados al tema de mitigación de congestión de tráfico mediante el análisis y simulación de intersecciones viales, que es el tema central de esta investigación. El análisis se realiza por año de publicación desde el año 1965, según lo permitido en esta base de datos. Esta temática empezó a tener gran relevancia en los años 90 y su estudio aumentó con el pasar de los años, es así como en el año 2019 se registra la mayor cantidad de documentos publicados en esta temática con alrededor de 123.

Figura 1.

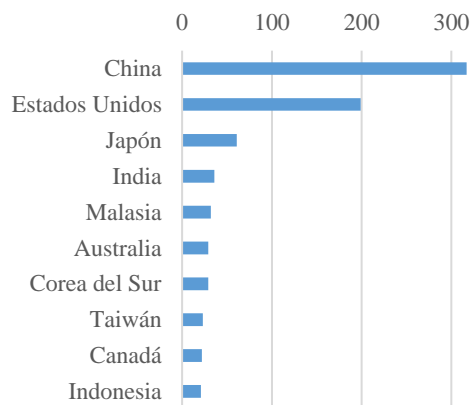
Documentos relacionados con mitigación de congestión de tráfico mediante el análisis y simulación de intersecciones viales publicados por año según la base de datos Scopus.



La figura 2 muestra la cantidad de publicaciones por país. Se observa que los países que más han publicado documentos relacionados a este tema son China y Estados Unidos, seguidos de otros países asiáticos y europeos. Con esto se puede apreciar y confirmar la importancia e influencia que tienen estos países en las investigaciones a nivel mundial. En el caso de América Latina el país con mayor cantidad de publicaciones según la base de datos de Scopus acerca del tema de la investigación es México. Colombia se encuentra en el quinto lugar de países latinoamericanos.

Figura 2.

Documentos relacionados con mitigación de congestión de tráfico mediante el análisis y simulación de intersecciones viales publicados por países o territorios según la base de datos Scopus.



2.2 Intersecciones viales

Las intersecciones viales son aquellos elementos de infraestructura vial donde existe el cruce de dos o más caminos los cuales permiten a los usuarios realizar maniobras para cambiar de

rutas o de vía. El uso de una intersección vial depende principalmente de la topografía, la geometría y los flujos vehiculares presentes en el punto de cruzamiento de las vías. Normalmente pueden existir diversas opciones de intersección, por lo tanto, se deben plantear alternativas y evaluarlas para poder elegir la más conveniente (Henríquez & Soriano, 2018).

Las intersecciones viales pueden ser clasificadas en dos grupos, intersecciones a nivel e intersecciones a desnivel.

2.2.1 Intersecciones viales a nivel

Los corredores viales que se intersecan no poseen separación vertical, lo que conlleva a que los vehículos que transitan por diferentes accesos puedan encontrarse simultáneamente, por lo tanto, se requiere que este tipo de intersecciones tengan un control para poder operar de forma más segura, en esta clase de intersección se pueden resaltar las intersecciones tipo pare o ceda el paso, las semaforizadas y las rotondas (Hernández & Pérez, 2019). Otra forma de clasificación de las intersecciones a nivel puede ser según la cantidad de ramales que la componen y los tipos de canalizaciones (Instituto Nacional de Vías, 2008).

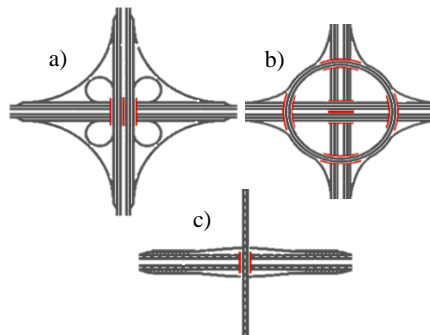
2.2.2 Intersecciones viales a desnivel

A este tipo de intersecciones también se les denomina enlaces o intercambiadores, poseen mayor capacidad ya que al dividir las diferentes vías que convergen en un punto por medio de viaductos, túneles y puentes, permiten el tránsito libre de los vehículos, y son implementadas en intersección que a nivel no presentan un servicio lo suficientemente bueno (Hernández & Pérez,

2019). Sin embargo, se debe analizar muy bien su uso ya que es necesaria una inversión considerable. En la figura 3 se muestran algunas de las intersecciones a desnivel más conocidas que son las intersecciones tipo trébol, las glorietas a desnivel y tipo diamante (Instituto Nacional de Vías, 2008).

Figura 3.

Intersecciones a desnivel tipo trébol a), glorieta a desnivel b) y tipo diamante c).



Nota. Adaptado de: (Altamirano et al., 2017)

Para mejorar la capacidad vial de una intersección es necesario realizar un análisis donde se consideran criterios basados en aspectos como el retraso que se producen por los controladores de tránsito, los volúmenes vehiculares y la saturación vehicular (García, Osiris, Bencomo, Alberto, & Esparza, 2015). Estos criterios en conjunto constituyen el nivel de servicio, que se define como una medida de calidad del funcionamiento general de un flujo de tránsito. Cuando se conoce el nivel de servicio se puede llegar a determinar si es necesaria alguna acción para el mejoramiento de una intersección (Transportation Research Board, 2010). Con la determinación de los puntos de conflicto y la recolección de datos con respecto a las características del flujo, la capacidad y el congestionamiento de una intersección, se procede a realizar el análisis que corresponda.

Los conflictos que ocurren en una intersección son considerados esporádicos y con poca frecuencia en comparación con el número de vehículos que circulan por estos puntos. Debido a esto es importante también diseñar algunos métodos para abordar este problema, por ejemplo, usando modelos para predecir y analizar las probabilidades de que suceda algún conflicto que pueda generar un accidente, sin olvidar que en algunos casos las estadísticas usadas pueden no ser suficientes (González, Poblet, Reichler, & Grath Yoquet, n.d.). Para estas tareas también puede ser útil el uso de modelos de micro simulación, durante el proceso de modelación de este tipo de estudios generalmente se sigue los siguientes pasos: definir cuál es el problema y el propósito de la modelación, definir lo que el modelo debe estudiar, desarrollar, calibrar y verificar el modelo y por último documentar los resultados obtenidos (Castellanos, Rodríguez, & Baez, 2018).

2.3 Simulación de tráfico

El elevado número de vehículos que transitan hoy en día en cada ciudad a nivel mundial genera sus propios problemas, eso hace que sea necesario manejar algún sistema que gestione y mejore la circulación. Estos sistemas se basan en técnicas de optimización y simulación del tráfico, lo cual permite definir los parámetros y estrategias de regulación más adecuados para mejorar la movilidad vehicular. La simulación de tráfico es una herramienta muy importante en la ingeniería de tráfico y transporte hoy en día, ya que permite analizar situaciones de tráfico como la congestión vehicular en intersecciones o en tramos viales, estudiar las señalizaciones, prever el impacto de obras en la vía pública o plantear estrategias de urbanismo para las ciudades (Chanca Cáceres & Castellanos, 2004).

Los modelos microscópicos de simulación o modelos de microsimulación tratan de describir el comportamiento de los vehículos que transitan por una zona lo más detalladamente posible teniendo en cuenta una serie de limitaciones asociadas a la disponibilidad tecnológica y de datos (Ruíz & Araica, 2015). Lo anterior hace que sean apropiados para el estudio de tramos con una zona de influencia no muy grande, como el análisis y regulación de intersecciones viales (Rueda, 2015).

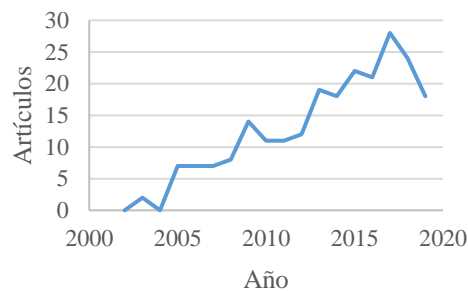
La intención de modelar el estado actual y futuro de una zona de estudio tiene dos propósitos, el primero es validar los criterios y los parámetros de la modelación, lo cual es importante ya que en las simulaciones de las alternativas que se realizan se debe garantizar que el comportamiento vehicular sea lo más parecido a como sería en la realidad. Posteriormente se trabajan escenarios que no existen y por lo tanto no pueden ser verificados y medidos los eventuales impactos que producirían a nivel de movilidad. En dicho proceso es necesario realizar un proceso de calibración para aumentar la precisión y que los resultados sean más cercanos a la realidad (Franco, 2014). El segundo propósito es que permite plantear y seleccionar las alternativas que se van a evaluar, en si no es difícil establecer que problemas existen en un escenario determinado, pero normalmente, si es más complicado definir la magnitud, causas y efectos de estos problemas (Franco, 2014).

El software de simulación usado en esta investigación es Aimsun. Esta herramienta permite modelar y simular el tráfico urbano gráficamente con una gran flexibilidad, ya que proporciona diferentes escenarios y modelos que se asemejan a diversas situaciones en la realidad. El sistema semafórico puede ser modelado en base a eventos discretos, que se refiere a eventos que cambian su estado en instantes espaciados en el tiempo, el sistema analiza los comportamientos de los vehículos, modifica y genera nuevos eventos (Franco, 2014).

En la figura 4 se observan las estadísticas de documentos relacionados al software de simulación de tráfico Aimsun. La información de la figura 4 muestra que este software no es muy usado para las investigaciones comparado con un software como VISSIM, ya que el número de documentos publicados respecto a estos temas son 232 y 2.100 respectivamente, según la base de datos de Scopus. También es posible observar que su uso es relativamente reciente ya que salió al mercado en el año 1997 y empezó a tener mayor relevancia desde el año 2009.

Figura 4.

Documentos relacionados con el software de simulación Aimsun publicados por años según la base de datos Scopus.



Para realizar los escenarios de simulación en el software se necesita tener conocimiento de algunos parámetros como las características geométricas, los flujos vehiculares en la hora pico, las maniobras permitidas, que tipo de control existe, tiempos semafóricos, problemas de bloqueo en la vía y la accidentalidad de la zona de estudio (Franco, 2014).

2.4 Alternativas de solución

En base a la revisión de múltiples publicaciones relacionadas con el análisis operacional de una intersección vial (Junca & Guevara, 2016) (Mia, Miah, & Hasan, 2015) (Bakhsh, 2020) (Qadri, Ali Gokce, Oner, & Gokce, 2019), se encontró que las alternativas más usadas para solucionar los problemas de congestión en este tipo de puntos viales son las siguientes:

- La optimización de los tiempos semafóricos, que se refiere a ajustar y realizar cambios a los semáforos hasta conseguir que el flujo y la calificación de la intersección mejoren lo suficiente (Junca & Guevara, 2016) (Gustavo, 2018) (Belloti, 2019) (Mia et al., 2015) (Das, Barua, & Roy, 2015) (Bakhsh, 2020).
- La modificación de la infraestructura de la intersección, la mayoría de las propuestas referentes a esto son la construcción de una glorieta o un intercambiador con pasos a desnivel, esta alternativa no se escoge mucho debido a su alta inversión (Junca & Guevara, 2016) (Ipus Gaviria, 2016) (Hernández & Pérez, 2019) (Mia et al., 2015) (Qadri et al., 2019).
- El contraflujo, se refiere a la modificación del flujo en algunos carriles para mejorar las condiciones en la intersección (Junca & Guevara, 2016).
- La ampliación de las vías, se refiere a ampliar las vías componen la intersección (Belloti, 2019).

3. Metodología

Inicialmente se definió la zona directa que se afecta por la operación vehicular diaria de la intersección en estudio. Fue necesario, tener en cuenta los diferentes corredores viales que convergen en este punto, como carreras, calles y avenidas, la importancia de estas vías, la ubicación de la intersección en la ciudad y el uso del suelo. Posteriormente se realizó la caracterización de la zona de influencia, teniendo en cuenta datos como los sentidos de los flujos, las maniobras permitidas dentro de la intersección, los tiempos semafóricos, la señalización horizontal y vertical presente en la zona, las velocidades de circulación de los vehículos, el estado del pavimento en la zona y un registro fotográfico de la zona.

El siguiente paso fue realizar el análisis de los aforos vehiculares históricos que se han realizado en este punto clasificados por tipo de vehículo como automóviles, taxis, motocicletas, buses y camiones. Posteriormente se procedió a realizar el modelo de simulación con el software Aimsun usando los datos medidos como son los de flujos vehiculares, la geometría de las vías, el inventario de señalizaciones, y su posterior proceso de calibración como en base a parámetros como la capacidad y la velocidad de flujo de los vehículos. En base al comportamiento de la intersección, a los resultados arrojados por el software y a la revisión bibliográfica realizada se plantearon las tres alternativas de solución más viables que se analizan en este documento.

3.1 Definición de la zona de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona del centro de la ciudad de Bucaramanga y de acuerdo con la dinámica socioeconómica y con el comportamiento vehicular se estableció la zona de influencia que se muestra en la figura 5, la cual está delimitada por los siguientes corredores viales:

- **Al Norte** por la Avenida La Rosita desde la Carrera 25 hasta la Carrera 24, la Carrera 24 desde la Avenida La Rosita hasta la Calle 39 y la Calle 39 desde la Carrera 24 hasta la Carrera 21.
- **Al Oeste** por la Carrera 21 desde la Calle 39 hasta la Avenida La Rosita.
- **Al Sur** por la Avenida La Rosita desde la Carrera 21 hasta la Carrera 22, la Carrera 22 desde la Avenida la Rosita hasta la Calle 46 B, la Calle 46 B desde la Carrera 22 hasta la Carrera 23 la Carrera 23 desde la calle 46 B hasta la Calle 47 y la Calle 47 desde la Carrera 23 hasta la Avenida González Valencia.
- **Al Este** por la Carrera 25 desde la Avenida González Valencia hasta la Avenida La Rosita.

Figura 5.

Zona de influencia del proyecto.



La intersección vial que fue objeto de análisis en esta investigación se encuentra ubicada exactamente en la Calle 45 con Avenida La Rosita en la cual convergen un total de 7 ejes viales, 3 que son de una sola calzada: Calle 41, Calle 48 y Calle 45; y los demás ejes que son de doble calzada: Avenida La Rosita, Avenida Gonzales Valencia y Calle 45.

Según la clasificación y jerarquización vial establecida en el Plan de Ordenamiento territorial de la ciudad de Bucaramanga 2014-2027, la Avenida La Rosita y la Avenida González Valencia son vías arteriales terciarias, la Calle 45 es una vía arterial secundaria y las Calles 41 y 48 pertenecen a la red local de nivel 1. El uso del suelo en la zona de influencia planteada es en mayor porcentaje de tipo comercial nivel 2, 55.6% aproximadamente, que corresponde a los establecimientos destinados al almacenamiento y a la venta al por mayor de víveres. Además, existe uso de tipo residencial nivel 2, 39.2% aproximadamente, que es destinado a viviendas tradicionales y se complementa con comercio local, y en un muy pequeño porcentaje de tipo dotacional nivel 1, 5.2% aproximadamente, que son los establecimientos que se dedican a la

reparación de vehículos automotores, como servicios de latonería, pintura, montaje de llantas y todo lo que esté relacionado con cambio de accesorios, incluyendo reparación de motocicletas.

Esta intersección es importante en la red vial de la ciudad debido a la cantidad de flujo de vehículos que circulan diariamente por ella, ya que es el principal corredor de comunicación entre las zonas residenciales de la ciudad, Este y Sur, y las zonas comerciales del Centro y Cabecera. Este sitio es comúnmente llamado “Siete Bocas” y fue priorizado y clasificado en el Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga 2010-2030 para intervenir con infraestructura tipo intercambiador.

3.2 Caracterización de la zona de estudio

El propósito de realizar la caracterización de la zona de estudio es conocerla lo mejor posible, conocer los puntos que de mayor conflicto, el comportamiento de los flujos vehiculares en la zona, el estado del sistema de señalización, para así obtener resultados más cercanos a la realidad.

3.2.1 Estado del pavimento

Actualmente el estado del pavimento de las vías en el área es bueno ya que no poseen daños o agrietamientos considerables, como se muestra la Figura 6.

Figura 6.

Registro del estado del pavimento.



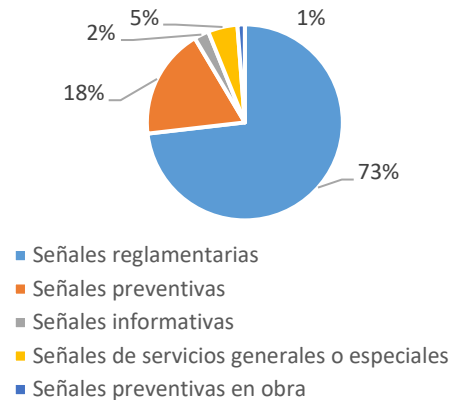
3.2.2 Inventario de señalización:

Se realizó un inventario de la señalización, tanto vertical como horizontal con el fin de conocer el estado actual de las señales de tránsito en la zona.

Existe un total de 82 señales verticales clasificadas de la siguiente forma:

Figura 7.

Clasificación de las señales verticales en la zona de estudio.



El estado de la señalización vertical en general es bueno, la totalidad de las señales son completamente visibles, el 94% de estas se encuentran en buen estado y el 6% restante están deterioradas debido a los efectos del clima. Además, el 13% de todas las señales presentan algún tipo de alteración como grafitis o stickers.

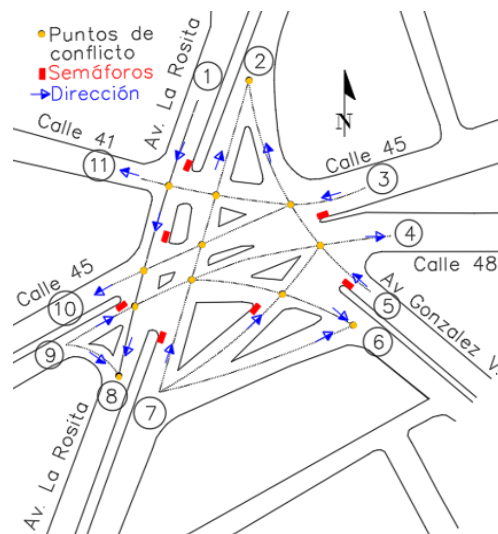
En contraste, la señalización horizontal se encuentra en mal estado. Las líneas entre carriles y las líneas de borde de pavimento solo son visibles en las vías principales como la Avenida La Rosita, la calle 45, la Avenida González Valencia y la calle 48, en las vías restantes su visibilidad es muy regular. El resto de la señalización horizontal: las líneas transversales, las demarcaciones para cruces y paraderos, los símbolos y las leyendas en la zona se encuentran en un 77% en buen estado y visibles, el 33% restante están en estado regular o pésimo debido al efecto del tiempo y a la falta de mantenimiento.

3.2.3 Puntos de conflicto

Dentro de la intersección existe un total de 12 puntos de conflicto. Dichos puntos corresponden a puntos en donde coinciden dos o más trayectorias de los flujos vehiculares y por lo tanto hay alguna posibilidad de siniestro, estos puntos se muestran en la Figura 8.

Figura 8.

Puntos de conflicto, dirección de los flujos vehiculares y semaforización de la intersección.



3.2.4 Maniobras permitidas

Dentro de la intersección hay 17 maniobras permitidas y estas constituyen una de las principales razones por la cual este estudio se centró en dicha intersección, las cuales se muestran en la tabla 1 basadas en la Figura 8.

Tabla 1.*Maniobras permitidas en la intersección.*

Origen	Destino	Origen	Destino
1	8	5	8
1	10	5	11
1	11	7	2
3	2	7	4
3	8	7	6
3	10	9	4
3	11	9	6
5	2	9	8
5	4		

3.2.5 Accidentalidad

La accidentalidad en la ciudad es un aspecto relevante para tener en cuenta. Según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, para el año 2019 el número de personas fallecidas en accidentes de tránsito en la ciudad de Bucaramanga fue 61 personas, esta cifra se mantuvo prácticamente igual al año anterior, con una diferencia del 1.61%. Las causas principales que generan los siniestros mortales no se pueden identificar, ya que cerca del 80% de las que originan víctimas fatales no se encuentran reportadas y alrededor del 50% de las que provocan lesionados no están clasificadas. Debido a esto se hace muy difícil determinar cuáles son las causas principales de los accidentes de tránsito, sin embargo, algunas que se destacan son las malas condiciones de las vías, el irrespeto que se tiene a las señales de tránsito, el exceso de velocidad y conducir en estado de embriaguez (Vial, 2018). Además, según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial,

en esta zona de influencia de la intersección se ubican cuatro puntos con un nivel de accidentalidad considerable, con un total de 25 accidentes ocurridos durante el año 2019.

3.2.6 SemafORIZACIÓN

El comportamiento y los tiempos de los 7 semáforos que se encuentran instalados en la intersección, fueron suministrados por la central de SemafORIZACIÓN de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga. El equipo de control local de semáforos ubicado en este punto funciona con la central y tiene alimentados siete planes de señales para los diferentes días de la semana. Además, existen 6 intersecciones semaforizadas dentro de la zona de estudio adicionales a la intersección principal.

Se eligió el plan diario 3, el cual tiene un ciclo de 90 segundos, el tiempo de amarillo en el cambio de estado es de 3 segundos, el tiempo de Rojo-Amarillo, cuando hay cambio de estado es de 2 segundos. En la figura 9 y en la figura 10 se puede observar la ubicación el plan de control de los 19 grupos de semáforos ubicados en la zona de estudio, los siete primeros grupos son los semáforos que se encuentran instalados en la intersección principal y los 12 restantes se ubican en las otras 6 intersecciones semaforizadas.

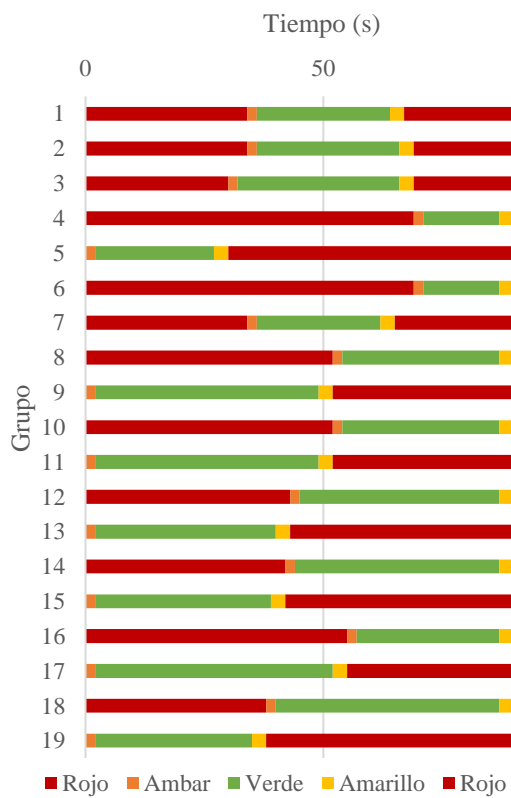
Figura 9.

Ubicación de los 19 grupos semafóricos



Figura 10.

Plan de control en la zona.



3.2.7 Geometría

Se analizó y organizó información referente a la geometría vial de la zona para tener claridad de datos como los anchos de calzadas, anchos y alturas de separadores y andenes, número y sentidos de los carriles. Esto se realizó para conocer todos los perfiles transversales de las vías que componen el área de influencia ya que fue un insumo fundamental para desarrollar el modelo de simulación lo más detallado posible.

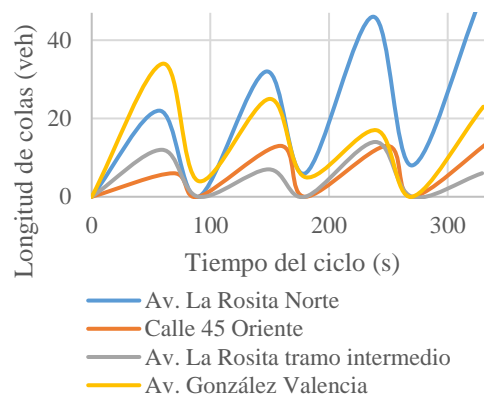
La mayor parte de las calles en la zona están compuestas por dos carriles por sentido, con excepción de la carrera 21, la calle 48 y una parte de la calle 45 las cuales tienen tres, además la Avenida La Rosita, la Avenida González Valencia y una parte de la calle 45 tienen doble calzada con dos carriles por sentido. El ancho promedio de los carriles es de 3.6 metros y el promedio de la altura de los separadores y andenes es de 10 centímetros, lo cual cumple con lo estipulado en el Manual de Diseño Geométrico de Vías del 2008 del INVIAS. A todo esto, se le agrega la presencia de la red de ciclo-infraestructura que se encuentra en la comuna Centro, más exactamente en la calle 41 y que se conecta con la Avenida La Rosita en la intersección de análisis, también se encuentra presente en la carrera 21.

Longitudes de Cola: Se midieron las longitudes de cola en algunas de las vías que hacen parte de la intersección principal, con el fin de comparar la magnitud y comportamiento de estas, en la figura 11 se observan las longitudes de cola en términos de vehículos que se forman a causa de la luz roja de los semáforos para 4 vías durante la hora pico. Estos datos se midieron con una duración de 3.5 ciclos semafóricos, un total de 315 segundos. Los picos altos representan la cantidad de vehículos que se encuentran esperando el cambio del semáforo en el momento en el que termina la luz roja y los valles inferiores representan los vehículos que quedan acumulados

cuando termina la luz verde del semáforo y no alcanzan a cruzar. Se observó que en la Avenida La Rosita y la Avenida González Valencia más de la mitad de las veces el descargue de las colas vehiculares no es completo y quedan vehículos represados esperando, y es en donde se forman las colas vehiculares mayores.

Figura 11.

Longitudes de cola.



3.2.8 Velocidades

El registro de la velocidad tanto de diseño de las vías como de operación real de los vehículos fue fundamental para la realización de esta investigación.

Según el Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga 2010-2030 (Porras & Otros, 2010), las velocidades de diseño para las vías que son arterias secundarias es de 50 Km/h, para las que son arterias terciarias de 40 Km/h y para las que son residenciales de 30 Km/h. La velocidad de operación real de los vehículos se midió en campo siguiendo un total de 3 circuitos previamente establecidos y así se pudo recorrer la mayor cantidad de tramos viales de la zona de estudio. Durante este proceso aplicando la metodología del vehículo flotante se tomó la hora de paso por

puntos de control, para luego en oficina midiendo las distancias entre puntos se calcularon las velocidades. Este proceso se realizó dos veces durante la hora pico y se calculó un promedio entre esos datos, estos datos se midieron con el fin de contar con la mayor cantidad de datos a la hora de validar y calibrar el modelo de microsimulación, estas velocidades se presentan en la Tabla.

Tabla 2.

Velocidades de circulación de los vehículos medidas en campo.

Tramo		Velocidad promedio (km/h)
Calle	Entre	
Av. La Rosita	Carrera 24-Calle45	15.3
Av. La Rosita	Calle 45-Carrera 25	26.5
Av. La Rosita	Calle 45-Carrera 21	11.9
Av. La Rosita	Carrera 21-Calle 45	14.8
Calle 45	Carrera 27-Av L. R.	26.8
Calle 45	Carrera 21-Av L. R.	9.1
Calle 45	Carrera 22-Av L. R.	14.8
Calle 45	Av. L. R.-Carrera 21	8.0
Calle 48	Calle 45-Carrera 27	7.1
Av. G. V.	Carrera 27-Calle45	14.7
Av. G. V.	Calle45-Carrera 27	12.2
Calle 41	Av. L. R.-Carrera 21	11.2
Carrera 21	Av. L. R.-Calle 45	10.7
Carrera 21	Calle 45-Calle 41	8.9
Carrera 21	Calle 41-Calle 39	11.1
Carrera 22	Calle 39-Calle 45	13.2
Carrera 24	Calle 39-Av L. R.	20.2

3.2.9 Registro fotográfico

El registro fotográfico se realizó para tener un mejor conocimiento de la intersección y de su estado.

Figura 12.

Registro fotográfico de la intersección.



3.3 Análisis de los aforos vehiculares

Para el desarrollo de esta investigación era necesario contar con los datos de flujos vehiculares para analizar el comportamiento de la intersección y los conflictos que se generaban en este punto.

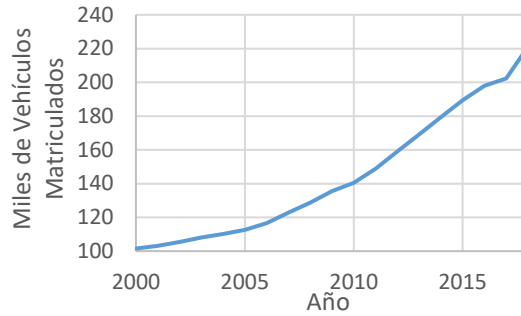
En este caso no fue posible realizar aforos vehiculares ya que en el momento del desarrollo de la investigación la situación por la emergencia sanitaria debido a la pandemia de la COVID-19 afectaba (y sigue afectando) evidentemente los flujos vehiculares en la zona, por lo cual se estimó una proyección en base a los datos del crecimiento del parque automotor en la ciudad publicados por la Dirección de Tránsito de Bucaramanga y datos tomados por el grupo de investigación Geomática en los años 2012 y 2016. También se usaron datos de aforos vehiculares hechos por la Alcaldía de Bucaramanga en el marco del proyecto de diseño de la planeación de los 20 km de corredores de ciclo-infraestructura para la ciudad de Bucaramanga en el año 2019.

La tasa de crecimiento anual utilizada fue de 4.436% que corresponde al promedio del crecimiento del parque automotor en la ciudad y tiene un coeficiente de correlación de 0.98.

En la figura 13 se muestra el crecimiento del parque automotor en base a los datos publicados en la página web de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga desde el año 2000 hasta el año 2018.

Figura 13.

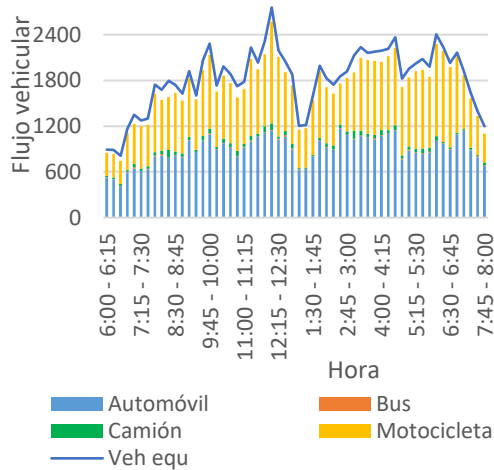
Crecimiento del parque automotor en la ciudad de Bucaramanga.



Teniendo la tasa de crecimiento se determinó la hora de máxima demanda del año 2016 con el fin de realizar la proyección para el año 2020.

Figura 14.

Comportamiento del flujo vehicular en el año 2016.



En la figura 14 se muestra el comportamiento del flujo vehicular dentro de la intersección en el año 2016 y en base a estos datos se determinó que la hora de máxima demanda era en el

horario de las 11:15 am a las 12:15pm. Para calcular los vehículos equivalentes se usaron los factores de equivalencia vehicular definidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS, los cuales son: 1 para motocicletas y vehículos livianos, 3 para buses y camiones.

Luego de determinar la hora de máxima demanda se realizó la proyección de los conteos del año 2016 para los años 2019 y 2020 con la ecuación (1) (González et al., n.d.).

$$Veh f = Veh p(1 + \%crec)^{\#años} \quad (1)$$

Veh f = Vehículos futuros o proyectados.

Veh p = Vehículos pasados o base.

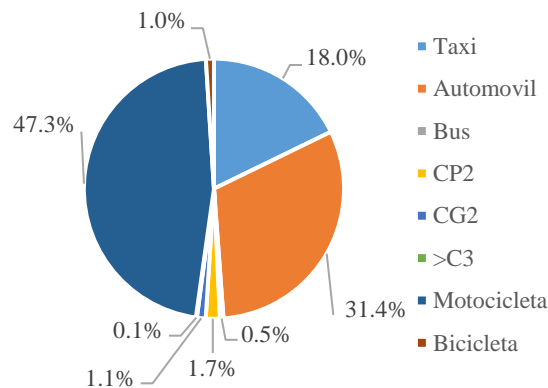
%crec = Taza de crecimiento vehicular.

#años = Número de años de la proyección.

Se hizo una comparación entre la proyección para el año 2019 y los conteos realizados en este mismo año, esta comparación fue útil a la hora de validar las proyecciones y el método usado para para calcularlas aun así se determinó que esta comparación no era muy confiable debido a que en el informe realizado por la Alcaldía de Bucaramanga presentaba los resultados de manera agregada y muy poco detallados.

Figura 15.

Composición vehicular en la intersección en la hora de Máxima demanda para el año 2020.



Del total de los 10390 vehículos que transitan por la intersección en la hora pico que resultaron de la proyección para el año 2020, se resalta que el 47.3% corresponde a motocicletas, el 49.4% a automóviles y taxis, el 3.4% a buses y camiones y el 1% a bicicletas.

3.4 Construcción y calibración del modelo de micro-simulación del escenario actual

El modelo de micro-simulación se realizó con el uso del software Aimsun, el cual es una herramienta de simulación de tráfico y tiene la capacidad de integrar tres tipos de modelos de transporte: una simulación microscópica, una mesoscópica y una macroscópica. Los pasos que se siguieron para realizar el modelo fueron los siguientes

3.4.1 Creación de la red

En este caso se importó la red desde la base cartográfica Open Street Maps y en base a una imagen aérea de la zona con la que contaba el Grupo de Investigación Geomática se ajustó la red de modelación.

3.4.2 Creación de secciones

En base a la geometría, las medidas y las características de las vías, se asignaron los datos respectivos a cada una de estas, desde las arterias secundarias hasta los corredores de ciclo infraestructura. Se crearon las isletas, los separadores, se generaron las intersecciones con las maniobras correspondientes. Así mismo, se definieron las intersecciones que tenían una señal de

pare, ceda el paso o semáforos, también se situaron los pasos peatonales que existen en la zona. El resultado de la creación de la red y las secciones se puede observar en la figura 16.

Figura 16.

Modelo base con Aimsun.



Teniendo en cuenta los tiempos semafóricos de la intersección se definió el plan de control a cada grupo de semáforos en la zona y con esto se determinó el plan de control maestro.

3.4.3 Asignación del tráfico

En primer lugar, se crearon 7 centroides, los cuales se pueden observar en la figura 14, estos funcionan como puntos generadores y atractores de flujos vehiculares teniendo en cuenta las principales zonas de la ciudad que se conectan con las vías de la zona. Luego de esto y en base a las proyecciones vehiculares y los centroides, se crearon las matrices Origen-Destino para los 6 modos de transporte definidos: Automóvil, taxi, bus, camión, motocicleta y bicicleta.

El método usado en la distribución vehicular dentro del modelo de microsimulación fue el método estocástico, en el cual las entradas al modelo y/o las relaciones entre sus múltiples componentes pueden tener una parte aleatoria definidas por las reglas de probabilidad y le permite al modelo definir las rutas más cortas, rápidas y económicas para los vehículos, asemejándose más a la realidad (Gómez, 2009). Dentro del experimento de microsimulación se crearon cinco replicaciones, debido a que es este es el número mínimo para considerar que los resultados de un modelo de microsimulación sean validos (Zhi, Long, & Horng, 2005). También se creó una media de las replicaciones para poder agruparlas y obtener un resultado promedio estas, ya cada una de ellas arroja diferentes resultados, esto para que el modelo se asemeje a una situación real, donde por ejemplo en dos días con las mismas condiciones de tráfico se puede tener un comportamiento diferente (Transmilenio S. A., 2013).

3.4.4 Calibración y validación del modelo

El propósito de la calibración de un modelo de simulación en transporte es encontrar el valor de los parámetros que sean relevantes, con la finalidad de representar la realidad lo mejor posible, disminuyendo la diferencia que puede haber entre los valores medidos y los simulados (Zavala, 2008). Dentro del proceso de calibración se analizan aspectos del modelo tales como la geometría de los tramos viales, el comportamiento de los conductores, las longitudes de cola, las dimensiones de los vehículos, la cooperación y agresividad de los conductores para realizar el cambio de carril y los mecanismos de regulación de tráfico como la señalización y los semáforos.

Para la comparación de los resultados del modelo con los resultados medidos y calculados se usó el indicador GEH, llamado así en honor a Geoffrey E. Havers, quien fue el hombre que la

determinó en los años 1970s. Este indicador tiene la ventaja de tomar en consideración el error relativo y no depende de los valores nulos que pueden aparecer dentro del proceso, como por ejemplos celdas bacias en una matriz O-D (Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, 2006). Se determina con la siguiente ecuación:

$$GEH = \sqrt{\frac{(O_i - E_i)^2}{0.5 * (O_i + E_i)}} \quad (2)$$

O_i = valores observados de una variable.

E_i = valores modelados o estimados de la misma variable.

Generalmente un modelo de simulación de tráfico esta calibrado correctamente si (Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, 2006):

- Al menos el 60% de los arcos tienen un GEH inferior a 5.0.
- El 95% de los arcos tienen un GEH inferior a 10.0.
- Todos los arcos tienen un GEH inferior a 12.0

Para el proceso de validación del modelo se usaron detectores, los detectores son una herramienta que ofrece el software Aimsun para medir velocidades, ocupación, densidades y aforos vehiculares, entre otras. Se usaron 17 detectores para medir velocidades y 13 para medir aforos, en donde se habían medido las velocidades de circulación y en donde se tenían datos de aforos respectivamente.

Luego de ejecutar las cinco replicaciones en el software, calcular la media de estas y tener los datos con los detectores se compararon con los datos medidos y proyectados, calculando el indicador estadístico GEH para cada uno de los 6 modos de transporte analizados.

Tabla 3.

Indicador estadístico GEH para la validación por aforos para cada modo de transporte del modelo de microsimulación.

Modo de transporte	GEH<12	GEH<10	GEH<5	¿Cumple?
Bicicletas	100%	100%	91%	SI
Buses	100%	100%	100%	SI
Camiones	100%	100%	100%	SI
Coches	100%	100%	73%	SI
Taxis	100%	100%	64%	SI
Motos	100%	100%	73%	SI

En la tabla 3 se observa que los porcentajes del indicador GEH para la validación de los aforos vehiculares cumple para cada uno de los modos de transporte y por ende se determina que el modelo de microsimulación esta validado en términos de aforos vehiculares.

Tabla 4.

Indicador estadístico GEH para la validación por velocidades de circulación del modelo de microsimulación.

Velocidad	Porcentaje
GEH<12	100%
GEH<10	100%
GEH<5	71%
¿Cumple?	SI

En la tabla 4 se observa que los porcentajes del indicador GEH para la validación de las velocidades de circulación cumplen con los porcentajes requeridos para que un modelo de microsimulación este validado.

3.4.5 Resultados del escenario base:

Luego de modelar, calibrar y validar el modelo del escenario base en el software Aimsun, se tomaron como resultados principales de comparación los Niveles de Servicio (NDS) y el porcentaje de vehículos en cola para analizar el funcionamiento e identificar los principales problemas operacionales que presenta la intersección y que son percibidos en la realidad pero que en el modelo de microsimulación pueden ser analizados en más detalle.

Los NDS son definidos en base al tiempo de demora de los vehículos según el HCM 2010 como se explica en la Tabla 5.

Tabla 5.

Descripción y clasificación de los Niveles de Servicio para intersecciones semaforizadas en base al tiempo de demora según el HCM 2010 (Yadira, 2007)

NDS	Características de operación	Tiempo demora (s)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no se detienen	≤ 10
B	Ocorre con una buena sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse	10-20

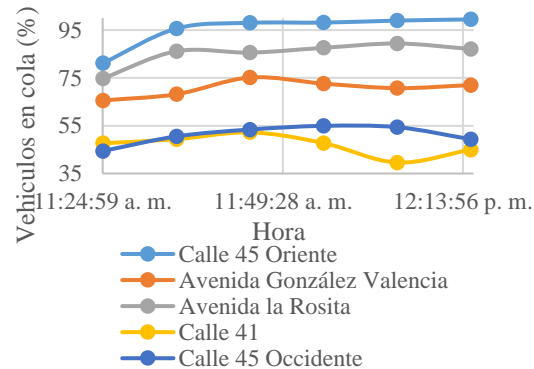
NDS	Características de operación	Tiempo demora (s)
C	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar	20-35
D	Empieza a notarse la influencia de congestionamientos ocasionados por ciclos largos y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen	35-55
E	Es el límite aceptable de la demora: indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes	55-80
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores de 1 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiado largos	>80

En la Figura 18 se observan los NDS que resultan de la simulación de la situación actual en la zona de estudio, los cuales para algunas de las vías que convergen en la intersección como lo son la Calle 45, la Av. La Rosita, y la Calle 41, llegan a ser F, C, D y E respectivamente, además que el NDS promedio de la intersección es D. Este análisis permite afirmar que la intersección no

tiene un funcionamiento adecuado para la hora pico modelada y es necesario una intervención para mejorar su desempeño operativo.

Figura 17.

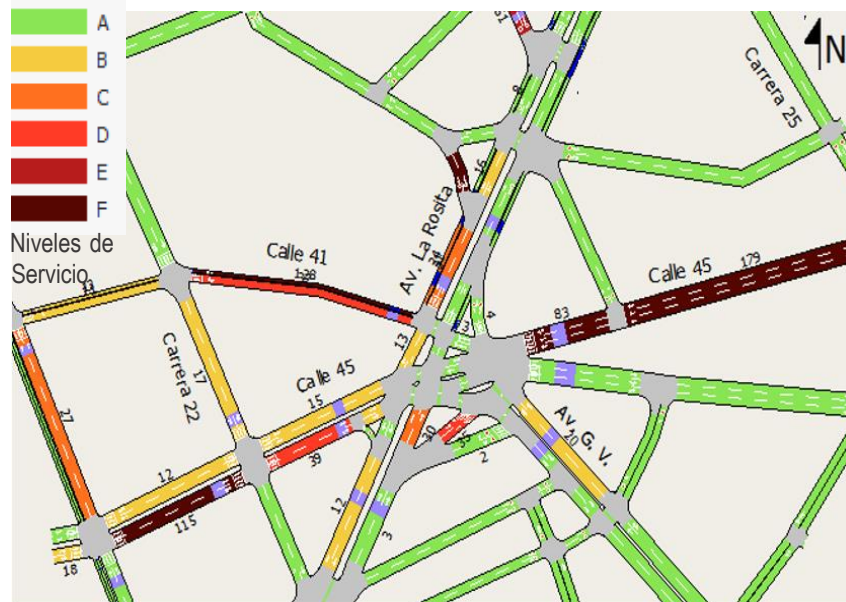
Porcentaje de vehículos en cola escenario base.



En la figura 17 se observa el porcentaje de vehículos en cola dentro de los tramos viales más críticos que conforman la intersección principal. Los tramos con mayor problemática en el descargue vehicular son la Calle 45 Oriente y la Avenida La Rosita que aproximadamente a la 11:35 a.m. llega al 98% y 90% de su ocupación respectivamente, otras vías como la Avenida González Valencia, la Calle 45 Occidente y la Calle 41 llegan a un nivel de ocupación del 75%, 55% y 52% a las 11:45 a.m. Estas vías coinciden con los tramos más críticos en términos de colas vehiculares medidos en campo en la sección 3.2.8.

Figura 18.

Niveles de Servicio escenario base.



3.5 Alternativas de solución planteadas

Luego de analizar el comportamiento del escenario actual en la intersección e identificar las problemáticas en el funcionamiento de esta, se plantearon tres alternativas para mitigar los problemas que se presentan en este punto.

3.5.1 Alternativa 1ª

Esta alternativa se muestra en la figura 19 y plantea eliminar el grupo de semáforos número 7, debido a que se encuentra a una distancia aproximada de 27 metros del grupo de semáforos número 1, lo cual genera que en este tramo se produzca congestión por acumulación de los vehículos que vienen por la Avenida La Rosita, los que vienen de la Calle 45 y la Avenida

González Valencia y que desean girar en este punto para incorporarse a la Avenida La Rosita en el sentido Norte-Sur. Dicha problemática hace que se obstruya el camino para los vehículos que suben por la Avenida La Rosita y los que desean seguir por la Calle 41.

Al suprimir este grupo de semáforos también se debe prohibir el giro en este punto para los vehículos que vienen de la Calle 45 y la Avenida González Valencia, los cuales representan aproximadamente el 4% de los vehículos que transitan por esta intersección durante la hora pico. Además de esto se replantearon los tiempos semafóricos con ayuda de una herramienta Traffic Management del software Aimsun la cual permite optimizar los planes de control semafóricos, se le quitaron 9 segundos de verde al grupo semafórico 1 para dárselos al grupo semafórico 6, el ciclo sigue siendo de 90 segundos. Para dar solución a los movimientos directos que ya no se podrán hacer debido a los cambios propuestos especialmente para los vehículos que vienen de dichas vías y que deseen incorporarse a la Avenida La Rosita en el sentido Norte-Sur se identifican rutas alternas. Las rutas alternas corresponderían a tomar anticipadamente la Carrera 25, girar en la carrera 23 y llegar hasta la Avenida La Rosita o seguir por la Carrera 25 hasta encontrarse con la Avenida La Rosita e incorporarse en ella.

Figura 19.*Alternativa 1A.*

En la figura 20 se muestran los NDS de los tramos viales en la zona que resultaron de simulación de la Alternativa 1A. Se observa que con este sencillo cambio y sin necesidad de afectar la infraestructura de la zona se pueden tener buenos resultados, obteniendo que el NDS más crítico es C, el cual en el escenario base era F y que el NDS promedio de la intersección pasó de D a B.

Figura 20.

Niveles de Servicio Alternativa 1A.

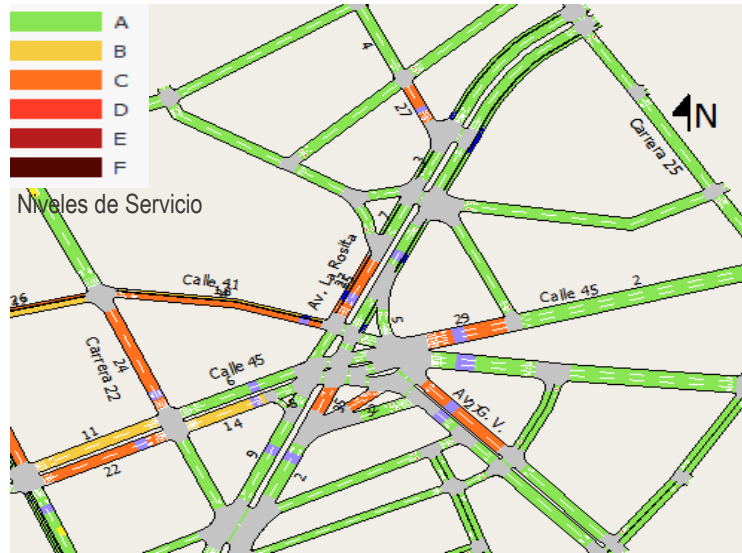
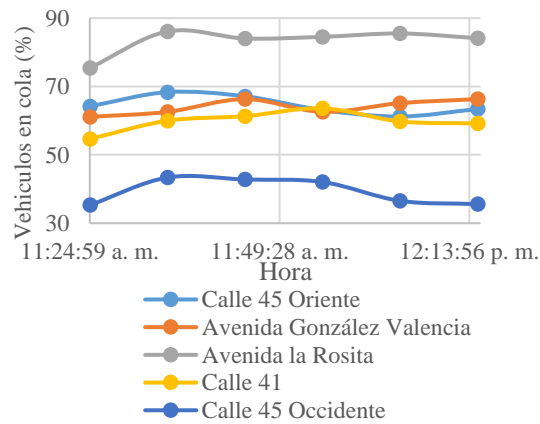


Figura 21.

Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 1A.



En la figura 21, se observa que aquellas vías que en el escenario base eran las más críticas como la Calle 45 Oriente y la Avenida La Rosita el porcentaje de vehículos en cola disminuye en promedio 32% y 8% respectivamente. Para otros tramos que no eran críticos como la Avenida

González Valencia y la Calle 45 Occidente presentan una disminución del 9% y 23% respectivamente. En el caso de la Calle 41 donde la ocupación de vehículos en cola era relativamente bajo ocurrió lo contrario, aumentó un 28% sin llegar a ser crítica o a valores extremos. Por lo cual se puede decir que la intersección tiene un buen funcionamiento en términos de descargue de colas vehiculares.

También se realizó una comparación de los NDS de los principales tramos viales de la intersección con la alternativa implementada en la actualidad y con proyecciones vehiculares a 5, 10 y 20 años, con el propósito de saber hasta qué año la alternativa tendría un comportamiento operativo aceptable, las proyecciones se hicieron con la misma tasa de crecimiento anual calculada en el numeral 3.3.

Tabla 6.

Niveles de Servicio para la Alternativa 1A proyectada a 5, 10 y 20 años.

Tramo vial	Nivel de Servicio			
	Actual	5 años	10 años	20 años
Av. La Rosita Norte	C	C	D	E
Calle 45 Oriental	C	C	D	F
Calle 48	A	A	B	B
Av. González V.	C	C	D	E
Av. La Rosita Sur	A	A	B	C
Calle 45 Occidental	B	B	C	D
Calle 41	C	D	D	E
Carrera 25	A	A	A	B
Intersección	B	B	C	D

Los resultados de la tabla 6 muestran que la implementación de la Alternativa 1A en la intersección funciona con NDS aceptables durante 5 años. Al pasar 10 años la intersección ya empieza a tener NDS C, después de 20 años la intersección tiene un comportamiento pésimo con NDS que llegan a ser D. Por lo anterior se determina que esta alternativa tiene un buen funcionamiento operativo solo durante un periodo de 5 años.

3.5.2 Alternativa 1B

Esta alternativa es una variante de la alternativa 1A. Se propone eliminar cuatro giros mediante el uso de barreras que no permitan el cruce. Los giros que se plantean restringir son los vehículos que vienen de la Calle 45 y la Avenida González Valencia y que se dirigen a la Calle 41 o que desean incorporarse a la Avenida La Rosita en el sentido Norte-Sur, los cuales representan el 12.5% del total de los vehículos que transitan por esta intersección durante la hora pico, además de eliminar el grupo semafórico 1. Esta alternativa no necesitó de un ajuste a los tiempos semafóricos. Para mitigar el impacto que puede generar esta medida, se revisaron rutas alternas que se plantearon para los vehículos que vienen de dichas vías y corresponde a las mismas rutas planteadas en la alternativa 1, es decir tomar anticipadamente la Carrera 25, girar en la carrera 23 y llegar hasta la Avenida La Rosita o seguir por la Carrera 25 hasta encontrarse con la Avenida La Rosita e incorporarse en ella y los vehículos que deseen girar por la Calle 41. Esta alternativa se presenta en mayor detalle en la Figura 22.

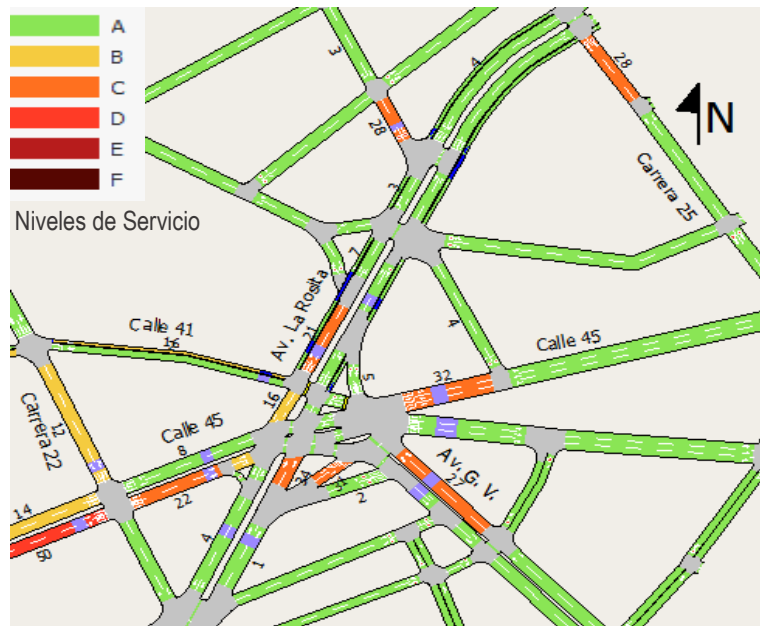
Figura 22.

Alternativa 1B.



Figura 23.

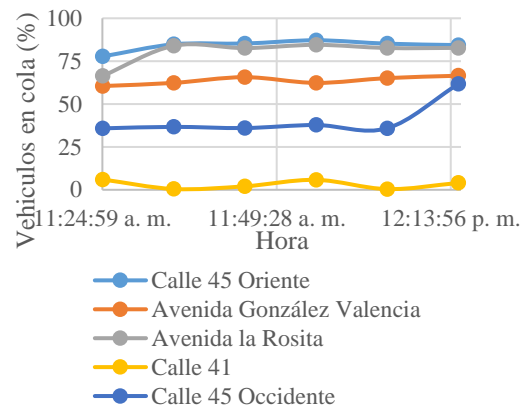
Niveles de Servicio Alternativa 1B.



En la figura 23 se muestran los NDS de los tramos viales para la Alternativa 1B. Se observa que los resultados de NDS son similares a los que arrojó la simulación de la Alternativa 1A, excepto en tramos viales como la Carrera 25, donde los flujos vehiculares aumentaron debido a que esta fue elegida una ruta alterna, y la Calle 45 sentido O-E las cuales pasan de un NDS de A a C y de B a C, respectivamente. Sin embargo, los NDS si mejoran respecto a los del escenario base donde el más crítico obtenido fue F para el tramo de la Calle 45 Oriente y con la implementación de esta alternativa pasa a ser C. Además, el NDS promedio de la intersección pasó de D a B.

Figura 24.

Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 1B



En términos del porcentaje de vehículos en cola para la Alternativa 1B, en la figura 24, se observa que la Calle 45 Oriente y la Avenida La Rosita, que eran las vías más críticas en el escenario base, presentan una disminución del 11.5% y 5.5% respectivamente, y otras como lo son la Calle 45 Occidente y la Avenida González Valencia también tienen una disminución del 19.9% y 9.8%. Por otro lado, la Calle 41 muestra una disminución de 93.4% en la ocupación por colas

vehiculares, lo cual representa un descenso muy considerable. Esto representa una mejora respecto al escenario base, sin embargo, la Alternativa 1A sigue teniendo mejores resultados respecto a la ocupación por colas vehiculares.

De igual manera como se hizo con la Alternativa 1A, se realizó una comparación de los NDS de los principales tramos viales de la intersección con la alternativa implementada en la actualidad y con proyecciones vehiculares a 5, 10 y 20 años.

Tabla 7.

Niveles de Servicio para la Alternativa 1B proyectada a 5, 10 y 20 años.

Tramo vial	Nivel de Servicio			
	Actual	5 años	10 años	20 años
Av. La Rosita Norte	C	D	E	F
Calle 45 Oriental	C	C	D	D
Calle 48	A	A	B	B
Av. González V.	C	C	D	E
Av. La Rosita Sur	A	B	B	D
Calle 45 Occidental	C	C	E	E
Calle 41	A	A	B	B
Carrera 25	B	D	E	F
Intersección	B	C	D	E

En la tabla 7 se observa que la implementación de la Alternativa 1B empieza a presentar NDS regulares transcurridos los 5 primeros años llegando a NDS de D, a los 10 primeros años de su implementación se llegan a NDS críticos D y E en casi la mitad de las principales vías de la intersección. Por último, al pasar 20 años los NDS en la intersección son pésimos ya que llegan a

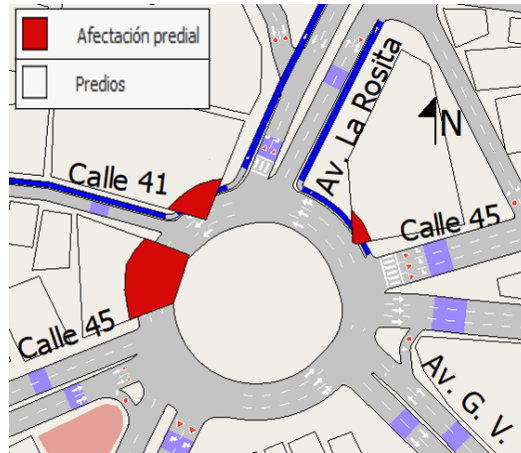
ser de D, E y hasta F. Por lo tanto, se determina que la alternativa tiene un buen comportamiento operacional hasta los 5 primeros años.

3.5.3 Alternativa 2

Esta alternativa consiste en la implementación de una glorieta convencional que facilita el flujo vehicular y reduce el riesgo de accidentes en la intersección, este sistema está regulado solamente por señales de pare. Todas las dimensiones de la glorieta cumplen con los criterios de diseño de glorietas del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS, el diámetro de la isleta central elegido fue de 45 metros superando al mínimo de 25 metros según el manual, tiene tres carriles de 3.5 metros cada uno lo cual hace que el ancho de entrecruzamiento sea de 10.5 metros y no supera al máximo definido en el manual 15 metros, la relación entre el ancho y la longitud mayor da 0.38 y la menor 0.27, que están entre los rangos definidos en el manual (0.25-0.4). Se eligieron estas dimensiones con el fin de reducir la afectación predial al mínimo, la cual es aproximadamente 433 metros cuadrados para un total de tres predios afectados, ver figura 25, sin desmejorar la operación de la glorieta. Esta alternativa aumenta el número de maniobras permitidas a los conductores de 17 a 30, además reduce los puntos de conflicto de 12 a 9.

Figura 25.

Afectación predial de la Alternativa 2.



En la figura 26 se observan los NDS que resultan de la simulación de la Alternativa 2, se puede ver que los NDS tienen una mejora considerable a comparación de los que resultaron de la simulación del escenario base, algunas de las vías con funcionamiento más crítico, como la Calle 45 y la Calle 41 pasaron de tener NDS F y D respectivamente, a tener NDS B, además, el desempeño operativo promedio de la glorieta es bueno con un NDS A.

Figura 26.

Niveles de Servicio Alternativa 2.

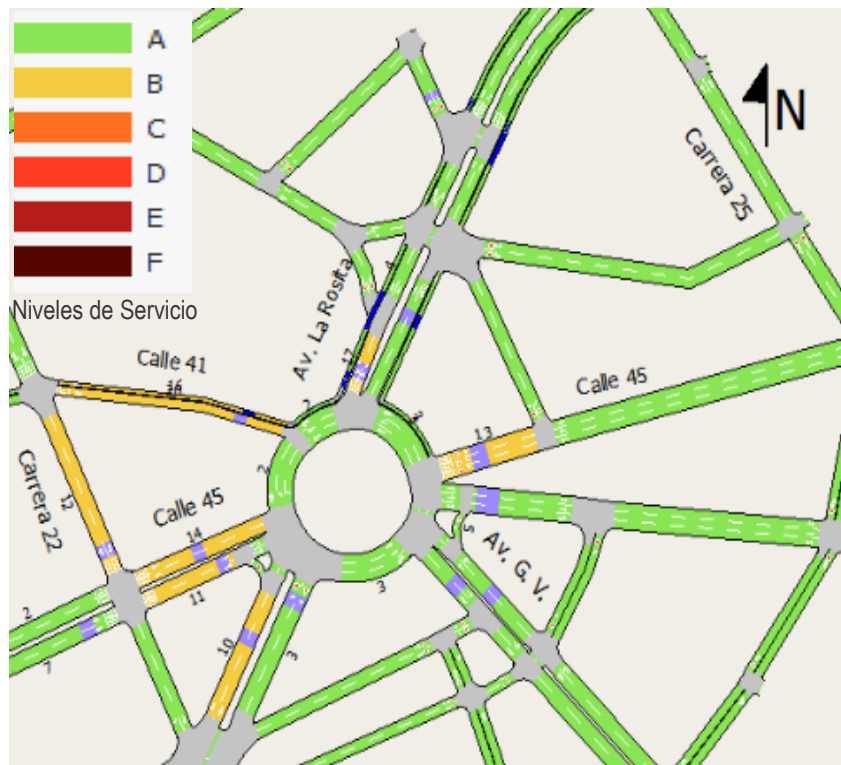
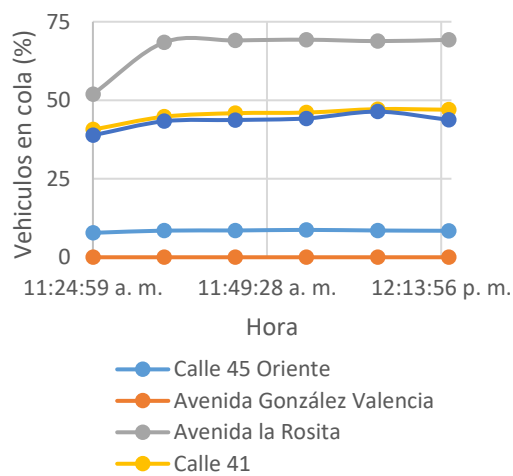


Figura 27.

Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 2.



Los porcentajes de vehículos en cola para la Alternativa 2 se muestran en la figura 27 y se observa que algunas vías como la Avenida La Rosita, la Calle 45 Occidental y la Calle 41 siguen siendo las vías de mayor ocupación de colas vehiculares, sin embargo, no llegan a tener valores muy críticos. Estas vías presentan una reducción del 22.5%, 15% y 3% respectivamente, otras vías como la Calle 45 Oriental o la Avenida González Valencia tienen una reducción casi total en la ocupación por colas vehiculares, siendo del 91% y 100% respectivamente.

Para esta alternativa también se realizó una comparación de los NDS de los principales tramos viales de la intersección con la alternativa implementada en la actualidad y con proyecciones vehiculares a 5, 10 y 20 años.

En la tabla 8 se observa que la implementación de la Alternativa 2 funciona con NDS adecuados durante los 10 primeros años. Para algunas vías, como la Calle 45, la Avenida La Rosita, la Avenida González Valencia y la Calle 41, el NDS llega a ser de C, al transcurrir 20 años los NDS desmejoran sin llegar a ser E o F, el tramo vial con el peor NDS es la Calle 45 Oriental que llega a ser de D, sin embargo, las demás vías siguen siendo aceptables. En base a esto se puede definir que la construcción de una glorieta puede ser una buena opción a largo plazo en términos de su desempeño operacional, teniendo un buen comportamiento operacional durante los 20 primeros años y dado que representa una inversión en infraestructura que puede resultar no tan costosa. Cabe aclarar que, aunque operacionalmente tiene buenos resultados para los vehículos, esta alternativa implicaría realizar un análisis de seguridad para los peatones y bici usuarios.

Tabla 8.

Niveles de Servicio para la Alternativa 2 proyectada a 5, 10 y 20 años.

Tramo vial	Nivel de Servicio			
	Actual	5 años	10 años	20 años
Av. La Rosita Norte	B	B	B	C
Calle 45 Oriental	A	B	C	C
Calle 48	A	A	A	A
Av. González V.	A	A	A	C
Av. La Rosita Sur	A	A	A	B
Calle 45 Occidental	B	B	C	C
Calle 41	B	B	B	C
Carrera 25	A	A	A	B
Intersección	A	A	B	C

3.5.4 Alternativa 3

En el Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga 2011-2030 definió que esta intersección debería ser intervenida con una solución del tipo intercambiador, por lo cual en esta alternativa se propone implementar una intersección con diferentes niveles, ver la figura 30. La Alternativa 3 conserva la glorieta propuesta en la Alternativa 2 y además adiciona dos pasos en diferentes niveles permitiendo una conexión más directa para los giros que tienen los flujos vehiculares más críticos.

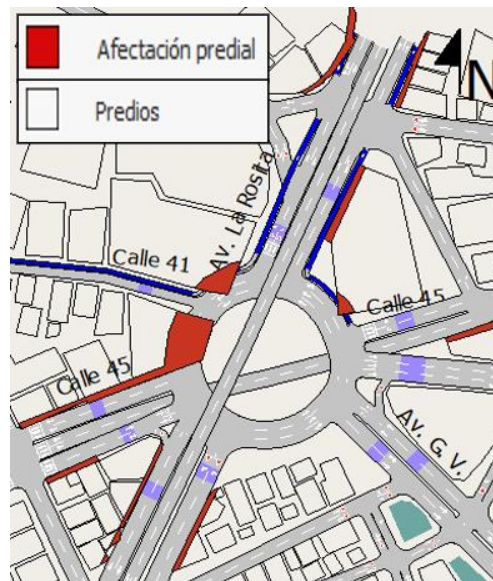
Una primera conexión corresponde a un puente que conecta la Avenida La Rosita en el sentido Norte-Sur el cual tendría una longitud aproximada de 230 metros. La segunda conexión corresponde a un paso deprimido para la Calle 45 en el sentido Oriente-Occidente con una longitud de 175 metros aproximadamente, los dos pasos a desnivel tienen una calzada de 2 carriles de 3.5 metros cada uno. Es notable que la afectación predial de esta alternativa es cuantiosa ya que llega

a ser de aproximadamente 2768 metros cuadrados afectando a un total de 26 predios, ver figura 28, lo que hace que el costo de su construcción sea muy alto. Esta alternativa aumenta el número de maniobras permitidas a los conductores de 17 a 32, además de reducir los puntos de conflicto de 12 a 9 y por lo tanto mejorar la seguridad de tránsito por este punto.

En la figura 30 se observan los NDS que resultan de la simulación de la Alternativa 3, se puede ver que los NDS tienen una mejora considerable a comparación de los que resultaron de la simulación del escenario base, los tramos viales con el comportamiento más crítico, como la Calle 45 y la Calle 41 pasaron de tener NDS F y D respectivamente, a ser de A y B, y el desempeño operativo promedio del intercambiador es bueno con un NDS de A.

Figura 28.

Afectación predial de la Alternativa 3.



Los porcentajes de vehículos en cola para la Alternativa 3 se muestran en la figura 29 y se observa que la ocupación por colas vehiculares para la mayoría de las vías principales, como los

son la Avenida La Rosita, la Calle 45 Occidental, la Calle 45 Oriental y la Avenida González Valencia, presentan disminuciones considerables siendo estas del 85%, 80%, 96% y 100% respectivamente. La Calle 41 sigue siendo la vía de mayor ocupación de colas vehiculares, sin embargo, no llegan a tener valores muy críticos, presentando una reducción del 18.5%. Por otro lado, los pasos a desnivel no tienen un comportamiento malo, teniendo en cuenta que estos tramos viales presentan los mayores flujos vehiculares, el puente de la Avenida La Rosita presenta un porcentaje máximo de ocupación por colas vehiculares de 28.5% y el deprimido de la Calle 45 de 37%, estas colas vehiculares se producen debido a que estos tramos terminan en intersecciones semaforizadas.

Figura 29.

Porcentaje de vehículos en cola Alternativa 3.

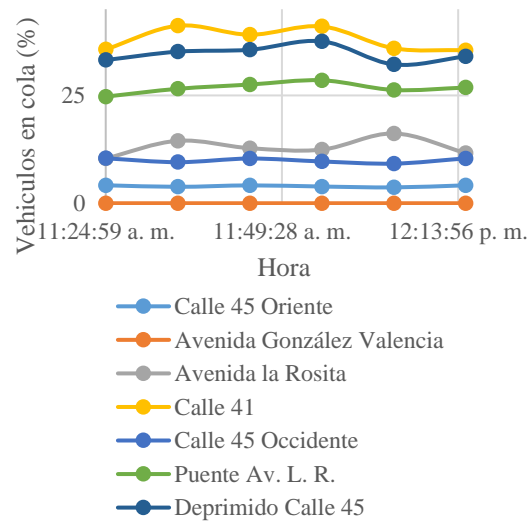


Figura 30.

Niveles de Servicio Alternativa 3.

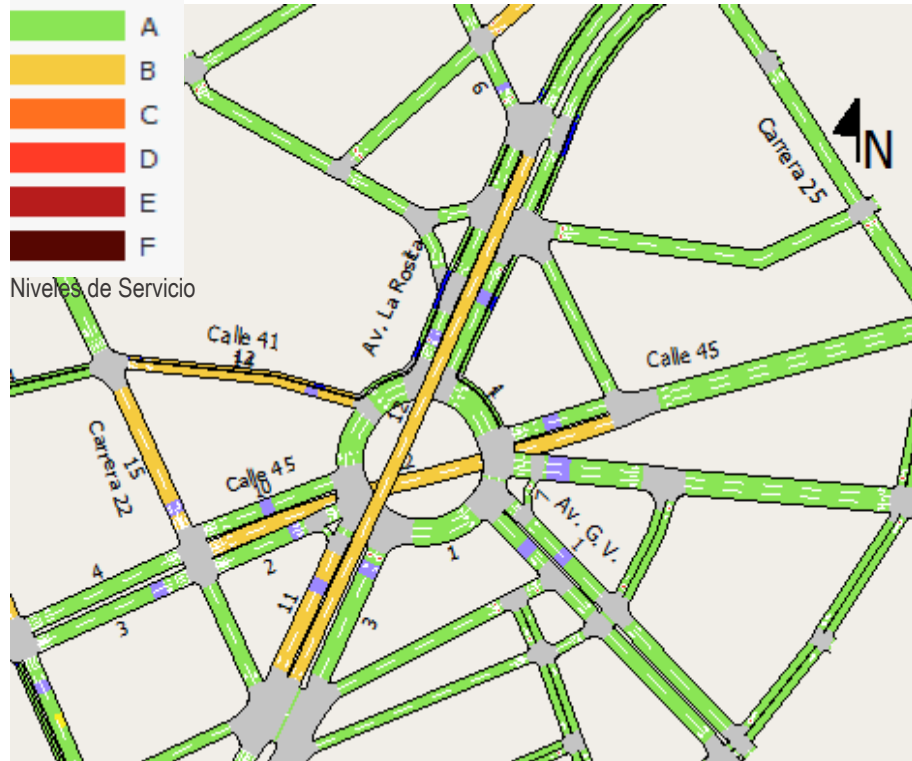


Tabla 9.

Niveles de Servicio para la Alternativa 3 proyectada a 5, 10 y 20 años.

Tramo vial	Nivel de Servicio			
	Actual	5 años	10 años	20 años
Av. La Rosita Norte	A	A	A	B
Puente Av. L. R.	B	B	B	B
Calle 45 Oriental	A	A	A	B
Deprimido Calle 45	B	B	B	C
Calle 48	A	A	A	A
Av. González V.	A	B	B	C
Av. La Rosita Sur	A	A	B	B
Calle 45 Occidental	A	A	A	B

Tramo vial	Nivel de Servicio			
	Actual	5 años	10 años	20 años
Calle 41	A	B	B	C
Intersección	A	A	B	C

Para esta alternativa también se realizó una comparación de los NDS de los principales tramos viales de la intersección con la alternativa implementada en la actualidad y con proyecciones vehiculares a 5, 10 y 20 años.

En la Tabla 9 se observa que la implementación de la Alternativa 3 funciona con NDS aceptables los 20 primeros años, algunos tramos viales empieza a desmejorar como es el caso del deprimido de la Calle 45, la Avenida González Valencia y la Calle 41 los cuales llegan a C, sin embargo, los NDS de la mayor parte de las vías siguen siendo aceptables. En base a esto se puede decir que la construcción del intercambiador puede ser una buena opción a largo plazo teniendo un buen desempeño operativo por más de 20 años. Aunque operacionalmente tiene buenos resultados para los vehículos como la alternativa 2, en esta alternativa también sería necesario realizar un análisis de seguridad para los peatones y bici usuarios.

3.6 Análisis y comparación de las alternativas

Con el fin de definir que alternativa o alternativas pueden ser viables para el mejoramiento de la movilidad vehicular en la intersección en estudio se realizó una comparación entre el escenario base y las alternativas planteadas que se puede ver la tabla 10, para ello se analizaron los siguientes parámetros:

- El desempeño operativo, que se mide con el mejor, el peor y el NDS promedio de cada caso.
- Cuantos años se tendrá un desempeño operativo aceptable para cada alternativa.
- La efectividad en permitirle a los conductores llegar a su destino, que se define con el número de giros permitidos en cada alternativa.
- La seguridad del tránsito vehicular determinado por el número de puntos de conflicto.
- La afectación predial en metros cuadrados que produce la implementación de cada alternativa.
- El costo que tendría la implementación de cada alternativa, el cual se determinó de manera cualitativa.

Como se logra evidenciar en la tala 10 todas las alternativas presentan buenos resultados con la demanda vehicular actual, claramente las alternativas que plantean una intervención a la infraestructura, como son la 2 y la 3, presentan mejores resultados. Por otro lado, al analizar como funcionarían estas alternativas en el futuro se observan grandes diferencias. Las alternativas que proponen ajustes en base a eliminar giros o ajustar tiempos semafóricos, como la 1A y la 1B, no tienen un buen funcionamiento a largo plazo, lo cual si sucede con las demás alternativas. Si se analiza la seguridad vial y la efectividad de tránsito vehicular dentro de la intersección también se puede observar que las alternativas 2 y 3 presentan mejores resultados aumentando la comodidad de los conductores que transitan por la zona. En términos de costos las alternativas 1A y 1B, requieren de relativamente una baja inversión a comparación de las alternativas 2 y 3 que si requieren de una inversión considerable para sus procesos de construcción.

Si lo que se desea es una solución a corto plazo y de bajo costo la alternativa más viable sería la 1A, ya que esta presenta buen desempeño operativo sin grandes cambios a la

infraestructura vial, sin embargo, se debe tener en cuenta que esta alternativa no es una opción que pueda durar mucho tiempo.

Por lo anterior y teniendo en cuenta que en el Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga se identificó la necesidad de intervenir esta intersección con un intercambiador, la Alternativa 3 es la más adecuada de las dos que plantean una modificación de la infraestructura, ya que el buen funcionamiento de esta con un acertado y óptimo diseño podría superar los 20 años.

Tabla 10.

Comparación de las alternativas.

Alternativa	Peor NDS	Mejor NDS	NDS promedio	Años con buen funcionamiento	Giros permitidos	Puntos de conflicto	Afectación predial (m ²)	Costo
Actual	F	A	D	0	17	12	0	Nulo
1A	C	A	B	5	15	12	0	Bajo
1B	C	A	B	5	13	10	0	Bajo
2	B	A	A	20	30	9	433	Alto
3	B	A	A	20	32	9	2768	Muy Alto

4. Conclusiones

- Gracias a la caracterización de la zona de estudio se determinó que el estado del pavimento en general es bueno sin algún daño considerable. En cuanto a las señales verticales, tan

solo el 6% de estas se encuentran deterioradas por efectos del tiempo y el 13% presentan alguna clase de alteración como grafitis o stickers. Además, cabe resaltar que el 100% de las señales verticales son completamente visibles. Por otro lado, el estado de la señalización horizontal es pésimo, las líneas entre carriles y de borde de pavimento solo son visibles en las vías principales como la Avenida La Rosita, la Calle 45, la Avenida González Valencia y la Calle 48, en el resto de las vías su visibilidad es muy regular, el resto de las señales horizontales se encuentran en un 33% en un estado regular o malo a causa del efecto del tiempo y a la falta de mantenimiento. Esto puede provocar que los conductores muchas veces no estén seguros de si se puede realizar alguna maniobra y se generen problemas de congestión.

- La siniestralidad dentro de la intersección se debe principalmente a la cantidad de vías que divergen en este punto, lo cual genera un total de 17 maniobras y 12 puntos de conflicto lo que se convierte en una zona de conflicto que debe ser analizada de manera integral.

- Con el análisis de longitudes de cola se determinó que las vías con el rendimiento más bajo eran la Avenida La Rosita, la Calle 45 y la Avenida González Valencia que en ocasiones no alcanzaban a descargar todos los vehículos con el plan de control semafórico actual, es así como una alternativa de mejora incluiría la optimización de los tiempos semafóricos.

- Debido a la emergencia sanitaria por la pandemia de la COVID-19 que afectaba (y sigue afectando) evidentemente los flujos vehiculares en la zona, se decidió estimar una proyección vehicular en base a los datos del crecimiento del parque automotor en la ciudad publicados por la Dirección de Tránsito de Bucaramanga y datos tomados por el grupo de investigación Geomática en los años 2012 y 2016. La tasa de crecimiento anual se determinó con el crecimiento del parque automotor en la ciudad de Bucaramanga y fue de 4.436%.

- El modo de transporte con mayor demanda de tránsito dentro de la intersección en la hora pico son los vehículos livianos (taxis y automóviles), con un porcentaje de 48.8% del total de vehículos, seguido por la motocicleta con un 46.8%, de lo cual se evidencia la alta demanda de vehículos particulares, que es una de las principales razones por las que la intersección no tiene un buen comportamiento.

- El uso de herramientas de simulación de tráfico como los es el software Aimsun, son actualmente muy útiles a la hora de tomar alguna decisión en la ejecución de una obra vial, permitiendo el óptimo análisis de cualquier situación. Para esta investigación gracias a los modelos de simulación, se pudo valorar el desempeño operativo de la intersección actualmente, obteniendo NDS de hasta F y con ocupaciones de colas vehiculares de hasta el 100%, lo cual confirma la necesidad de una intervención para mejorar la movilidad en este punto.

- Las alternativas 1A y 1B son buenas opciones a corto plazo y de bajo costo, ya que con estas alternativas no se afecta la infraestructura vial de la zona y se obtiene una notable mejora en el desempeño operativo de los tramos viales más problemáticos. Con la implementación de estas alternativas los NDS más críticos pasan de F a C y la ocupación por colas vehiculares se reducen en promedio un 10% para la alternativa 1A y para la alternativa 1B un 15%. La alternativa 1A es la más recomendable ya que esta presenta una menor afectación al comportamiento de la intersección. Sin embargo, se debe tener en cuenta que estas alternativas no tienen un comportamiento estable durante mucho tiempo ya que empiezan a tener un mal desempeño operativo después de los primeros 5 años, llegando a tener NDS de D.

- Las alternativas 2 y 3 plantean un cambio a la infraestructura vial de la intersección y representan una opción a largo plazo, pero de alto costo, Con la implementación de estas alternativas se espera que el desempeño operacional de la intersección mejore considerablemente

con NDS que pasan de F a B y una reducción promedio en la ocupación por colas vehiculares del 45% para la alternativa 2 y para la alternativa 3 de 76%. Ambas alternativas tienen un comportamiento aceptable durante los 20 primeros años de su implementación e incluso la alternativa 3 puede seguir funcionando bien durante varios años más. Se debe tener en cuenta que para la implementación de alguna de estas dos alternativas es necesaria una gran inversión. Debido a lo anterior y teniendo en cuenta que en el Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga ya se tiene planteado intervenir esta intersección con un intercambiador, la opción recomendada de estas dos sería la 3, ya que el buen funcionamiento de esta, con un acertado y óptimo diseño podría superar los 20 años.

- Para investigaciones futuras se puede plantear la realización de un análisis peatonal, así como el de los usuarios de la bicicleta ya que en esta investigación no fue posible realizar dicho análisis debido a que no se contaba con los datos y no fue posible tomarlos en campo. Este análisis es útil para examinar la siniestralidad en la zona y proponer alternativas para disminuirla, así como para generar una convivencia segura entre los diferentes modos.

Referencias bibliográficas

- Altamirano, P., Chumacero, E., Lopez, J., Marquez, J., Martinez, J., Ortiz, M., & Saldarriaga, M. D. M. (2017). *Vías de evitamiento e Intercambios Viales*.
- Álvarez, L. (2014). *Tutorial de Scopus Tutorial de Scopus. Actualizado a la nueva versión de Scopus 2014*.
- Bakhsh, A. (2020). Traffic simulation modeling for major intersection. *Sakarya University Journal of Science*, 24(49430), 37–44. <https://doi.org/10.16984/aufenbilder.490984>
- Belloti, M. (2019). *Vissim 8, uso y aplicación en una intersección urbana (Avenida Pablo Ricchieri, Bernardo O'Higgins Y Celso Barrios)*.
- Betancourt, G. H., Osiris, J., Bencomo, V., Alberto, M., & Esparza, R. (2015). Vialidad: Problemática en Intersecciones Viales de Áreas Urbanas, Causas y Soluciones. *CULCyT*, 0(56), 25–32.
- Castellanos, V., Rodríguez, C., & Baez, C. (2018). *Modelación y calibración de la intersección ubicada entre las carreras 23 y 21 con las calles 45 y 48 en la ciudad de Bucaramanga*. 9(1), 9–17.
- Chanca Cáceres, J. A., & Castellanos, J. A. (2004). Simulación Microscópica De Tráfico Urbano Y Su Aplicación En Un Área De La Ciudad De Zaragoza. *Cea-Ifac.Es*, 10. Retrieved from <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXV/documentos/34-ososareast.pdf>
- Das, A., Barua, S., & Roy, K. (2015). A Study On Feasible Traffic Operation Alternatives At Signalized Intersection In Dhaka City. *International Conference on Recent Innovation in Civil Engineering for Sustainable Development (IICSD-2015)*, (SEPTEMBER). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3981.3607>

- Elsevier. (2020). *Scopus, Content Coverage Guide*. 1–24. Retrieved from https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0017/114533/Scopus_GlobalResearch_Factsheet2019_FINAL_WEB.pdf
- Franco, L. (2014). Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este. *FPUNE Scientific*, 4(4), 75–82. Retrieved from http://www.une.edu.py:82/fpune_scientific/index.php/fpunescientific/article/view/75
- García, E. M., Osiris, J., Bencomo, V., Alberto, M., & Esparza, R. (2015). Vialidad: Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas. *CULCyT*, 0(56), 51–60.
- Gómez, E. (2009). *Desarrollo de un Modelo de Simulación Vehicular para la Mejora en la Sincronización de Semáforos*.
- González, R. F., Poblet, A. G., Reichler, J., & Grath Yoquet, J. (n.d.). *Predcción de conflictos en intersecciones urbanas*.
- Gustavo, R. (2018). *Evaluación y alternativas de solución para el problema de congestión vehicular presente en la glorieta de Menga, intersección avenida 6N con calle 70*.
- Henríquez, K., & Soriano, J. (2018). *Estudio de alternativas para la mejora del trafico y la funcionalidad en la interseccion semaforizada de la carretera mella y av. San vicente de Paul en la ciudad de Santo Domingo este, Republica Dominicana*. 1–102.
- Hernández, A., & Pérez, J. (2019). Alternativa para mejorar el tránsito vehicular en la intersección de la autopista sur con calle 63 sur, localidad de bosa en la ciudad de Bogota D.C. *Statistical Field Theor*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Instituto Nacional de Vías. (2008). Manual de Diseño Geometrico de Carreteras. *Ciencia*, 84, 1–6. <https://doi.org/10.1038/jid.2012.437.Activation>
- Ipus Gaviria, O. N. (2016). *Evaluación técnica mediante procesos de microsimulación en tres intersecciones en Montería, Córdoba*.
- Junca, J. C., & Guevara, C. S. (2016). *Planteamiento de solución a la congestión vehicular en la*

intersección de la calle 53 con Av. Caracas, Bogotá D. C. Solution approach to vehicular congestion at the intersection of 53rd Street with Caracas avenue.

Mia, M. S., Miah, M. K., & Hasan, M. (2015). *Setting of optimum signal timing using VISSIM software to improve the existing traffic operating condition of t and four leg intersection of Chittagong city.* (February), 151–156.

Ortega, D., & Ortega, Z. (2019). *Análisis de la accidentalidad en Bucaramanga para el período 2012-2018: una mirada desde las series de tiempo, hacia un pronóstico para el año 2019.* 1–23.

Porras, H., & Otros. (2010). *Plan Maestro de Movilidad Bucaramanga 2010 - 2030.* 143.

Qadri, S. S. S. M., Ali Gokce, M., Oner, E., & Gokce, E. G. (2019). Analysis of Various Scenarios to Mitigate Congestion at a Signalized Roundabout using Microsimulation. *Proceedings - 2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference, ASYU 2019.* <https://doi.org/10.1109/ASYU48272.2019.8946339>

Rueda, C. D. (2015). *Simulación de tráfico en circuitos urbanos.*

Ruíz, A., & Araica, B. (2015). *Introducción a la simulación de tráfico.* 3(2), 54–67. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México. (2006). *Modelación de demanda para carreteras de Cuota.*

Transmilenio S. A. (2013). *Curso teórico y de práctica guiada de Aimsun & Anexos.*

Transportation Research Board. (2010). *Highway Capacity Manual.* Washington, D.C.

Vial, A. N. de S. (2018). *Informe con las conclusiones de la revisión de la información secundaria por parte del ONSV sobre las causas de los incidentes fatales y no fatales INFORME FINAL.*

Yadira, N. (2007). *Análisis y control de tráfico vehicular en zonas críticas de la ciudad de Quito, mediante simulación.*

Zavala, F. (2008). *Incorporación de Peatones en la Calibración de un Modelo de Microsimulación para Flujo Mixto Interrumpido.*

Zhi, T. Y., Long, C. R., & Horng, L. Der. (2005). *Comparison of PARAMICS and GETRAM / AIMSUN.* 45(2), 78–96.