

**IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CONFLICTOS DE TRÁFICO
ORIGINADOS POR VEHÍCULOS QUE DAN GIRO DE VUELTA A IZQUIERDA
EN LAS INTERSECCIONES QUE NO HAN SIDO INTERVENIDAS POR LAS
AUTORIDADES PERTINENTES EN LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE
BUCARAMANGA.**

**PABLO ANDRÉS MÉNDEZ LARROTTA
JULIÁN ANDRÉS RIVERA SEPÚLVEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CONFLICTOS DE TRÁFICO
ORIGINADOS POR VEHÍCULOS QUE DAN GIRO DE VUELTA A IZQUIERDA
EN LAS INTERSECCIONES QUE NO HAN SIDO INTERVENIDAS POR LAS
AUTORIDADES PERTINENTES EN LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE
BUCARAMANGA.**

**PABLO ANDRÉS MÉNDEZ LARROTTA
JULIÁN ANDRÉS RIVERA SEPÚLVEDA**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
LUIS DAVID ARÉVALO DURAN
Ingeniero Civil y Especialista en Transporte**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

La realización de éste documento se la dedicamos primero que todo a Dios por darnos la vida y la salud para poder llegar a esta etapa de nuestra carrera en la que se cierra un ciclo y comienza otro muy importante.

También se les dedica con mucho amor a nuestros padres y familiares que fueron quienes nos brindaron su apoyo y a pesar de las dificultades que se presentaron durante el camino para que pudiéramos alcanzar éste logro de formarnos como profesionales.

PABLO ANDRÉS MÉNDEZ LARROTTA
JULIÁN ANDRÉS RIVERA SEPÚLVEDA

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

1. A Dios primero que todo por brindarnos la vida y con ella la oportunidad de luchar por nuestra meta de formarnos como profesionales.
2. A nuestro Director de Proyecto el Ingeniero Luis David Arévalo Durán por su colaboración, asesorías, revisión y tiempo durante la elaboración de esta investigación.
3. A todos y cada uno de los profesores que hicieron parte de éste proceso formativo, por transmitirnos sus conocimientos y ser fuente de motivación para alcanzar nuestras metas.
4. A todos los compañeros que hicieron parte de éste proceso, personas con las que se compartió en las aulas de clase y durante jornadas de estudio extra curriculares.

PABLO ANDRÉS MÉNDEZ LARROTTA
JULIÁN ANDRÉS RIVERA SEPÚLVEDA

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. OBJETIVOS	19
2.1. OBJETIVO GENERAL	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1. MOVILIDAD	20
3.2. TRANSPORTE	20
3.3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROBLEMA DEL TRANSITO	20
3.4. TIPOS DE SOLUCIÓN	21
3.4.1. Solución integral	21
3.4.2. Solución parcial de alto costo	21
3.4.3. Soluciones parciales de bajo costo	22
3.5. BASES PARA UNA SOLUCIÓN	22
3.6. FLUJO VEHICULAR	22
3.7. DESCRIPCIÓN PROBABILÍSTICA DEL FLUJO VEHICULAR	22
4. CASO DE ESTUDIO	25
5. METODOLOGÍA	27
6. RESULTADOS	32

6.1. RESULTADOS GENERALES.....	32
6.2. RESULTADOS DE LAS INTERSECCIONES NO INTERVENIDAS Y QUE PRESENTAN CONGESTIONAMIENTO CRÍTICO EN HORA PICO.....	34
7. CONCLUSIONES.....	43
8. RECOMENDACIONES.....	44
CITA.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	50

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Intersecciones que posiblemente presenta giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.....	25
Figura 2. Intersecciones que presentan congestión en la hora pico por causa del giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.	26
Figura 3. Metodología Aplicación al estudio a las intersecciones con giros de vuelta a izquierda en la ciudad de Bucaramanga.....	27
Figura 4. Límites de Bucaramanga.....	28
Figura 5. Calles y carreras aptas para el estudio en la malla vial del municipio de Bucaramanga.....	28
Figura 6. Intersecciones con prohibido a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.....	29
Figura 7. Intersecciones con semáforos que permiten el giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.	29
Figura 8. Intersecciones con bahías que permiten realizar el giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.....	30
Figura 9. Intersección que presenta giro de vuelta a izquierda crítico ubicado en la Calle 14 con Carrera 25.....	31
Figura 10. Intersecciones intervenidas y no intervenidas en la malla vial del municipio de Bucaramanga.....	32
Figura 11. Intersecciones en donde es posible encontrar giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.	33
Figura 12. Intersecciones en la malla vial que no han sido intervenidas por las autoridades correspondientes.....	33
Figura 13. Tabla de dimensiones principales de los vehículos de diseño.....	38

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Número de vehículos que dan giro de vuelta a izquierda en las intersecciones que presentan congestionamiento crítico durante la hora pico.	34
Tabla 2. Factores Auto-equivalente	34
Tabla 3. Número de vehículos equivalentes y tasa de flujo que pasa por cada intersección.....	35
Tabla 4. Ciclo y tasa media de flujo que se presenta para cada intersección crítica.	35
Tabla 5. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 45 con carrera 19.	36
Tabla 6. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 56 con carrera 17a.	36
Tabla 7. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 14 con carrera 25.	37
Tabla 8. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 45 con carrera 10.	37
Tabla 9. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la Carrera 22 entre calles 28 y 30.	38
Tabla 10. Tabla de longitudes de almacenamiento para cada intersección teniendo en cuenta el número de vehículos que se acumulan mientras se realiza el giro a izquierda.	39
Tabla 11. Tabla que contiene ancho de separador y elementos a ser removidos, para las intersecciones a las que se les calculó la longitud de bahía de almacenamiento.....	39
Tabla 12. Tabla que contiene los tiempos de los vehículos afectados por los giros de vuelta a izquierda.....	40

Tabla 13. Tabla que contiene la cantidad de vehículos en promedio que son afectados por los giros de vuelta a izquierda.....	40
Tabla 14. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 45 carrera 19. .	41
Tabla 15. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 56 carrera 17a.	41
Tabla 16. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 14 carrera 25. .	41
Tabla 17. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 45 carrera 10. .	42
Tabla 18. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la carrera 22 entre calles 28 y 30.	42

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. Fotografías de las 57 intercesiones que no están intervenidas por las autoridades competente en el municipio de Bucaramanga..	50
--	----

RESUMEN

TÍTULO:

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CONFLICTOS DE TRÁFICO ORIGINADOS POR VEHÍCULOS QUE DAN GIRO DE VUELTA A IZQUIERDA EN LAS INTERSECCIONES QUE NO HAN SIDO INTERVENIDAS POR LAS AUTORIDADES PERTINENTES EN LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.*

AUTORES:

PABLO ANDRÉS MÉNDEZ LARROTTA

JULIÁN ANDRÉS RIVERA SEPÚLVEDA**

PALABRAS CLAVE:

SOLUCIONES PARCIALES DE BAJO COSTO, MOVILIDAD, FLUJO VEHICULAR, TRANSPORTE, BUCARAMANGA.

DESCRIPCIÓN:

Hace algunos años la movilidad en la ciudad de Bucaramanga se ha visto afectada con incrementos sustanciales en los tiempos de viaje. Una forma de dar solución a la problemática que se presenta en la movilidad de ciudades de la densidad poblacional de Bucaramanga es implementar soluciones parciales de bajo costo, que ayuden a descongestionar y agilizar los tiempos de viaje para los usuarios que desean desplazarse de un lugar a otro de la ciudad. En éste trabajo se procede a estudiar las demoras que generan los giros de vuelta a izquierda, tanto para los vehículos que lo realizan, como para los que desean seguir derecho pero se ven afectados por ésta maniobra. Se analizaron 57 intersecciones en donde se presenta el giro a izquierda y se encontró que para 5 de ellas se genera congestión crítica durante la hora pico. Para estas intersecciones se encontró que los vehículos que desean realizar giro a izquierda tienen una demora de hasta 43 segundos, mientras que los usuarios que no realizan giro, pero se ven afectados por los giros de otros vehículos su demora puede llegar hasta unos 79 segundos. Al incluir estas cifras en un flujo vehicular significativo se puede ver como éste fenómeno afecta drásticamente los tiempos de desplazamiento en el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga y por eso es necesario el planteamiento de soluciones adecuadas para dicha problemática.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE:

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF TRAFFIC CONFLICTS CAUSED BY VEHICLES THAT GIVE BACK TURN LEFT AT INTERSECTIONS THAT HAVE NOT BEEN TAKEN OVER BY THE RELEVANT AUTHORITIES IN THE ROAD NETWORK OF THE MUNICIPALITY OF BUCARAMANGA.*

AUTHORS:

PABLO ANDRÉS MÉNDEZ LARROTTA

JULIÁN ANDRÉS RIVERA SEPÚLVEDA**

KEYWORDS:

PARTIAL LOW-COST SOLUTIONS, MOBILITY, TRAFFIC FLOW, TRANSPORT, BUCARAMANGA.

DESCRIPTION:

Some years ago mobility in the city of Bucaramanga has been hit with substantial increases in travel times. One way to solve the problems presented in the mobility of cities of the population density of Bucaramanga is to implement partial low-cost solutions that help relieve congestion and speed up travel times for users who want to move from one place to another city. In this work we proceed to study the delays generated by the flip turns left, for both vehicles is done, and for those who want to go straight but are affected by this maneuver. 57 intersections where the left turn is presented and found that 5 of them critical congestion is generated during rush hour were analyzed. For these intersections it found that vehicles wishing to make left turn have a delay of up to 43 seconds while users who do not make a turn, but are affected by the twists of other vehicles the delay can be up to about 79 seconds. Including these figures in a significant traffic flow can be seen as this phenomenon drastically it affects travel time in the urban area of the city of Bucaramanga and therefore the appropriate approach to this problem solutions needed.

* Degree work

** Faculty of Engineering Physics and Mechanical. School of Civil Engineering. Director: Luis David Arévalo Durán, Civil Engineer.

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población y de vehículos del área metropolitana de Bucaramanga, sumada al deterioro de la malla vial y el déficit de su infraestructura, hacen que actualmente el municipio de Bucaramanga y su Área Metropolitana, tenga grandes problemas de movilidad. Este problema se manifiesta en congestión permanente durante varias horas del día (horas pico) en las principales vías, incremento de los costos operativos de los vehículos, pérdida de competitividad de las empresas y un gran costo social. [1]

La complicación para la movilidad urbana que significa el aumento progresivo del parque automotor redundando en mayores tiempos de desplazamiento especialmente en movilidad obligada (trabajo, estudio). El problema lo expone claramente el ex viceministro de Transporte Felipe Targa en entrevista al diario *Portafolio* (2011): [2]

El aumento de la tasa de motorización —propiedad de vehículos particulares—, se ha comenzado a acelerar en Colombia, y seguirá haciéndolo a medida que el ingreso promedio de la población aumente, el valor real de los vehículos disminuya y existan mayores facilidades de crédito. Y estos son procesos que, afortunadamente, vienen ocurriendo en Colombia.

Desde el punto de vista funcional, el crecimiento físico y económico de la ciudad de Bucaramanga ha generado complejas situaciones que requieren ser contempladas dentro de un proceso de ordenamiento metropolitano. La ciudad, junto con Floridablanca, Girón y Piedecuesta, conforma el área metropolitana de Bucaramanga, AMB, el quinto conglomerado del país, con una población de 1'014.08810 habitantes y uno de los cuatro centros macroregionales, conjuntamente con Cali, Medellín y Barranquilla. Como eje funcional de primera categoría del nororiente del país, cumple amplias funciones como centro institucional, político, financiero y económico. [3]

El área metropolitana de Bucaramanga (AMB) se ha caracterizado por la preponderancia de las actividades comercial y de servicios, con marcados sectores residenciales e industriales. El crecimiento se ha dado recientemente con mayor fuerza en los municipios del AMB distintos de Bucaramanga, por la poca disponibilidad de espacio en esta última. El proceso de integración como área metropolitana ha abierto importantes relaciones funcionales entre los municipios que la componen, y ha generado flujos de personas y bienes en los que Bucaramanga juega un papel central, por su protagonismo como generador de empleo. [3]

Debido a la problemática planteada, parte de la solución es la renovación infraestructural a la cual los últimos gobiernos le han apostado con mega obras como han sido: El intercambiador de Neomundo, El viaducto de la Novena, La ampliación

del tercer Carril, El intercambiador de Quebrada Seca, El intercambiador del mesón de los Bucaros, entre otros.

Bajo la anterior premisa de intervención en la infraestructura vial ha de contemplarse la necesidad de proyectar diferentes mecanismos para realizar giros vehiculares a izquierda en intersecciones, a fin de obtener el mayor beneficio en ahorro de tiempo para el conductor. Por eso es necesario establecer los tiempos promedio que tarda un vehículo particular en hora punta en completar un giro a izquierda en una intersección. [2]

El porqué del análisis para movimientos a la izquierda es la gran diferencia en tiempo requerido respecto a los movimientos directo y a la derecha, tal como se expondrá más adelante. [2] El estudio se realizó en hora pico en las intersecciones en donde se presentaba el giro a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga y que no hubiesen sido intervenidas por las autoridades correspondientes.

La necesidad de analizar las intersecciones radica en que el nivel de servicio de la vía principal se ve afectado pues es recurrente la necesidad de disminuir la velocidad, y en algunas ocasiones se presentan importantes esperas debido a la semaforización obligada para realizar alguno de los movimientos: directo, giro a izquierda, giro a derecha. Las demoras son causadas principalmente por la obligada reducción de velocidad, y si la intensidad del tráfico es elevada puede ser preciso esperar durante algún tiempo antes de poder atravesar la intersección, lo que generaría mayor demora y, según la situación, posible congestionamiento vial. [4]

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La movilidad es un concepto que abarca a todo ciudadano por su necesidad de desplazarse a través de las vías de su ciudad, el incremento de la población es un factor que interviene notablemente en ésta situación, la necesidad de buscar ingresos para suplir las necesidades básicas que se presentan a diario son otro elemento que afecta la movilidad de un individuo dentro de una ciudad.

La movilidad para cada persona va a variar debido a que no todos van a usar el mismo medio esto dependiendo de la cantidad de recursos que posea el individuo, unas personas se movilizaran en vehículo particular, otros usaran transporte público, otros se movilizaran a pie o en bicicleta, además las personas se desplazarán por diferentes rutas, de diferentes orígenes y hacia diferentes destinos, todo esto variando la dificultad de movilización para cada persona.

Los usuarios que se movilizan por la red de la ciudad de Bucaramanga se verán afectados por una serie de externalidades, de las cuales la más representativa es el aumento en lo tiempo de viaje que se dan debido a un creciente congestionamiento en las vías de la ciudad, esto nos obliga a tomar una serie de decisiones que contribuyan como solución parcial de bajo costo para afrontar estas dificultades de movilidad que se presentan, una de ellas puede ser la prohibición de dar giro de vuelta a izquierda ya que ésta acción genera “Cuellos de botella” que no son más que grandes filas de vehículos que generan congestión a lo largo de un tramo vial. A pesar que los gobiernos recientes de la ciudad han intentado implementar soluciones, como el incremento de la malla vial y la implementación de un sistema de transporte masivo, el crecimiento del parque automotor y la necesidad de movilización de los bumanguenses a sobre pasado las medidas implementadas por los gobernantes y la ciudad cada vez se encuentra con mayores congestiones lo que implica grandes pérdidas de dinero y de tiempo para los usuarios del transporte en cualquier tipo de modalidad de transporte.

Dado que la movilidad es un componente del diario vivir de los ciudadanos, vale la pena realizar un análisis de percepción de conflictos de vehículos que desean dar vuelta izquierda de tal manera que se puedan dar soluciones parciales de movilidad en esos puntos de conflicto, para evitar colas largas de vehículos que se traducen en congestionamiento, de tal manera que puedan servir a las autoridades públicas como Metrolinea, tránsito y el área metropolitana de Bucaramanga, como insumos para tomar decisiones en materia de mejoramientos viales, como solución parcial de bajo costo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar y analizar el tránsito general por movimientos de vehículos que dan giro de vuelta a la izquierda en el municipio de Bucaramanga.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las intersecciones de giro de los vehículos de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga en las cuales las autoridades competentes no hayan llevado a cabo ninguna acción.
- Registrar el número de vehículos que llegan a este tipo de intersecciones detectadas, con la necesidad de realizar giro de vuelta a la izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.
- Analizar los cuellos de botella que se forman en las intersecciones detectadas debido a los giros de vuelta a la izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.
- Plantear soluciones de acuerdo con el concepto de probabilidad de llegada de vehículos que requieran dar vuelta izquierda en las intersecciones detectadas, seleccionando la mejor opción, en función del espacio que brinde la intersección.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. MOVILIDAD

El concepto de movilidad, hace referencia a una nueva forma de abordar los problemas de transporte desde un marco integral, el cual busca hacer equitativo el uso de la malla vial por los diferentes actores, puesto que se considera un recurso escaso que nunca podrá crecer al ritmo que crece el parque automotor, con el fin de facilitar las nuevas necesidades de desplazamiento de las personas y de las mercancías, en una ciudad o región. [5]

En general, los desplazamientos de las personas y de las mercancías se han tornado cada vez más difíciles de realizar y de solucionar por parte de las administraciones locales, y todo parece indicar que el fenómeno seguirá creciendo en el futuro. [5]

En estas condiciones, se requieren esfuerzos innovadores que superen y complementen medidas como las enfocadas a ampliar las infraestructuras, regular el estacionamiento, cambiar la actitud de los usuarios, promover un mayor uso de medios alternativos, etc. [5]

3.2. TRANSPORTE

Un sistema de transporte, incluida la red viaria, es fundamentalmente un sistema de servicio, cuya función es la de hacer más ágil la actividad diaria de la comunidad, reduciendo la fricción del espacio. [6] Los estudios buscan solucionar primero que todo los conflictos de tráfico, agilizar los desplazamientos, definir la infraestructura que conecte los puntos entre los cuales se desarrollan los recorridos. [7]

Los estudios de tránsito son adecuados para la ciudad del siglo XXI, la tecnología que utilizan ayuda a que los diseños viales sean los más adecuados, los modelamientos prevén el estado del tráfico para un sector y permiten intentar al menos mitigar los impactos que esto genera. Podemos decir que la ingeniería de tránsito aporta bastante al desarrollo de la ciudad. [7]

3.3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROBLEMA DEL TRANSITO

Las ciudades dependen grandemente de sus sistemas de calles, ofreciendo servicios de transporte. Muchas veces, estos sistemas tienen que operar por arriba de su capacidad, con el fin de satisfacer los incrementos de demanda por servicios de transporte, ya sea para tránsito de vehículos livianos, tránsito comercial, transporte público, acceso a las distintas propiedades o estacionamientos, etc.,

Originando obviamente problemas de tránsito, cuya severidad por lo general se puede medir en términos de accidentes y congestión. [8]

A pesar de que en los últimos tiempos con los avances tecnológicos se han logrado proyectar y construir sistemas viales más acordes con los vehículos que los utilizan, al igual que diseños urbanos modernistas, los problemas de tránsito en muchos lugares aún persisten. A continuación se enuncian cinco factores que podrían incrementar estos problemas y que deben ser tomados en cuenta en cualquier intento de solucionarlos. [8]

- Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad.
- Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas.
- Falta de planificación en el tránsito.
- El automóvil no considerado como una necesidad pública.
- Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario.

3.4. TIPOS DE SOLUCIÓN

Si el problema del tránsito causa pérdida de vidas y bienes, o sea que equivale a una situación de falta de seguridad para las personas y de ineficiencia económica del transporte, la solución, lógicamente, se obtendrá haciendo el tránsito seguro y eficiente.

Hay tres tipos de solución que se pueden dar al problema del tránsito. [8]

3.4.1. Solución integral. Si el problema es causado por un vehículo moderno sobre carreteras y calles antiguas, la solución integral consistirá en construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, dentro de la previsión posible. Se necesitará crear ciudades con trazo nuevo, revolucionario, con calles destinadas a alojar el vehículo moderno, con todas las características inherentes al mismo. [8]

3.4.2. Solución parcial de alto costo. Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente se tiene, con ciertos cambios que requieren fuertes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruces peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificación de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc. [8]

3.4.3. Soluciones parciales de bajo costo. Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tránsito, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras cosas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito; las medidas necesarias de educación vial; el sistema de calles circulación en un sentido; el estacionamiento de tiempo limitado; el proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos; la canalización del tránsito a bajo costo; las facilidades para la construcción de terminales y estacionamientos; etc. [8]

3.5. BASES PARA UNA SOLUCIÓN

De cualquier manera, la experiencia demuestra que en determinado tipo de solución deberán existir tres bases en que se apoye la misma. Son los tres elementos que, trabajando simultáneamente, van a dar lo que se quiere: un tránsito seguro y eficiente.

Estos tres elementos son: [8]

- La ingeniería del tránsito.
- La educación vial.
- La legislación y vigilancia policiaca

3.6. FLUJO VEHICULAR

La tasa de flujo, q , es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. Es pues, el número de vehículos, N , que pasan durante un intervalo de tiempo específico T , inferior a una hora en unidades de minutos o segundos. No obstante, la tasa de flujo, q , puede ser expresada en vehículos por hora, teniendo cuidado de su interpretación, pues no se trata del número de vehículos que efectivamente pasan durante una hora completa o *volumen horario*, Q . La tasa de flujo, q , se calcula entonces con la siguiente expresión:

$$q = \frac{N}{T} \quad [8]$$

3.7. DESCRIPCIÓN PROBABILÍSTICA DEL FLUJO VEHICULAR

Si todos los vehículos que circulan por una determinada vialidad se encuentran espaciados *uniformemente*, sería fácil determinar su flujo y los diferentes niveles de congestión. Sin embargo, en muchos casos los vehículos no viajan a intervalos uniformes, sino que lo hacen en grupo con un intervalo promedio para

cada uno, reflejando concentraciones vehiculares que se mueven en forma de ondas a través del tiempo. [8]

Más aún, en situaciones más cercanas a la realidad, los vehículos circulan en forma completamente *dispersa*. Todos aquellos enfoques que tratan de tener en cuenta la heterogeneidad del flujo, suponen que el patrón de llegadas o de paso de los vehículos corresponde, en cierta manera, a un proceso *aleatorio*. En muchos problemas de ingeniería de tránsito es de gran utilidad describir el flujo vehicular, de tal manera que conserve algunas de sus características *discretas*, considerando de esta forma los aspectos *probabilísticos* de su comportamiento. [8]

Para seleccionar la distribución de probabilidad que más fielmente represente un flujo vehicular específico, es necesario que éste cumpla tres condiciones: primero, cada conductor sitúa su vehículo independientemente de los demás, excepto cuando su espaciamiento es muy pequeño; segundo, para cualquier flujo, el número de vehículos que pasan por un punto en un intervalo de tiempo dado es independiente del número de vehículos que pasan por otro punto durante el mismo intervalo; tercero, el número de vehículos que pasan por un punto dado en un intervalo de tiempo es independiente del número de vehículos que pasan por el mismo punto durante otro intervalo. [8]

Los supuestos anteriores son los que utiliza la distribución de *Poisson*, la cual tiene aplicación para flujos vehiculares bajos y medios. Suponiendo que la distribución de llegadas de los vehículos a un punto es de tipo Poisson, entonces la probabilidad de x llegadas es cualquier intervalo de tiempo t viene dada por la siguiente expresión:

$$p(x) = P(X = x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!} \quad [8]$$

para $x = 1, 2, \dots, \infty$

Donde:

X = variable aleatoria que representa el número de llegadas de vehículos a un punto.

$P(x)$ = probabilidad que lleguen exactamente x vehículos al punto durante un intervalo de tiempo t .

m = número medio de vehículos que se espera lleguen durante el intervalo de tiempo t (vehículos/intervalo).

e = base de los logaritmos neperianos = 2.718282

El valor de m en función de la tasa de flujo de llegadas q es:

$$m = qt \quad [8]$$

Por lo tanto, la distribución de Poisson también se puede escribir como:

$$p(x) = P(X = x) = \frac{(qt)^x e^{-qt}}{x!} \quad [8]$$

Ahora, la probabilidad que no lleguen vehículos durante el intervalo de tiempo t , según la expresión anterior es:

$$p(0) = P(X = 0) = \frac{(qt)^0 e^{-qt}}{0!} \quad [8]$$

$$= e^{-qt} \quad \text{para } t \geq 0$$

Si no llegan vehículos durante el intervalo de tiempo t , entonces existe un intervalo de tiempo h entre vehículos de al menos t . Esto quiere decir que el intervalo h es igual o mayor que t . Esta característica define la distribución de intervalos de tiempo entre vehículos, la cual se expresa como:

$$P(h \geq t) = e^{-qt} \quad \text{para } t \geq 0 \quad [8]$$

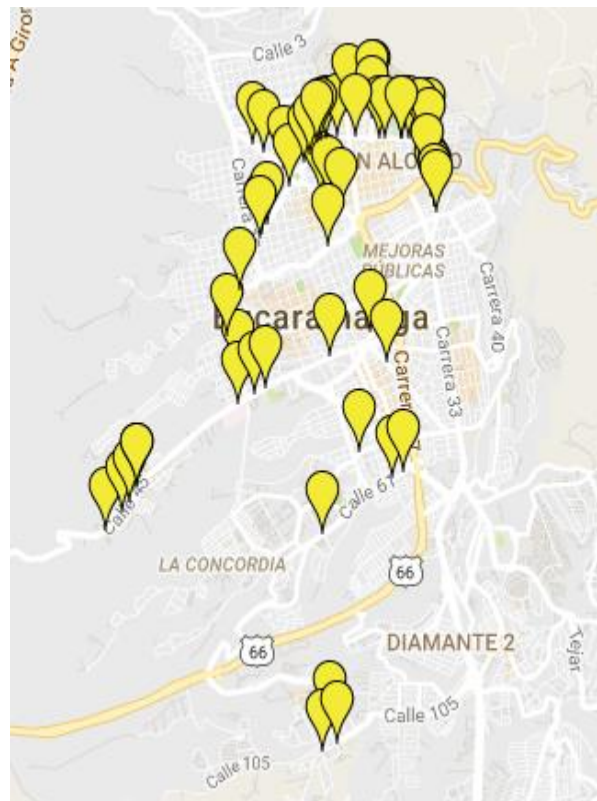
La anterior expresión indica que la distribución de intervalos entre vehículos es una variable continua de tipo exponencial negativa. [8]

La distribución discreta de llegadas, y la distribución continua de intervalos, tienen varias aplicaciones: control de intersecciones, cálculo de longitudes de almacenamiento en carriles de vuelta a izquierda, estimación de filas y demoras del tránsito, disponibilidad de claros o separaciones entre vehículos de una corriente principal que permita el cruce de los vehículos de la corriente secundaria, estudio de maniobras de convergencia de corrientes vehiculares, predicción de llegadas de vehículos a puntos de interés, etc. [8]

4. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio para el análisis de la problemática generada por los vehículos que desean dar giro de vuelta a izquierda se desarrolló en las intersecciones pertenecientes a la malla vial del municipio de Bucaramanga y que no hubiesen sido intervenidas por las autoridades competentes, con el fin de proponer una posible solución a las demoras en los tiempos de viaje que se generan debido a los usuarios que desean realizar dicho giro. (Ver Fig. 1).

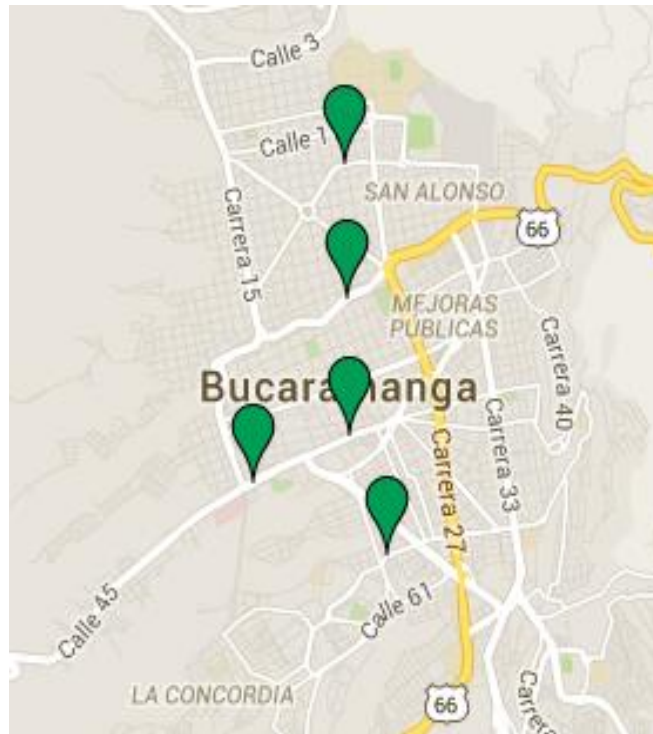
Figura 1. Intersecciones que posiblemente presenta giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.



Fuente: elaboración a partir de la herramienta Google Maps.

De las 57 intersecciones que se presentaba giro a izquierda 5 fueron determinadas como críticas debido a que en hora pico se presentaban congestiones de gran magnitud que hacían colapsar el flujo que transitaba por dichas intersecciones. (Ver Fig. 2).

Figura 2. Intersecciones que presentan congestión en la hora pico por causa del giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.

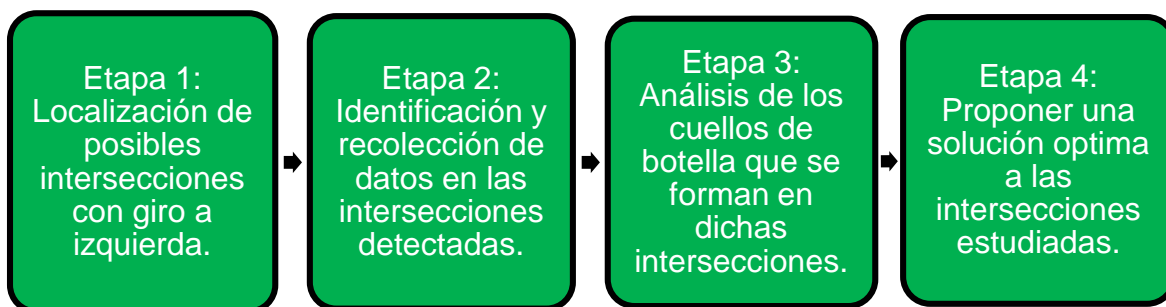


Fuente: Elaboración a partir de la herramienta Google Maps.

5. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio a las intersecciones no intervenidas por las autoridades competentes que presentan giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga, se usó una metodología apoyada en el método científico experimental; consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, formulación y análisis de las hipótesis. Para esto se propuso el siguiente plan de trabajo basado en cuatro etapas, como se puede observar en la figura 3:

Figura 3. Metodología Aplicación al estudio a las intersecciones con giros de vuelta a izquierda en la ciudad de Bucaramanga.



La primera etapa que consistió en la localización de las intersecciones no intervenidas por las autoridades competentes y que posiblemente se presentaba el giro a izquierda se realizó mediante el apoyo de la herramienta *Google Maps*, identificando las características de las intersecciones por las cuales se puede realizar en giro a izquierda, las cuales son vías que tienen cuatro carriles dos en cada sentido, se demarca los límites de la zona de estudio “Bucaramanga” (ver Fig. 4), con la herramienta *Google Maps* se marcan las calles y carreras que tienen las características para poder realizar la observación en el municipio de Bucaramanga (ver Fig. 5), con la herramienta *Google Maps* se realiza el recorrido encontrando 101 intersecciones con prohibido a izquierda (ver Fig. 6), 28 semáforos que permiten el giro a izquierda (ver Fig. 7), 21 bahías diseñadas para realizar el giro a izquierda (ver Fig. 8) y 57 intersecciones que no encuentran intervenidas por las autoridades competentes (ver Fig. 1), que posteriormente fueron visitadas para la recolección de datos en campo durante las horas punta, que fueron obtenidas mediante aforos que fueron facilitados por el grupo de investigación Geomática de la UIS[9].

Figura 4. Límites de Bucaramanga.



Fuente: Google Maps

Figura 5. Calles y carreras aptas para el estudio en la malla vial del municipio de Bucaramanga.



Fuente: Elaboración a partir de la herramienta Google Maps.

Figura 8. Intersecciones con bahías que permiten realizar el giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.



Fuente: Elaboración a partir de la herramienta Google Maps.

Para la segunda etapa se hizo la visita a cada una de las 57 intersecciones que se encontraron mediante la herramienta *Google Maps*, se realizó registro fotográfico en todas intercesiones (Anexo A) y una serie de aforos en las 5 intercesiones que presentaron congestionamiento en las horas pico (Ver Fig. 2), en cada punto en donde se midió el tiempo que tardaban los vehículos en esperar para poder realizar el giro de vuelta izquierda, el tiempo que tardaban como tal en realizar la maniobra y el tiempo en que se veían afectados los vehículos que no iban a realizar el giro. Además se registró cuantos vehículos incluyendo motos, buses, camiones, etc., eran afectados por los vehículos que realizaban el giro a la izquierda.

Figura 9. Intersección que presenta giro de vuelta a izquierda crítico ubicado en la Calle 14 con Carrera 25.



El análisis de los cuellos de botella que se forman en las intersecciones en donde se presenta giro de vuelta a izquierda fue llevado a cabo en la etapa 3 mediante el cálculo de las longitudes de cola de espera que se formaban mientras los vehículos realizaban la maniobra de giro de vuelta a izquierda.

Por último el análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante la descripción probabilística del flujo vehicular para proponer una solución práctica a la problemática que se presentaba en las intersecciones que presentaron un comportamiento crítico en el desarrollo de la maniobra de giro de vuelta a izquierda durante las horas pico.

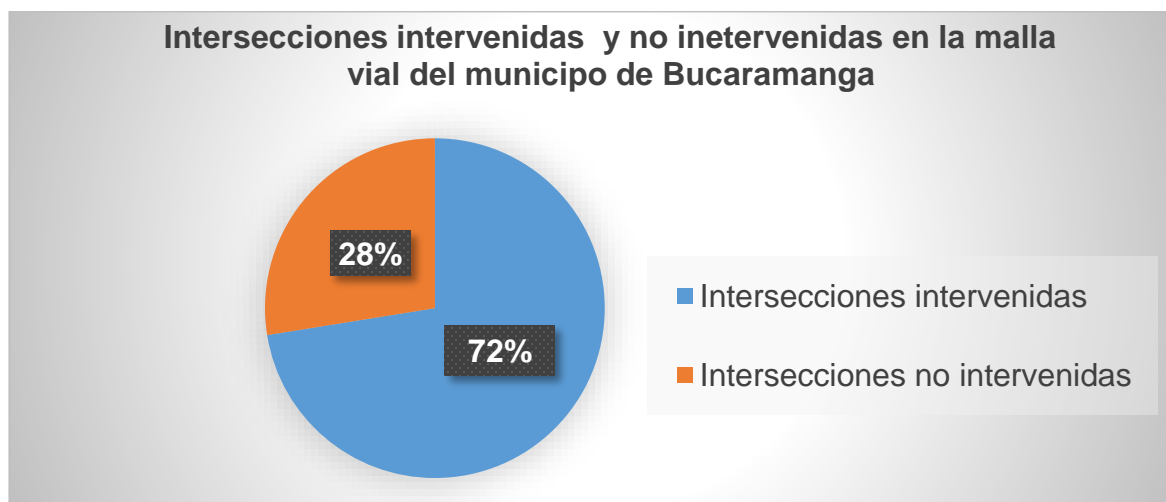
6. RESULTADOS

Los resultados que a continuación se presentan hacen parte de los datos y los análisis obtenidos de las intersecciones en donde se presenta giro a izquierda en la malla vial de la ciudad de Bucaramanga y no han sido intervenidas por las autoridades competentes.

6.1. RESULTADOS GENERALES

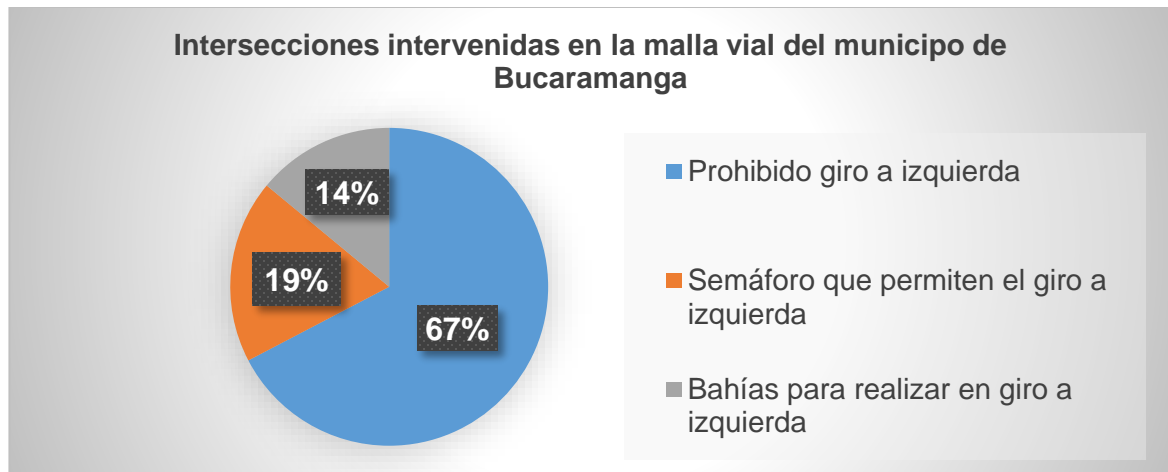
A partir de la utilización de la herramienta Google Maps se encontraron 207 intersecciones, en las que posiblemente se presentaba giro de vuelta a izquierda. Después de realizadas las visitas a dichas intersecciones se encontró que el 72% de las intersecciones se encuentran intervenidas por las autoridades competentes, mientras que al 28% no se le ha realizado ningún tipo de intervención. (Ver Fig.10).

Figura 10. Intersecciones intervenidas y no intervenidas en la malla vial del municipio de Bucaramanga.



De las intersecciones que han sido intervenidas por las autoridades competentes se obtuvo que en el 67% se ha prohibido el giro de vuelta a izquierda, el 19% presentan semáforo que regula la maniobra, mientras que al 14% de las intersecciones se les ha construido una bahía para facilitar el giro de vuelta a izquierda y de esta forma mitigar los cuellos de botella que se generan al realizar dicha maniobra. (Ver Figura 11).

Figura 11. Intersecciones en donde es posible encontrar giro de vuelta a izquierda en la malla vial del municipio de Bucaramanga.



De las intersecciones que no han sido intervenidas por las autoridades correspondientes se encontró que el 9% de las intersecciones presentan congestión crítica durante las horas pico, mientras que para el 91% restante las condiciones de flujo vehicular conservan un nivel de servicio aceptable. (Ver Fig.12)

Figura 12. Intersecciones en la malla vial que no han sido intervenidas por las autoridades correspondientes.



6.2. RESULTADOS DE LAS INTERSECCIONES NO INTERVENIDAS Y QUE PRESENTAN CONGESTIONAMIENTO CRÍTICO EN HORA PICO.

Las cinco intersecciones en las que se presenta congestión durante la hora pico fueron analizadas con mayor profundidad, con el fin de proponer una alternativa de solución para dichos puntos de la ciudad, en los que se generan cuellos de botella y aumento en los tiempos de viaje de los usuarios del transporte, tanto público como privado, en la malla vial de la ciudad de Bucaramanga.

Para estos puntos claves se hicieron una serie de aforos en los que se contaron el número de motos, autos, taxis y buses que quisieron realizar la maniobra de giro de vuelta a izquierda durante la hora punta. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Número de vehículos que dan giro de vuelta a izquierda en las intersecciones que presentan congestión crítico durante la hora pico.

Dirección	Moto	Autos	Taxis	Bus
calle 45 carrera 19	168	109	78	9
calle 56 carrera 17a	149	80	42	7
calle 14 carrera 25	180	79	39	3
calle 45 carrera 10	303	143	78	15
carrera 22 entre calles 28 y 30	112	64	52	9

Como no todos los vehículos generan la misma congestión al hacer la maniobra, se aplicó un factor de equivalencia a los vehículos con el fin de homogenizar los datos para el análisis de los cuellos de botella en las intersecciones. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Factores Auto-equivalente.

Factor Auto-equivalente	
Moto	0.4
Auto	1
Taxi	1
Bus	1.6

Después de haber sido aplicado el factor auto-equivalente se obtuvieron los siguientes resultados para cada intersección del número de autos que quisieron dar giro de vuelta a izquierda. En donde q es la tasa de flujo. (Ver Tabla 3.)

Tabla 3. Número de vehículos equivalentes y tasa de flujo que pasa por cada intersección.

Dirección	N # de vehículos en				q [Veh/Hora]
	Moto	Auto	Taxi	Bus	
calle 45 carrera 19	67	109	78	14	269
calle 56 carrera 17a	60	80	42	11	193
calle 14 carrera 25	72	79	39	5	195
calle 45 carrera 10	121	143	78	24	366
carrera 22 entre calles 28 y 30	45	64	52	14	175

A partir de los datos obtenidos en campo, para cada intersección se encontraron los tiempos que hay entre dos vehículos que llegan a una intersección y desean realizar giro a izquierda, este tiempo se llama ciclo y se expresa mediante la letra t. Además, se calculó la tasa media de flujo representada con la letra m, y es el número medio de vehículos que se espera lleguen durante el ciclo. [8] (Ver tabla 4.)

Tabla 4. Ciclo y tasa media de flujo que se presenta para cada intersección crítica.

Dirección	t [s/ciclo]	m [veh./ciclo]
calle 45 carrera 19	40	2.984
calle 56 carrera 17a	44	2.356
calle 14 carrera 25	36	1.948
calle 45 carrera 10	38	3.865
carrera 22 entre calles 28 y 30	42	2.044

Con los datos de la tabla 3, tabla 4 y aplicando la ecuación de descripción probabilística del flujo vehicular de Poisson, para cada intersección se calcularon el número de vehículos que hacen fila para pasar y las probabilidades de no llegada de otro vehículo que desee dar giro de vuelta a izquierda, cumpliendo con a lo más un 5% de probabilidad de que llegue otro vehículo con intenciones de realizar la maniobra de giro de vuelta a izquierda.

El número de carros que se acumulan y la probabilidad de no llegada para ellos en cada intersección se presentan a continuación: (Ver Tablas de la 5 a la 9).

Tabla 5. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 45 con carrera 19.

calle 45 carrera 19	$\sum_{x=0}^N \left(\frac{(m)^x e^{-m}}{x!} \right)$
N # de vehículos	
0	0.0506
1	0.2015
2	0.4267
3	0.6507
4	0.8179
5	0.9176
6	0.9673
7	0.9884
8	0.9963
9	0.9989
10	0.9997

Tabla 6. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 56 con carrera 17a.

calle 56 carrera 17a	$\sum_{x=0}^N \left(\frac{(m)^x e^{-m}}{x!} \right)$
N # de vehículos	
0	0.09476
1	0.31805
2	0.58113
3	0.78778
4	0.90951
5	0.96689
6	0.98942
7	0.99701
8	0.99924
9	0.99983
10	0.99996

Tabla 7. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 14 con carrera 25.

calle 14 carrera 25	$\sum_{x=0}^N \left(\frac{(m)^x e^{-m}}{x!} \right)$
N # de vehículos	
0	0.14256
1	0.42026
2	0.69075
3	0.86638
4	0.95192
5	0.98524
6	0.99606
7	0.99907
8	0.99980
9	0.99996
10	0.99999

Tabla 8. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la calle 45 con carrera 10.

calle 45 carrera 10	$\sum_{x=0}^N \left(\frac{(m)^x e^{-m}}{x!} \right)$
N # de vehículos	
0	0.0210
1	0.1019
2	0.2585
3	0.4602
4	0.6551
5	0.8058
6	0.9029
7	0.9565
8	0.9824
9	0.9935
10	0.9978

Tabla 9. Número de vehículos que hacen fila y probabilidad de no llegada para la intersección ubicada en la Carrera 22 entre calles 28 y 30.

carrera 22 entre calles 28 y 30	$\sum_{x=0}^N \left(\frac{(m)^x e^{-m}}{x!} \right)$
N # de vehículos	
0	0.12951
1	0.39423
2	0.66477
3	0.84910
4	0.94329
5	0.98180
6	0.99491
7	0.99874
8	0.99972
9	0.99994
10	0.99999

Obtenidos el número de vehículos que cumplen la probabilidad requerida se procedió a calcular la longitud de bahía de almacenamiento utilizando una longitud de vehículo promedio de 5m, que se encontró del Manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS (Ver Fig. 13), y una separación promedio entre vehículos de 0.8 metros [8].

Figura 13. Tabla de dimensiones principales de los vehículos de diseño.

Dimensiones principales de los vehículos de diseño

CATEGORÍA	LONGITUD TOTAL (m)	ANCHO (m)	LONGITUD TRACTOCAMIÓN (m)	LONGITUD SEMIRREMOLQUE (m)	FIGURA No.
Vehículo liviano	5.00	1.80	-	-	2.2.
Bus mediano	10.91	2.44	-	-	2.3.
Bus grande	13.00	2.60	-	-	2.4.
2	11.00	2.50	-	-	2.5.
3	11.40	2.50	-	-	2.6.
3S2	20.89	2.59	4.57	14.63	2.7.

Fuente: Tabla 2.5 Manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS. [11]

En la tabla 10 se pueden ver las longitudes de bahía de almacenamiento por intercepción para el número de vehículos encontrado en el análisis probabilístico y para una longitud promedio de vehículo igual a 5 metros y una separación entre vehículos de 0.8 metros.

Tabla 10. Tabla de longitudes de almacenamiento para cada intersección teniendo en cuenta el número de vehículos que se acumulan mientras se realiza el giro a izquierda.

Dirección	N # de vehículos	Longitud de los vehículos	Separación entre los vehículos	Longitud de almacenamiento
calle 45 carrera 19	6	5 m	0.8 m	34.0 m
calle 56 carrera 17a	5	5 m	0.8 m	28.2 m
calle 14 carrera 25	4	5 m	0.8 m	22.4 m
calle 45 carrera 10	7	5 m	0.8 m	39.8 m
carrera 22 entre calles 28 y 30	5	5 m	0.8 m	28.2 m

Para analizar la viabilidad de la construcción de las bahías se hizo medición en campo del ancho de separador, del número de elementos que tienen que ser removidos, como son: árboles, postes y señales de tránsito. (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Tabla que contiene ancho de separador y elementos a ser removidos, para las intersecciones a las que se les calculó la longitud de bahía de almacenamiento.

Dirección	Longitud de almacenamiento	Ancho del separador	Retiro de elementos		
			Arboles	Postes	Señales de tránsito
calle 45 carrera 19	34.0 m	2.03 m	4	0	0
calle 56 carrera 17a	28.2 m	1.15 m	4	1	0
calle 14 carrera 25	22.4 m	2.96 m	5	1	0
calle 45 carrera 10	39.8 m	2.38 m	6	2	1
carrera 22 entre calles 28 y 30	28.2 m	3.45 m	7	2	0

Con los datos tomados en las interacciones de los vehículos que no realizan el giro a la izquierda se puede observar que estos son afectados en promedio por el tiempo de espera en las intersecciones de aquellos vehículos que si realizan el giro (ver tabla 12)

Tabla 12. Tabla que contiene los tiempos de los vehículos afectados por los giros de vuelta a izquierda.

Tiempo promedio	Tiempo de los vehículos afectados por el giro a izquierda (segundos)
calle 45 carrera 19	70
calle 56 carrera 17a	79
calle 14 carrera 25	55
calle 45 carrera 10	65
carrera 22 entre calles 28 y 30	54

De los datos se puede contar la cantidad de vehículos promedio que son afectados en la hora pico para cada intersección por este tipo de maniobra (ver tabla. 13)

Tabla 13. Tabla que contiene la cantidad de vehículos en promedio que son afectados por los giros de vuelta a izquierda.

	Moto	Auto	Taxi	Bus
calle 45 carrera 19	1	4	3	1
calle 56 carrera 17a	1	3	2	1
calle 14 carrera 25	1	2	2	1
calle 45 carrera 10	2	4	3	1
carrera 22 entre calles 28 y 30	1	2	1	1

Con los datos de los vehículos afectados en cada intersección (Ver Tablas 12 y 13), se aplicó un factor de equivalencia a los vehículos con el fin de homogenizar los datos. (Ver Tabla 2) y utilizando una longitud de vehículo promedio de 5m, que se encontró del Manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS (Ver Fig. 12), y una separación promedio entre vehículos de 0.8 metros [8]. Se calculó la longitud promedio de cola de espera total para cada intersección (Ver Tablas de la 14 a la 18).

Tabla 14. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 45 carrera 19.

calle 45 carrera 19	Promedio de vehículos	Factor Auto- equivalente	N # de vehículos	Longitud de los vehículos	Separación de entre los vehículos	Longitud de cola de espera	Longitud promedio de cola de espera total
Motocicleta	1	0.4	0.4	5 m	0.8 m	1.5 m	49.0 m
Auto	4	1	4	5 m	0.8 m	22.4 m	
Taxi	3	1	3	5 m	0.8 m	16.6 m	
Bus	1	1.6	1.6	5 m	0.8 m	8.5 m	

Tabla 15. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 56 carrera 17a.

calle 56 carrera 17a	Promedio de vehículos	Factor Auto- equivalente	N # de vehículos	Longitud de los vehículos	Separación de entre los vehículos	Longitud de cola de espera	Longitud promedio de cola de espera total
Motocicleta	1	0.4	0.4	5 m	0.8 m	1.5 m	37.4 m
Auto	3	1	3	5 m	0.8 m	16.6 m	
Taxi	2	1	2	5 m	0.8 m	10.8 m	
Bus	1	1.6	1.6	5 m	0.8 m	8.5 m	

Tabla 16. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 14 carrera 25.

calle 14 carrera 25	Promedio de vehículos	Factor Auto- equivalente	N # de vehículos	Longitud de los vehículos	Separación de entre los vehículos	Longitud de cola de espera	Longitud promedio de cola de espera total
Motocicleta	1	0.4	0.4	5 m	0.8 m	1.5 m	31.6 m
Auto	2	1	2	5 m	0.8 m	10.8 m	
Taxi	2	1	2	5 m	0.8 m	10.8 m	
Bus	1	1.6	1.6	5 m	0.8 m	8.5 m	

Tabla 17. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la calle 45 carrera 10.

calle 45 carrera 10	Promedio de vehículos	Factor Auto- equivalente	N # de vehículos	Longitud de los vehículos	Separación de entre los vehículos	Longitud de cola de espera	Longitud promedio de cola de espera total
Motocicleta	2	0.4	0.8	5 m	0.8 m	3.8 m	51.3 m
Auto	4	1	4	5 m	0.8 m	22.4 m	
Taxi	3	1	3	5 m	0.8 m	16.6 m	
Bus	1	1.6	1.6	5 m	0.8 m	8.5 m	

Tabla 18. Tabla que contiene la longitud promedio de cola de espera total de los vehículos que no realizan el giro de vuelta a izquierda en la carrera 22 entre calles 28 y 30.

carrera 22 entre calles 28 y 30	Promedio de vehículos	Factor Auto- equivalente	N # de vehículos	Longitud de los vehículos	Separación de entre los vehículos	Longitud de cola de espera	Longitud promedio de cola de espera total
Motocicleta	1	0.4	0.4	5 m	0.8 m	1.5 m	25.8 m
Auto	2	1	2	5 m	0.8 m	10.8 m	
Taxi	1	1	1	5 m	0.8 m	5.0 m	
Bus	1	1.6	1.6	5 m	0.8 m	8.5 m	

7. CONCLUSIONES

Se encontraron 207 intersecciones entre intervenidas y no intervenidas, de las cuales solo se analizó el comportamiento de las 57 intersecciones que no estaban intervenidas por las autoridades pertinentes, ya que esta es la problemática que se presenta en dichos lugares, además de ser el objeto de estudio, con el que se busca proponer una solución parcial de bajo costo.

De 57 intersecciones encontradas sin ninguna intervención por parte de las autoridades competentes, se encontró: primero, solo para 5 de ellas se presentaba congestión crítica durante la hora pico; y, segundo, el número de vehículos que realizaron la maniobra de giro a izquierda durante el intervalo de tiempo crítico en dichas intersecciones fue desde 175 vehículos en la menos afectada, y llegó a ser de 366 vehículos para la intersección que se vio más congestionada.

Para las cinco intersecciones en las que se presentó congestión crítica se midieron en promedio 30 segundos en tiempo de espera de un vehículo para realizar giro a la izquierda, 35 segundos para realizar el giro y 65 segundos, tiempo en el que se ven afectados los vehículos que no van a realizar el giro, estos datos para un flujo vehicular significativo representan aumentos sustanciales en los tiempos de recorrido de los usuarios del transporte, tanto público como privado, en la malla vial de la ciudad.

Después de aplicada la ecuación de descripción probabilística del flujo vehicular de Poisson para las intersecciones que generan congestión crítica y con sus respectivas longitudes de bahía, se tiene que la construcción de bahía en dichos puntos es una solución parcial de bajo costo que mejoraría las condiciones del tránsito de vehículo en la malla vial de la ciudad de Bucaramanga; los árboles que se ven afectados deben ser recompensados para evitar un impacto que contribuya con el calentamiento global.

8. RECOMENDACIONES

El análisis que se lleva a cabo para las intersecciones que presentan giro de vuelta a izquierda en el sistema vial de la ciudad de Bucaramanga, hace parte de una serie de soluciones parciales de bajo costo y tienen por objetivo mitigar la problemática del transporte que en los últimos años se ha venido presentando, debido al aumento del parque automotor.

La construcción de bahías para facilitar la maniobra de giro de vuelta a izquierda, fomentar el uso de transporte no motorizado como la bicicleta, priorizar el uso del transporte público masivo sobre el transporte particular, hacen parte de este conjunto de soluciones que sin la necesidad de hacer grandes inversiones pueden contribuir al mejoramiento de la movilidad sostenible de la ciudad. Las soluciones parciales de bajo costo, han sido implementadas en países del primer mundo y recibidas con gran agrado por parte de los usuarios; en ciudades como Ámsterdam, en donde se prefiere el uso de la bicicleta al del transporte particular: En esta ciudad viven 811.000 personas y hay 881.000 bicicletas. La bicicleta impone la movilidad urbana y es usada por más del 60 por ciento de los ciudadanos. [12]

Partiendo del concepto que “La movilidad no es mover el mayor número de vehículos, sino el mayor número de personas.”, interpretando que la ocupación en la vía pública por parte de un gran número de autos particulares es mucho mayor que la ocupación de unidades transportadoras colectivas de pasajeros, y analizando el concepto de índice de pasajeros por kilómetro que puede transportar un vehículo de gran tamaño frente a un auto, los usuarios del transporte deben reflexionar hacia el desestimulo del uso del carro particular, emigrando al transporte público colectivo.

A éste respecto en el área metropolitana de Bucaramanga la autoridad de transporte del AMB, quien controla el sistema de transporte colectivo convencional y el ente gestor Metrolinea, deben constituirse en organismos de gestión para incrementar los viajes en transporte público colectivo y masivo.

Los problemas que acarrea el giro a izquierda en las intersecciones durante la hora pico ha sido motivo de estudio en diferentes ciudades. En Bogotá este año se intervendrán 6 intersecciones críticas y se espera que con esta iniciativa se obtengan disminuciones en los tiempos de viaje. Como lo informa Poble Metro a través de una noticia publicada el día 29 de julio de 2016: La movilidad es uno de los dolores de cabeza de los ciudadanos y de la Administración Distrital, que en busca de una mejora, se encuentra realizando cambios en varias intersecciones.

Aunque en total serán 10 las intervenciones por parte de la secretaría de Movilidad, solo algunas de ellas son prioridad y por eso serán intervenidas primero que las otras. [13]

Una de las soluciones que el distrito presenta a estas intersecciones es crear un carril adicional de giro a izquierda, como se va a realizar en la ciudad de Cali con Avenida Villavicencio: De acuerdo con el Distrito, el problema es que tiene cuatro fases semafóricas y dos giros a la izquierda, lo que reduce la cantidad de vehículos que pasan el semáforo en verde. La solución, por su parte, es habilitar un carril adicional para girar a la izquierda, sentido norte-oriente. [13]

Se espera que este trabajo cale a las autoridades municipales para que empiecen a implementar las soluciones parciales de bajo costo y de esta manera buscar una movilidad sostenible y amigable con sus usuarios y con el medio ambiente, este trabajo deja abierta la opción para que se realicen los diseños geométricos y se implementen los carriles adicionales en las intersecciones que presentaron congestión crítica.

CITAS

- [1] Secretaría de Infraestructura de Bucaramanga: Mesa de sostenibilidad urbana (2012).
- [2] Urazán Bonells, C.F.; Pérez Hernández, Y. J. y. Rey Sierra, Z. L (2013). Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D.C. Épsilon (2), 173-190.
- [3] ALCALDÍA MUNICIPAL DE BUCARAMANGA. Plan Maestro de movilidad Bucaramanga 2010-2030. Bucaramanga.
- [4] Diario Portafolio (2011, septiembre 29). Motorización y competitividad de las ciudades Recuperado de: <http://www.portafolio.co/opinion/motorización-y-competitividad.las.ciudades>.
- [5] FLECHAS, Anda. Movilidad y Transporte: Un enfoque territorial. Universidad Nacional de Colombia. Agosto, 2006, p. 2-3. (<http://es.scribd.com/doc/36218578/Movilidad-y-Transporte>)
- [6] LAS INCÓGNITAS DEL TRÁFICO URBANO, Ceccalli, P., Gabrielli, B., Rozzi, R. Ed. Gustavo Gilli, S.A. Barcelona, 1968.
- [7] Moreno Miranda, M.M. (2012) Transporte y movilidad en el ordenamiento territorial de Zipaquirá –Entre la realidad y la necesidad-.
- [8] Cal y mayor, R. y Cárdenas, J. (2007). Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones 7° edición. México,1994: Alfaomega, Problemas de tránsito y su solución p.14-20, Análisis de flujo vehicular p.279-291.
- [9] Grupo de investigación Geomática UIS, AFOROS VEHICULARES DE BUCARAMANGA periodo 2009-2012.
- [10] Yarce Marín, Y. G. (2015) Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas. [Magíster Tesis].Universidad Nacional, Medellín, 2015.
- [11] Instituto Nacional de Vías, INVIAS, Ministerio de Transporte. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá. 2008. Controles para el diseño geométrico p. 51.
- [12] Así fue como Amsterdam se convirtió en la ciudad de las bicicletas: <http://www.eltiempo.com/bogota/amsterdam-la-ciudad-de-las-bicicletas/16263915> [citado 29 de Julio de 2016]

[13] 6 intersecciones viales tendrán cambios para mejorar la movilidad: <http://www.publimetro.co/bogota/6-intersecciones-viales-tendran-cambios-para-mejorar-la-movilidad/lmkpfu!uML4CgJeFk3h6/> [citado 29 de Julio de 2016]

[14] Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior, Gobierno de España (DGT) (2012, agosto). Intersecciones: concepto, funcionamiento y clasificación. Madrid. Recuperado de: empleo/ oposiciones/ TEMA_076.pdf.

[15] Highway Capacity Manual (HCM) (2010). *Transportation Research Board of the National Academies*. Washington D.C.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE BUCARAMANGA. Plan Maestro de movilidad Bucaramanga 2010-2030. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga, 2010

ALCALDIA DE BUCARAMANGA. Secretaría de Infraestructura de Bucaramanga. Mesa de sostenibilidad urbana. Bucaramanga, 2012.

CAL Y MAYOR REYES ESPINDOLA, Rafael y CARDENAS GRISALES, James. Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones 7ed. México: Alfaomega, 2007.

CECCARELLI, Paolo *et. al.* Las Incógnitas del tráfico urbano. Barcelona, Barcerlona: Gustavo Gili, 1968.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE: Instituto Nacional de Vías- INVIAS: Subdirección de apoyo técnico. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Mintransporte: INVIAS, 2008.

FLECHAS CAMACHO, Ana Luisa. Movilidad y Transporte: Un enfoque territorial. [En línea] Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería: Sección Académica de Vías y Transporte, Departamento de Civil y Agrícola, Agosto, 2006. [Consultado: 1° julio 2016] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/36218578/Movilidad-y-Transporte>

MORENO MIRANDA, Milton Mauricio. Transporte y movilidad en el ordenamiento territorial de Zipaquirá, entre la realidad y la necesidad. Tesis Maestría. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Arquitectura y Diseño, 2012.

MOTORIZACIÓN Y competitividad de las ciudades: El Gobierno Nacional ha tomado la iniciativa de liderar una necesaria innovación en la política pública de movilidad urbana. *Portafolio* [en Línea]. Redacción Portafolio Septiembre 30 de 2011. [Consultado 24 junio 2016] Disponible en Internet: <http://www.portafolio.co/opinion/redaccion-portafolio/motorizacion-competitividad-ciudades-149988>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Highway Capacity Manual –HCM. Washington: National Academy of Sciences. 2000

URAZAN BONELLS, Carlos Felipe y PEREZ HERNANDEZ, Yeimi Johanna. Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso. *Revista Epsilon*. [En línea] 2013. Enero-Junio. N° 20. P 173-192. [Consultado: 15 junio 2016] Disponible en Internet: <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/view/2361/2247>

YARCE MARÍN, Yuly Gabriela. Método para hallar el factor de equivalencia vehicular a motocicletas Aplicación en la ciudad de Medellín. Tesis de Magíster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería civil Medellín, Colombia, 2015.

ANEXOS

ANEXO A. Fotografías de las 57 intercesiones que no están intervenidas por las autoridades competentes en el municipio de Bucaramanga.

Registro fotografico de las intersecciones analizadas en las cuales se congestiona la vía debido al giro a la izquierda en la hora pico de cada intersección.

Calle 45 carrera 10. Se congestiona la vía debido al giro a la izquierda que realizan los vehículos en la hora pico que fue de 7 a.m.- 8 a.m. en sentido Occidente - Oriente.



Calle 14 carrera 25. Se congestiona la vía debido al giro a la izquierda que realizan los vehículos en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Occidente - Oriente.



Carrera 22 entre calles 28 y 30. Se congestiona la vía debido al giro a la izquierda que realizan los vehículos en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Occidente - Oriente.



Calle 56 carrera 17a. Se congestiona la vía debido al giro a la izquierda que realizan los vehículos en la hora pico que fue de 6 p.m. – 7 p.m. en sentido Oriente – Occidente.



Calle 45 carrera 19. Se congestiona la vía debido al giro a la izquierda que realizan los vehículos en la hora pico que fue de 5 p.m. – 6 p.m. en sentido Occidente – Oriente.



Registro fotografico de las intersecciones analizadas en las cuales se puede realizar el giro a la izquierda debido a que no se congestionan en la hora pico de cada intersección.

Carrera 33a calle 31a. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12p.m.-1 p.m. en sentido Sur – Norte.



Carrera 33a calle 31. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m.-1 p.m. en sentido Sur - Norte.



Carrera 33a calle 31. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Norte – Sur.



Carrera 33a calle 30a. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Sur - Norte.



Carrera 33a calle 30. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Norte – Sur.



Carrera 3a calle 19. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Sur - Norte.



Carrera 33a calle 17. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Sur - Norte



Carrera 33a calle 14. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Sur – Norte.



Calle 10 carrera 30. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m.-1 p.m. en sentido Occidente - Oriente.



Carrera 30 calle 10. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Sur – Norte.



Carrera 30 calle 12. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Sur – Norte.



Carrera 27 calle 11. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. - 1 p.m. en sentido Norte - Sur.



Calle 14 carrera 32c. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. - 8 a.m. en sentido Oriente - Occidente.



Calle 14 carrera 32b. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. - 8 a.m. en sentido Oriente - Occidente.



Calle 14 entre carreras 32a y 32b. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Occidente - Oriente.



Velodromo Alfonso Flóres Ortiz entre carreras 32a y 32b. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. - 8 a.m. en sentido Norte - Sur.



Calle 14 carrera 31a. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Oriente - Occidente.



Calle 14 carrera 31. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Oriente - Occidente.



Calle 14 carrera 28. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Oriente - Occidente.



Calle 14 carrera 26. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 10 a.m. – 11 a.m. en sentido Oriente – Occidente.



Calle 14 carrera 24. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 10 a.m. – 11 a.m. en sentido Oriente - Occidente.



Carrera 24 calle 14. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Suroccidente – Oriente.



Carrera 16 calle 15. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Suroccidente – Nororiente.



Carrera 16 calle 16. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 10 a.m. – 11 a.m. en sentido Nororiente – Suroccidente.



Carrera 18 calle 18. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 2 p.m. – 3 p.m. en sentido Nororiente – Suroccidente.



Carrera 16 calle 21. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Nororiente – Suroccidente.



Carrera 16 calle 22. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 2 p.m. – 3 p.m. en sentido Nororiente – Suroccidente.



Carrera 15 calle 22. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Suroccidente – Nororiente.



Carrera 23 calle 19. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 11 a.m. – 12 p.m. en sentido Suroriente – Noroccidente.



Carrera 23 calle 20. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 2 p.m. – 3 p.m. en sentido Noroccidente - Suroriente.



Carrera 25 calle 21. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 2 p.m. – 3 p.m. en sentido Suroriente – Noroccidente.



Carrera 19 calle 26. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 5 p.m. – 6 p.m. en sentido Noroccidente – Suroriente.



Carrera 13 calle 14. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 5 p.m. – 6 p.m. en sentido Noroccidente – Suroriente.



Carrera 13 calle 14. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 5 p.m. – 6 p.m. en sentido Noroccidente – Suroriente.



Carrera 11 entre calles 28 y 31. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Occidente – Oriente.



Carrera 9 calle 34. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Sur – Nororiente



Carrera 9 calle 42. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Sur - Norte.



Calle 45 carrera 12. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Suroccidente - Nororiente.



Calle 45 carrera 8. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Suroccidente - Nororiente.



Calle 45 carrera 7 Oeste. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Suroccidente - Nororiente.



Calle 45 carrera 8 Oeste. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1p.m. en sentido Nororiente - Suroccidente.



Calle 45 carrera 9b Oeste. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Suroccidente - Nororiente.



Calle 45 carrera 11 Oeste. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 a.m. – 8 a.m. en sentido Suroccidente - Nororiente.



Calle 45 carrera 14a Oeste. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 12 p.m. – 1 p.m. en sentido Nororiente - Suroccidente.



Transversal Metropolitana calle 104a. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 6 p.m. – 7 p.m. en sentido Sur – Norte.



Calle 105 carrera 16. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 p.m. – 8 p.m. en sentido Nororiente - Suroccidente.



Calle 105 carrera 15c. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 7 p.m. – 8 p.m. en sentido Nororiente - Suroccidente.



Calle 61 carrera 17f. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 1 p.m. – 2 p.m. en sentido Occidente – Oriente.



Calle 61 carrera 17e. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 1 p.m. – 2 p.m. en sentido Occidente – Oriente



Calle 64 Transversal Metropolitana. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 1 p.m. – 2 p.m. en sentido Suroccidente – Nororient



AV Gonzales Valencia calle 48. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 5 p.m. – 6 p.m. en sentido Noroccidente – Suroriente.



Carrera 23 entre calles 40 y 45. Se puede realizar el giro a la izquierda porque no se congestiona la vía en la hora pico que fue de 11 a.m. – 12 p.m. en sentido Suroccidente – Nororiente.

