

ANÁLISIS DEL TRÁNSITO VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES POSTOBÓN,
SÉPTIMA BRIGADA Y LA GRAMA PROYECTADO A 5, 10 Y 15 AÑOS EN LA CIUDAD
DE VILLAVICENCIO



MARÍA FERNANDA DÍAZ ROMERO
LEONARDO VALBUENA NAVARRO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

ANÁLISIS DEL TRÁNSITO VEHICULAR EN LAS INTERSECCIONES POSTOBÓN,
SÉPTIMA BRIGADA Y LA GRAMA PROYECTADO A 5, 10 Y 15 AÑOS EN LA CIUDAD
DE VILLAVICENCIO

MARÍA FERNANDA DÍAZ ROMERO
LEONARDO VALBUENA NAVARRO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero civil

Asesor
ING. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ
Maestría en Infraestructura Vial

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades Académicas

Fray José Gabriel Meza Angulo, O. P.

Rector General

Fray Eduardo González Gil, O. P.

Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O. P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract.....	11
Glosario	12
1 Introducción.....	13
2 Formulación del problema.....	14
3 Justificación.....	16
4 Objetivos	18
4.1 Objetivo General	18
4.2 Objetivos Específicos	18
5 Estado del arte	19
6 Marco de referencia.....	21
6.1 Marco teórico	21
6.1.1 Métodos para determinar la capacidad de una glorieta.....	21
6.2 Marco Geográfico	24
6.2.1 Identificación de la zona de estudio.....	25
7 Metodología.....	28
8 Análisis y resultados.....	29
8.1 Caracterización de las glorietas.....	29
8.1.1 Glorieta Séptima Brigada.....	29
8.1.2 Glorieta Postobón.....	29
8.1.3 Glorieta La Grama	30
8.2 Recolección de datos preliminares para el estudio de la glorieta Séptima Brigada.	30
8.3 Cálculo de la capacidad vehicular actual de la glorieta Séptima Brigada por medio de métodos teóricos.	31
8.3.1 Estimación de datos faltantes.....	31

8.3.2	Volumen vehicular total de la glorieta séptima brigada	31
8.3.3	Ramal A	35
8.3.4	Ramal B	36
8.3.5	Ramal C	37
8.3.6	Ramal D	39
8.3.7	Ramal E.....	40
8.3.8	Ramal F	42
8.3.9	Ramal G	43
8.3.10	Ramal H	44
8.3.11	Capacidad de la glorieta Séptima Brigada.	45
8.4	Cálculo de la capacidad vehicular actual de la glorieta Postobón por medio de métodos teóricos.	48
8.4.1	Porcentaje de vehículos.....	48
8.4.2	Capacidad de la glorieta Postobón.	49
8.5	Cálculo de la capacidad vehicular actual de la glorieta Grama por medio de métodos teóricos.	50
8.5.1	Capacidad glorieta la Grama.....	51
8.6	Proyección del tránsito vehicular	51
8.6.1	Datos preliminares	52
8.6.2	Método de proyección.....	52
8.6.3	Proyección de la hora de máxima demanda de la glorieta Séptima Brigada	53
8.6.4	Comportamiento de la glorieta Séptima Brigada con volúmenes proyectados	54
8.6.5	Comportamiento de la glorieta Postobón con volúmenes proyectados	56
8.7	Modelación del volumen vehicular actual y proyectado en las intersecciones.....	58
8.7.1	Glorieta Séptima Brigada.....	58

8.7.2	Resultados de la modelación.....	59
8.8	Elaboración de alternativas para mejorar la capacidad vehicular de las glorietas	59
8.9	Revisión del Plan de ordenamiento territorial con respecto a la malla vial de la ciudad.	62
9	Conclusiones	63
10	Bibliografía	64
11	Anexos	68

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Parámetros para el cálculo de la capacidad	23
Tabla 2 Caracterización de la glorieta Séptima Brigada.....	29
Tabla 3 Caracterización de la glorieta Postobón.....	29
Tabla 4 Caracterización de la glorieta La Grama	30
Tabla 5 Composición de vehículos por ramal.....	33
Tabla 6 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda de la glorieta Séptima Brigada.....	34
Tabla 7 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal A.....	36
Tabla 8 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal B.....	37
Tabla 9 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal C.....	38
Tabla 10 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal D.....	40
Tabla 11 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal E	41
Tabla 12 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal F	42
Tabla 13 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal G.....	44
Tabla 14 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal H.....	45
Tabla 15 Capacidad método wardrop	46
Tabla 16 Grado de saturación Séptima Brigada	46
Tabla 17 Capacidad de la Séptima Brigada por métodos no convencionales.....	47
Tabla 18 Nivel de servicio	47
Tabla 19 Porcentaje de vehículos en la glorieta Postobón.....	48
Tabla 20 Capacidad de la glorieta.....	49
Tabla 21 Grado de Saturación glorieta Postobón	49
Tabla 22 Nivel de servicio Postobón	49
Tabla 23 Casos supuestos de tránsito en la glorieta de la Grama	50
Tabla 24 Capacidad glorieta de la Grama.....	51
Tabla 25 Nivel de servicio glorieta la Grama	51
Tabla 26 Valores de la salida de Villavicencio- Pto López	52
Tabla 27 Método de Proyección	52

Tabla 28 Proyección del volumen vehicular en la hora de máxima demanda.....	53
Tabla 29 Comportamiento del flujo vehicular con volúmenes proyectados de la glorieta Séptima Brigada.....	54
Tabla 30 Comportamiento del flujo vehicular con volúmenes proyectados de la glorieta Postobón.....	56
Tabla 31 Datos de la modelación en Vissim.....	59
Tabla 32 Comparación de alternativas.....	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Variables para la capacidad método francés	22
<i>Figura 2 Ubicación glorieta.....</i>	24
Figura 3 Glorieta la Grama	25
Figura 4 Glorieta Postobón	26
Figura 5 Glorieta Séptima brigada.....	27
Figura 6 Medición de la infraestructura y aforo	30
Figura 7 Volumen vehicular total glorieta Séptima Brigada	32
Figura 8 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda	34
Figura 9 Comparación por ramales del volumen vehicular proyectado	54
Figura 10 Comparación del nivel de servicio en la glorieta Séptima Brigada.....	55
Figura 11 Comparación del nivel de servicio en la glorieta Séptima Brigada.....	57
Figura 12 Comportamiento real del Ramal D.....	58
Figura 13 Modelo en Vissim de la glorieta Séptima Brigada.....	58
Figura 14 Modelo de paso a desnivel	60
Figura 15 Modelo de paso a desnivel con ramales de paso	60
Figura 16 Modelo de intersección tipo trébol	61

Resumen

Debido al crecimiento poblacional y económico de la ciudad de Villavicencio, capital del departamento del Meta, las vías construidas hace algunos años han presentado deficiencia en el nivel de servicio, puesto que en horas pico, se presenta un gran volumen de vehículos, generando alto grado de congestión vehicular, especialmente en los puntos de intersección de las vías principales, tales como la glorieta Postobón, La Grama y Séptima Brigada.

Mediante este trabajo de investigación, se realizó y analizó la capacidad vehicular del tránsito y nivel de servicio para las intersecciones anteriormente mencionadas, en condiciones actuales y proyectas a 5, 10 y 15 años. Esto se lleva a cabo usando como herramienta principal los registros históricos del tránsito en las entradas y salidas de la ciudad, información obtenida por medio de las bases de datos del INVIAS y, modelando en el software VISSIM el comportamiento de cada glorieta con respecto a dichos registros tanto actuales como proyectados. Por lo tanto, con base a los resultados, se evidencia qué las condiciones actuales de la infraestructura existente en las glorietas Postobón Séptima Brigada, son deficientes debido a que no tienen la capacidad de albergar de forma eficaz el volumen del parque automotor para los años de proyección, sin embargo, en condiciones actuales, solo la intersección Postobón presenta alto grado de saturación. A su vez, al realizar la simulación de la glorieta La Grama, es evidente un comportamiento óptimo, debido a que la infraestructura de dicha intersección posee más ramales de salida que, de entrada.

Palabras Clave: Congestión vehicular, capacidad vehicular, nivel de servicio, parque automotor, intersecciones.

Abstract

Due to the population and economic growth of the city of Villavicencio, capital of the department of Meta, the roads built some years ago have presented a deficiency in the level of service, since at peak times, there is a large volume of vehicles, generating a high degree of traffic congestion, especially at the intersection points of the main roads, such as the Postobón roundabout, La Grama and Séptima Brigada.

Through this research work, the vehicular capacity of the traffic and service level for the aforementioned intersections was carried out and analyzed, in current conditions and projected at 5, 10 and 15 years. This is carried out using as the main tool the historical traffic records at the entrances and exits of the city, information obtained through the INVIAS databases and, modeling in the VISSIM software the behavior of each roundabout with respect to these current and projected records. Therefore, based on the results, it is evident that the current conditions of the existing infrastructure in the Postobón and Séptima Brigada roundabouts are deficient because they do not have the capacity to effectively house the volume of the vehicle fleet for the years of projection, however, in current conditions, only the Postobón intersection presents some degree of saturation. In turn, when performing the simulation of the roundabout La Grama, an optimal behavior is evident, because the infrastructure of said intersection has more exit branches than, of entry.

Key Word: Traffic congestion, vehicle capacity, service level, fleet, intersections.

Glosario

- Anillo de circulación: Como su nombre indica es la zona de la intersección destinada al tránsito de los vehículos en sentido giratorio **(Darder, 2005)**.
- Aforo vehicular: Son aquellos que registran cantidad y tipo vehículos que circulan por una vía haciendo trazos en un papel **(Universidad Nacional de Ingeniería, 2005)**.
- Capacidad vehicular: Hace referencia al máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado **(Mozo Sánchez, 2012)**.
- Intersecciones: Las intersecciones son zonas comunes a dos o más carreteras que se cruzan al mismo (o diferente) nivel y en las que se incluyen las calzadas que pueden utilizar los vehículos para el desarrollo de todos los movimientos posibles **(Instituto Nacional de Vías, 2008)**.
- Intersección tipo glorieta: Se denomina glorieta a toda infraestructura vial que intercepta el flujo vehicular y se caracteriza por la manera en que se tratan los tramos que confluyen en él, ya que se comunican a través de una calzada anular en la que se establece una circulación giratoria alrededor de una isleta central **(Darder, 2005)**. Por tal razón, la trayectoria de los vehículos no se ve afectada por movimientos secantes, permitiendo un flujo constante y reduciendo la congestión vehicular.
- Islote central: Es la zona no destinada a la circulación de vehículos que queda comprendida en el interior del anillo de circulación, de manera que la calzada anular lo bordea **(Darder, 2005)**.
- Nivel de servicio: Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los usuarios. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial **(Mozo Sánchez, 2012)**.
- Volumen vehicular o parque automotor: Se define como el número de vehículos que pueden circular por la malla vial de un territorio y deben estar sujetos a la normativa vigente.

1 Introducción

La globalización se define a groso modo como la integración y comunicación de los países a nivel mundial, con el fin de lograr un desarrollo económico y tecnológico produciendo un crecimiento significativo en el flujo comercial y financiero, permitiendo el aumento de la calidad de vida de los habitantes en cuestión (Arrioga). Teniendo en cuenta lo anterior, Colombia no está exenta de los acercamientos y negociaciones en el ámbito económico con países extranjeros, tanto es así que, el 21 de octubre de 2011, Estados Unidos aprueba el Tratado de libre comercio (TLC) con Colombia, un hecho que propició el incremento del movimiento económico en el territorio nacional.

Debido al TLC, el mercado colombiano se hizo más amplio, los precios en algunos sectores disminuyeron y el empleo se fortaleció por causa de la industrialización en las ciudades principales. Por tal motivo, se genera centros de comercio específico en las urbes, reglamentados por los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de cada región. Sin embargo, al estar centralizada la economía, mayor es la distancia entre los puestos de trabajo de los habitantes con respecto a sus hogares, por lo tanto, la comunidad opta por acceder a un vehículo particular que satisfaga las necesidades de movilidad. Consecuentemente, según el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), para junio del año 2019, el volumen del parque automotor en Colombia fue de 14'637 422 vehículos (ASOPARTES, 2019), así mismo, para finales de 2020, el parque automotor se incrementó a 16' 042 336 vehículos (Mintransporte, 2020), esto quiere decir que, en año y medio se produjo un incremento del 8.75% del parque automotor. Cabe mencionar que, desde 2009 hasta la fecha, un total de 15' 494 603 personas, tramitaron su licencia de conducción (Mintransporte, 2020).

La ciudad de Villavicencio, se ve afectada directamente por el incremento vehicular, tanto es así que entre 2011 y 2015 el parque automotor pasó de 40 679 a 75 284 vehículos (Arias Baquero & Pinto Pardo, 2017), por lo cual, la malla vial de Villavicencio se ha quedado corta a medida que pasan los años. Existen específicamente 3 puntos principales del municipio por el cual el tránsito vehicular se intercepta en todos los sentidos, redireccionando el tráfico a las diferentes arterias de la ciudad, las cuales son, glorieta La Grama, Postobón y Séptima Brigada. En dichas intersecciones se evidencia gran congestión vehicular en las horas pico, debido a que comunican los sectores con mayor aglomeración de habitantes e industrias económicas.

2 Formulación del problema

Colombia se ha caracterizado por tener deficiencia en la infraestructura vial en todo el territorio nacional, como es el caso de las vías primarias, las cuales, 9 334 están pavimentadas y 2 216 está sin pavimentar (Instituto Nacional de Vías, 2020), este problema es ocasionado principalmente por la alta demanda de vehículos, poca o nula inversión en material vial, migración poblacional y las expansiones territoriales; lo anterior se puede evidenciar con los datos suministrados por la Cámara Colombiana de Infraestructura (CCI), la cual muestra que, según el Foro Económico Mundial, entre 2015 y 2016, Colombia en cuanto a infraestructura de transporte se refiere, ocupó el puesto 61 entre 140 países del mundo en el índice global de competitividad, a su vez, la calidad de la infraestructura en general pasó de ocupar la posición 108 a la 110 (Cámara Colombiana De La Infraestructura, 2016). Un claro ejemplo de la deficiencia en calidad de la infraestructura vial se evidencia en el municipio de Villavicencio; siendo la quinta ciudad con mayor índice de accidentalidad en Colombia (Universidad Nacional de Colombia, 2013), un problema notorio debido a la densidad vehicular que presenta la capital del Meta con respecto a otras ciudades del país.

En los últimos veinticinco años la ciudad de Villavicencio ha incrementado su población en gran magnitud, tanto así que, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), para el año 1993 el censo arrojó un total de 253 780 personas, no obstante, en 2018 la cifra aumentó casi el doble, dando un total de 446 537 personas (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 1993-2018), identificando un aumento de 192 757 individuos en veinticinco años. También la ciudad de Villavicencio ha ido expandiendo su territorio urbano debido al crecimiento de la ciudad, hasta la fecha, el territorio urbano ocupa un área de 1338 km², en donde, el principal factor de crecimiento es la relación directa que tiene Villavicencio con el movimiento económico presentado alrededor del Departamento del Meta y a su vez con Guaviare, Cundinamarca, Casanare, Boyacá y Vichada. Por lo anterior, es evidente que el crecimiento poblacional es inevitable para todas las ciudades y según las estimaciones de población del DANE, para 2025, los habitantes tanto en la zona rural como en el casco urbano serán de 565 661 (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 1993-2018). Por lo tanto, diversos autores como el Observatorio Geográfico de América Latina exponen que el crecimiento poblacional está directamente asociado al crecimiento del parque automotor y al uso del mismo.

De manera que, para el año 2016, el parque automotor en la ciudad de Villavicencio fue de 79 650 vehículos (decibeles, 2016), sin embargo, para el 2018 fue de 142 631 vehículos, por lo tanto, en tan solo dos años, el crecimiento del parque automotor fue de un 79%. Por este motivo, es necesario identificar una solución vial para disminuir las congestiones vehiculares, teniendo en cuenta que a nivel urbano existen diversas soluciones de intercambiadores viales como semáforos, glorietas, T, Y, pasos a desnivel o puentes vehiculares.

En las zonas de estudio, se presentan intersecciones tipo glorietas, las cuales, tienen un movimiento continuo y ordenado, sin embargo, si el flujo vehicular es muy grande, se requiere aumentar el espacio y en caso de que uno de sus brazos esté aproximándose a la capacidad máxima, toda la glorieta no funcionará acorde a la demanda exigida conforme a su capacidad permisible, produciendo congestión vial y accidentalidad (Uribe Celis, 2006). Por ende, hay que tener en cuenta que el concepto de capacidad por sí mismo no describe el funcionamiento de la intersección, pero existe una relación entre el volumen y capacidad que identifica el grado de saturación, en donde, el valor deseable es inferior a 0.85 (Rubio Martín, s.f.). Teniendo en cuenta los conceptos de crecimiento vehicular en las ciudades y patrones de comportamiento con el paso de los años, la infraestructura y la capacidad de las glorietas que presentan un punto de saturación, en el cual dejan de ser funcionales operativamente disminuyendo el nivel de servicio e incrementando el nivel de accidentalidad, siendo un riesgo latente para la seguridad de los usuarios.

Por tal motivo, las glorietas como la de Postobón, la Grama y Séptima brigada en la ciudad de Villavicencio presentan actualmente y a futuro un grado de saturación, el cual, no garantiza una adecuada movilidad relacionada con su parque automotor; como es el caso de la vía Villavicencio-Apiay que tiene conexión directa con la glorieta de la Séptima Brigada con un Tránsito Promedio Diario (TPD) de 13 666 (Ministerio de Transporte, 2021), por lo tanto, cumpliendo la relación de capacidad – volumen, la capacidad mínima que debe tener la glorieta de la Séptima Brigada debe ser para 16 400 vehículos, es decir, el 20% adicional del TPD indicado en la vía de conexión. Por ende, es necesario analizar el comportamiento vehicular que presentan estas obras viales.

Con base a lo anteriormente mencionado, ¿La infraestructura actual de las intersecciones posee la capacidad óptima para el funcionamiento adecuado de acuerdo al flujo vehicular actual y proyectado a 5, 10 y 15 años articulado con el plan de ordenamiento territorial y el plan de desarrollo municipal?

3 Justificación

Hoy en día, las grandes urbes centran su desarrollo económico priorizando inversiones en infraestructura vial que permitan el flujo libre del tránsito y se minimice los problemas de esta índole, esto permite que las ciudades evolucionen a pasos agigantados y su economía se fortalezca en comparación con otras regiones del mundo.

Teniendo en cuenta lo anterior, la ciudad de Villavicencio presenta congestión vial en gran parte de sus vías principales, esto conlleva a que se generen problemáticas de movilidad como accidentes, incomodidad de los usuarios y retraso en los tiempos de flujo, esto se debe al volumen vehicular, el cual es mayor que la capacidad vial, tanto en la hora de máxima demanda (HMD) como a lo largo del día. Lo anterior, se ve reflejado en los datos suministrados por la secretaria de movilidad en la zona de la glorieta de Villacento, por la cual, en el año 2018 transitaron alrededor de 47 000 vehículos diarios según el Tránsito Promedio Diario (TPD) (Villavicencio día a día, 2019), por lo tanto, es necesario identificar los puntos críticos en tema de movilidad en las HMD de la ciudad, por tal motivo, se estudian las intersecciones que actualmente presentan mayor flujo de vehículos como la glorieta Postobón, Séptima Brigada y La Grama. Estas intersecciones presentadas anteriormente, debido al paso de los años, se han visto afectadas por el aumento de la demanda vehicular a tal punto de presentar congestión vial en horarios diferentes a las HMD, incrementando el tiempo de circulación, aumento de accidentes de tránsito y problemas de movilidad a los alrededores.

Con el fin de disminuir esta problemática de movilidad, recientemente el gobierno de Villavicencio ha realizado intervenciones en las intersecciones para mejorar el tránsito de acuerdo al crecimiento del sector, como ha sucedido con la glorieta localizada en la avenida 40. Dicha intervención está descrita de acuerdo al contrato N° 1595 del 2018, el cual tiene por objeto estudios, diseños y rehabilitación de la intersección de la avenida 40 (Mojica Prieto, 2019). A su vez, es de vital importancia tener en cuenta que esta intersección es una conexión dentro del mismo corredor vial de la glorieta Postobón.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario establecer y analizar diversas alternativas para determinar la capacidad vehicular de las intersecciones actuales estudiando la operatividad, seguridad y nivel de servicio proyectado a 5, 10 y 15 años, tiempo necesario para realizar ampliaciones o modificaciones operativas en intersecciones a nivel, proponiendo sus respectivas

soluciones que contrarresten los problemas de la movilidad en las zonas de influencias donde se ubican las glorietas de estudio. Por lo tanto, se pretende determinar la capacidad de las obras viales mediante aforos vehiculares, estos datos permiten establecer un comportamiento del parque automotor en las horas de máxima demanda, y, asimismo, modelar el comportamiento vehicular con ayuda del software Vissim, y finalmente poder generar alternativas que sean óptimas para brindar un buen servicio en la movilidad de Villavicencio.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar la capacidad vehicular del tránsito y el nivel de servicio para las intersecciones ubicadas en Postobón, Séptima brigada y la Grama proyectado a 5, 10 y 15 años.

4.2 Objetivos Específicos

- Calcular la capacidad actual de las glorietas de Postobón, Séptima brigada y la Grama, por medio de los métodos Wardrop, Francés, Danés, Setra y Alemán.
- Estimar la proyección del tránsito vehicular a 5, 10 y 15 años, teniendo en cuenta el crecimiento económico, territorial y demográfico de la región del meta.
- Modelar el volumen vehicular en las intersecciones con base en la infraestructura existente y los años de proyección, por medio del software Vissim.
- Plantear tres alternativas de ampliación y/o mejoramiento, de acuerdo al modelo de tránsito proyectado.
- Comparar el nivel de servicio respecto a la proyección de tránsito vehicular referente a lo proyectado en el Plan de Ordenamiento Territorial actual y las obras en ejecución de Malla Vial del Meta para la ciudad de Villavicencio.

5 Estado del arte

A través de los años la infraestructura vial se ha convertido en una necesidad primordial para el desarrollo económico de la ciudad, por lo tanto, se hace más evidente analizar las intersecciones, específicamente las rotondas, las cuales, son muy comunes en Colombia y principalmente en la ciudad de Villavicencio. Los factores más comunes de estudio que se han realizado en cuanto a glorietas son; la capacidad, operación y nivel de servicio de las mismas, las cuales, sin un manejo óptimo del nivel del parque automotor, proyecciones deficientes de densidad vehicular y errores de diseño, producen congestión vehicular, contaminación auditiva, alta tasa de accidentabilidad y emisiones de gases.

En este orden de ideas, para el año 2018 un grupo de estudiantes de la Universidad la Gran Colombia en Bogotá realizaron un estudio en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 para ayudar a mitigar los problemas anteriormente mencionados, y así mismo, poder brindar un excelente servicio de operabilidad. En el estudio tuvieron en cuenta el número de carriles, el ancho de carriles y el radio de la isleta, consecuentemente, determinaron la hora pico y calcularon la capacidad de la glorieta por métodos no convencionales como el Francés, Danés y Setur (Gomez Patiño & Pulido Contreras, 2018).

En 2015, hicieron una simulación de tráfico en rutas urbanas en Madrid, teniendo en cuenta los semáforos y los cruces, en donde, utilizaron el programa de MATLAB para realizar la simulación de las acumulaciones de vehículos cuando el semáforo se pone en rojo, además tomaron la velocidad media de las zonas del trayecto para la simulación en función del tiempo, y en el programa de ArcGIS hicieron el modelo del circuito urbano para tener toda la información geográfica de las calles y con esta información poder obtener la ruta que analizaron con los respectivos semáforos (Dómine Rueda, 2015).

Durante el mismo año en la Universidad La Gran Colombia realizaron una evaluación en la intersección entre carreras 119 y 121 en la ciudad de Bogotá, en el cual, se hicieron aforos con el fin de determinar los volúmenes vehiculares de la zona e identificar las problemáticas que quieren dar solución, aparte de este método, ingresaron los datos recolectados en un software Synchro, para poder determinar cuáles son las alternativas más viables para el mejoramiento de la movilidad en la intersección, para esto plantearon 3 alternativas, la primera fue la ubicación de un semáforo en el cruce con mayor densidad para evitar embotellamiento, dado que no encuentran

viable esta solución debido a que no se evidencia un cambio significativo, la segunda alternativa fue el diseño de una glorieta, la cual, garantiza el flujo continuo, y la última alternativa fue una conexión elevada, este puente elevado descongestiona el tráfico vehicular, siendo esta la más favorable (Corchuelo Canizales & Piza Becerra, 2015).

En 2019, como trabajo de grado en la Universidad Católica de Colombia en la ciudad de Bogotá, llevaron a cabo un plan de mejoramiento en la intersección autopista sur con calle sur en la localidad de Bosa. A través del desarrollo de aforos encontraron problemas de movilidad y además que el sector de estudio se caracteriza por tener vías poco eficientes, por lo tanto, optaron por la alternativa de un paso a desnivel sin enlace de conexión. Para garantizar la movilidad del vehículo, y luego modelar la alternativa en el software PTV VISSIM 9 (Hernandez León & Perez Rodriguez, 2019).

En el año 2017 realizaron una evaluación de proponer una glorieta para mejorar la movilidad de la intersección en la avenida carrera 50 con avenida calle 24 en la ciudad de Bogotá, mediante la recolección de datos como aforos para conocer el volumen durante las horas picos y la geometría existente de la intersección, para así mismo, elaborar un modelo de simulación en el programa VISSIM, en donde, encontraron que la glorieta tiene como ventaja generar movimiento extra en los carriles visualizando un flujo más constante y menos congestionado (Moncada Granados & Castillo Labrador, 2017).

Para finalizar, en la Universidad Santo Tomás sede Bogotá para el año 2018 realizaron un estudio comparativo entre una glorieta convencional y una glorieta target, el cual, consistía en diseñar geométricamente la glorieta target y a partir de las características tomadas en campo y con las proyecciones del tráfico a 5, 10 y 20 años modelar en el programa VISSIM, encontrando una reducción del 33% en los puntos de conflictos implementando la glorieta target con respecto a la glorieta convencional y la eliminación de las zonas de entrecruzamiento, por lo tanto, este sistema de glorieta es más seguro para su operación que el inicial desde el punto de vista de seguridad vial (Dueñas Bohórquez & Sosa Martínez, 2018).

6 Marco de referencia

6.1 Marco teórico

Existen diversos autores y teorías para la modelación del tránsito en intersecciones; en el presente capítulo se muestran los modelos recomendados y utilizados por la Unión Europea y la AASHTO para describir el comportamiento a futuro en función de datos estadísticos y medidas geométricas.

6.1.1 Métodos para determinar la capacidad de una glorieta

A continuación, se presentan los modelos estadísticos y matemáticos para describir el comportamiento, capacidad y nivel de servicio implementados en el proyecto.

6.1.1.1 Método Wardrop

Para el diseño de una glorieta se requiere un previo estudio de tránsito, para así mismo, según el Manual INVIAS 2008 calcular la capacidad de la sección de entrecruzamiento utilizando la expresión de Wardrop:

$$Qp = \left[160W \left(1 + \left(\frac{e}{W} \right) \right) \right] / \left(1 + \frac{W}{L} \right)$$

$$e = (e1 + e2)/2$$

(Instituto Nacional de Vías, 2008)

Donde:

Qp: Capacidad de la sección de entrecruzamiento, como tránsito mixto, en vehículos / hora.

W: Ancho de la sección de entrecruzamiento, en metros.

E: Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, en metros.

E1, e2: Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento, en metros.

L: Longitud de la sección de entrecruzamiento, en metros.

6.1.1.2 Método francés

En Francia, el cálculo de la capacidad de una glorieta consiste en analizar cada uno de los ramales que la conforman y mediante procedimientos iterativos garantizar un eficiente uso y funcionamiento. El método francés trata a los vehículos en movimiento como un tráfico molesto a través del anillo central. Este método analiza cada ramal de entrada a la glorieta para verificar que la intensidad entrante no supere la capacidad máxima del ramal, siendo 1500 vh/h la capacidad máxima estándar establecida por este método para cada acceso a la glorieta (Martín Gasulla, 2011).

$$Q_e = 1500 - K \left[\frac{5}{6} * (Q_c + 0,2 * Q_s) \right]$$

Dónde:

Q_e = Capacidad de la entrada en vh. Ligeros equivalentes/h

Q_c = Tráfico que circula por la calzada anular, delante de la entrada en vh. Ligeros equivalentes/h

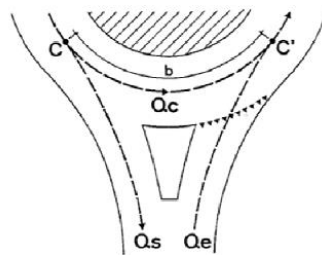
Q_s = Tráfico de salida en el ramal analizado vl/h

K = Coeficiente de corrección de acuerdo a la geometría:

- 0.90 en glorietas diámetro pequeño (10-30 m), con anchura en el anillo de dos carriles de al menos 8 metros, en donde, se puede ocasionar dos filas de entrada.
- 0.70 si se trata de glorietas de mayor diámetro, con calzada anular de al menos 8 metros.

Cuando se tiene una calzada de entrada de doble circulación aumentara la capacidad de la misma en un 40%, por tal forma, se debe multiplicar por un factor de 1.40.

Figura 1 Variables para la capacidad método francés



Nota: Variables para calcular la capacidad de una glorieta por medio del método francés. Adaptado de (Martín Gasulla, 2011)

6.1.1.3 Método Danés

El método danés utiliza una relación exponencial de la siguiente forma.

$$Q_e = Q_c * \left[\frac{e^{\frac{-Q*T}{3}}}{1 - e^{\frac{-Q*T}{3}}} \right]$$

Donde:

Q_e = Capacidad de la lectura en, en vh/h

Q_c =Flujo anular en veh/h

Para reemplazar las variables T y D se deben obtener los valores de la Tabla 1.

Tabla 1 Parámetros para el cálculo de la capacidad

	Vía de entrada		Vía de salida
	Vehículo - vehículo	Vehículo con ciclista o peatón	Vehículo con ciclista o peatón
T(s)	3.5-4.0	2.5	2.5
D(s)	2.8	2.8	2.0

Nota: Parámetros para la capacidad por medio del método danés. Adaptado de (Martín Gasulla, 2011)

6.1.1.4 Método Setur

El Setur publicó en 1987 un método simple que consiste en el cálculo de la capacidad de los accesos a la glorieta.

$$C = (1330 - 0,7 * Q) * (1 + 0,1 * (e - 3,5))$$

Donde:

C= Capacidad de la entrada en veh/h

Q= Trafico molesto en v/h que es igual a la suma del tráfico circulante (Q_c) y el tráfico saliente (Q_s)

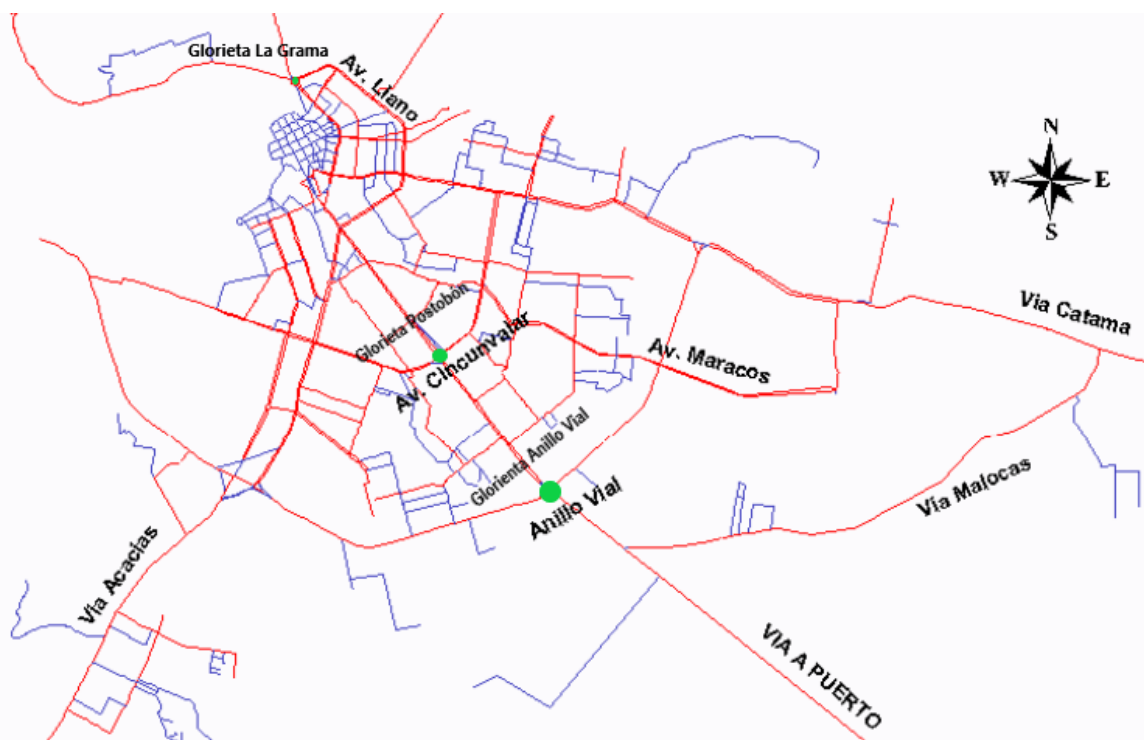
e= Anchura de la entrada medida desde ceda el paso. (Martín Gasulla, 2011)

6.2 Marco Geográfico

La ciudad de Villavicencio se encuentra ubicada en la región de la Orinoquía Colombiana, es la capital del departamento del Meta, su elevación media es 467 msnm y se encuentra en las coordenadas 04°09 N 73°38 O. El municipio posee gran movimiento económico debido a su proximidad (86 km) con la ciudad de Bogotá D.C, tiene una superficie de 1 328 km² y 452.472 habitantes. Limita al norte con los municipios de Restrepo y El Calvario, oriente con Puerto López, sur con Acacías y San Carlos de Guaroa y occidente con Acacías y el Departamento de Cundinamarca (Alcaldía de Villavicencio, 2021).

Villavicencio al ser una ciudad con potencial turístico y económico, necesita una red vial adecuada al paso de los años, en la Figura 2 se muestra la infraestructura vial perteneciente a rutas nacionales, arterias principales y vías complementarias.

Figura 2 Ubicación glorietas



Nota: Plan de movilidad de la ciudad de Villavicencio fase 1: caracterización de la movilidad. Adaptado de (Ivarsson & Asociados, 2017)

6.2.1 Identificación de la zona de estudio

Para la elección de las zonas de estudio, se tiene en cuenta la distribución del comercio, la movilidad y las vías principales de la ciudad de Villavicencio, factores que incrementan la densidad vehicular a gran escala en estas zonas en las horas pico del día.

6.2.1.1 Glorieta la grama

Se encuentra ubicada al noroccidente de la ciudad de Villavicencio en el barrio La Grama, presenta condiciones a desnivel, debido a la topografía del sector, por lo cual, incrementa la dificultad de maniobrabilidad en los vehículos al entrar en la intersección. Por otra parte, es una de las intersecciones más importantes, ya que pertenece al corredor de la vía antigua Bogotá - Villavicencio, siendo esto un factor determinante para que los vehículos de carga pesada transiten con regularidad por la glorieta, a su vez, también es partícipe indirectamente en el corredor Villavicencio - Yopal, el cual se encuentra en procesos constructivos. Así mismo, el comercio en los barrios aledaños atrae gran cantidad de vehículos en las horas pico.

Figura 3 Glorieta la Grama



6.2.1.2 Glorieta Postobón

Esta intersección se encuentra ubicada en la parte central de la ciudad de Villavicencio, es parte importante en la movilidad debido a que intercepta varias vías principales, tales como la Avenida Circunvalar o calle 15; que comunica con el sector de Villacentro y la Avenida 40, la Carrera 33; la cual conduce hacia el Centro de la ciudad y la Carrera 22; que conecta el flujo vehicular desde la salida hacia Puerto López con el Centro. Cuenta con un puente vehicular sin orejas. El parque automotor de esta intersección es elevado debido al movimiento económico a su alrededor; grandes empresas como Postobón y Coca-Cola tienen ubicados sus puntos de distribución de productos para toda la ciudad en cercanías a la glorieta. A su vez, el sector de la institucionalidad genera incremento en el tráfico vehicular, ya que, en la zona, están asentadas varias instituciones educativas.

Figura 4 Glorieta Postobón

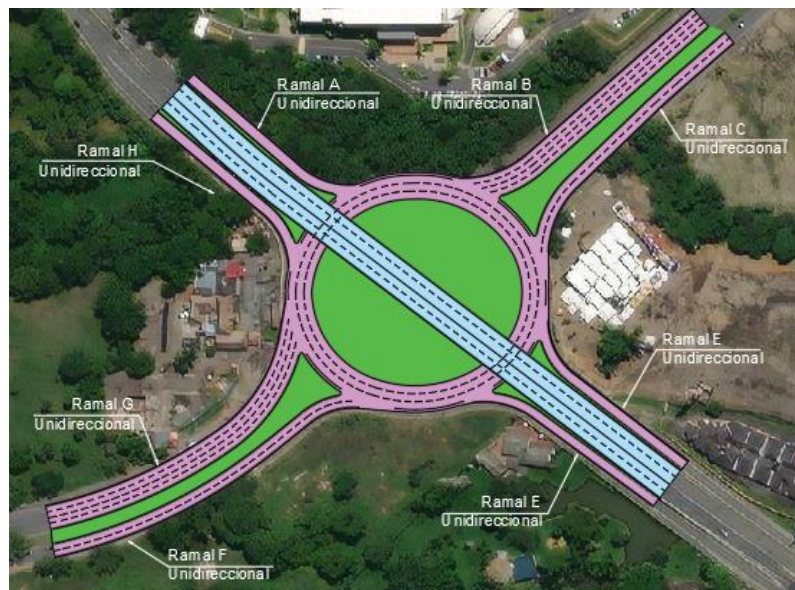


6.2.1.3 Glorieta de la séptima brigada

Esta intersección está ubicada en la parte baja de la ciudad de Villavicencio, entre la Universidad Santo Tomás y la Brigada Séptima del Ejército Nacional. Probablemente sea la intersección más importante en la ciudad, debido a su posición estratégica, ya que esta glorieta es parte del proyecto Malla Vial del Meta; el cual comunica Granada - Villavicencio - Puerto Gaitán, atravesando la capital del Meta por la Avenida Anillo Vial. Así mismo, está presente en la conexión Bogotá - Villavicencio - Yopal. Por lo tanto, la glorieta de la Séptima Brigada, está presente en

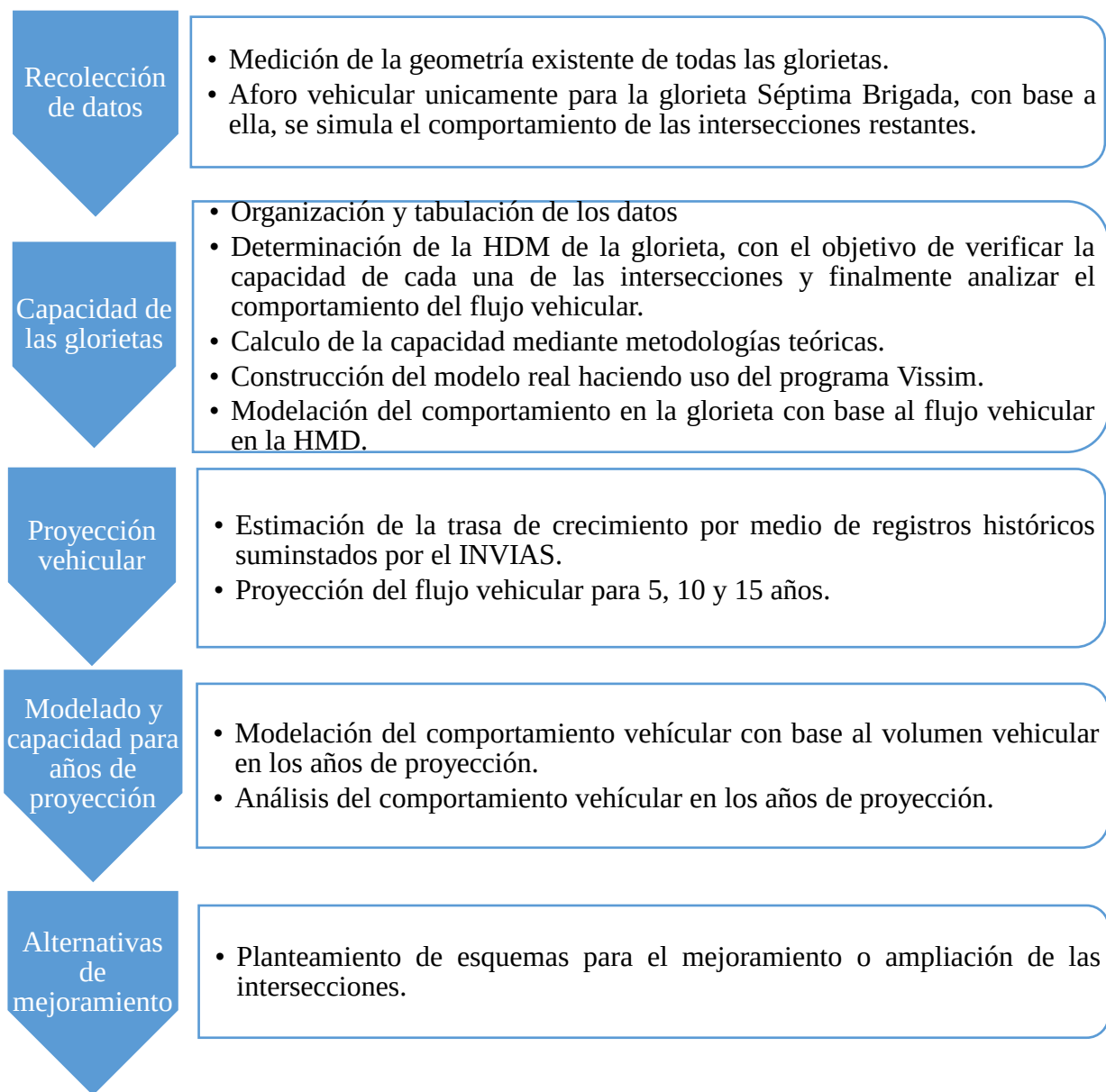
dos proyectos de gran envergadura, los cuales van a generar un aumento súbito en el volumen del parque automotor, siendo este el desarrollo vial más importante en la historia del Meta y de su capital. Sin embargo, actualmente el tránsito del sector es elevado producto de las conexiones principales en la malla vial del municipio, la presencia de instituciones educativas como la Universidad Santo Tomás o la Brigada Séptima del Ejército Nacional y centros de comercio como Llano abastos.

Figura 5 Glorieta Séptima brigada



7 Metodología

En principio, el proyecto de investigación se basa en un enfoque mixto, es decir, recolecta, tabula y organiza datos numéricos con el fin de analizar el comportamiento que tiene el tránsito vehicular en las intersecciones de estudio. A continuación, se da a conocer la metodología que se aplicará para dar con el alcance de la investigación.



8 Análisis y resultados

8.1 Caracterización de las glorietas

En primer lugar, se realiza la caracterización de las glorietas, para ello, se mide en campo la composición geométrica de la infraestructura de las intersecciones. Con el fin de evitar un volumen considerable, las mediciones se realizaron a las 4am, esto facilitó la práctica, haciéndola cómoda y segura.

8.1.1 Glorieta Séptima Brigada

Tabla 2 Caracterización de la glorieta Séptima Brigada

Glorieta Séptima Brigada				
Ramal	Sentido	# Carril	Ancho carril (m)	Ancho Berma (m)
A	Salida	1	5.53	0.3
B	Entrada	4	3.68	0.4
C	Salida	2	3.4	0.4
D	Entrada	1	4.4	0.4
E	Salida	1	4.4	0.4
F	Entrada	2	3.18	0.5
G	Salida	4	3.68	0.4
H	Entrada	1	5.25	0.34
ROTONDA		3	4.2	1.4
PUENTE	Bidireccional	2 por sentido	4.2	0.4

Nota: Recolección de datos geométricos en campo.

8.1.2 Glorieta Postobón

Tabla 3 Caracterización de la glorieta Postobón

Glorieta Postobón				
Ramal	Sentido	# Carril	Ancho carril (m)	Ancho Berma (m)
A	Salida	1	4.14	2
B	Entrada	2	3.6	2
C	Salida	2	3.6	2
D	Entrada	1	3.35	2.67
E	Salida	1	3.6	1.9
F	Entrada	2	3.6	2
G	Salida	2	3.6	2
H	Entrada	1	3.27	2.7
ROTONDA		3	3.9	0.4
PUENTE	Bidireccional	2 por sentido	3.5	0.4

8.1.3 Glorieta La Grama

Tabla 4 Caracterización de la glorieta La Grama

Glorieta La Grama				
Ramal	Sentido	# Carril	Ancho carril (m)	Ancho Berma (m)
A	Entrada	1	3.54	1
B	Salida	2	3.54	1
C	Entrada	1	4.52	
D	Salida	1	4.52	
E	Salida	1	3.84	0.5
F	Entrada	2	4.1	0.6
G	Salida	2	4.2	0.45
H	Entrada	1	5.4	0.2
I	Salida	1	5.7	
J	Salida	1	6.5	1
K	Salida	1	3.2	
ROTONDA		3	3.8	0.3

Nota: Recolección de datos geométricos en campo.

8.2 Recolección de datos preliminares para el estudio de la glorieta Séptima Brigada.

La glorieta de la Séptima Brigada posee ocho (8) ramales, cuatro (4) de entrada y cuatro (4) de salida, por lo tanto, se plantea realizar los aforos por medio de una persona por cada ramal en un periodo de cuatro horas, iniciando el conteo a las 5:30 am hasta las 8:30 pm. El aforo se realiza un sábado, esto debido a que es el día de la semana en que la reglamentación del pico y placa no afecta la movilidad, por ende, a lo largo del día, los vehículos tienen la libertad de transitar por la ciudad sin ningún problema.

Figura 6 Medición de la infraestructura y aforo



8.3 Cálculo de la capacidad vehicular actual de la glorieta Séptima Brigada por medio de métodos teóricos.

Teniendo en cuenta los aforos realizados, se cuantifican y organizan los datos por cada uno de los ramales de la glorieta Séptima Brigada, esto representa el primer paso para determinar la capacidad de la intersección.

8.3.1 Estimación de datos faltantes.

Consecuentemente a la tabulación de los datos, se evidencian algunos errores y datos faltantes en los registros a lo largo del día, por lo tanto, es necesario efectuar un ajuste de datos. Para ello, se emplea una igualdad o balance del volumen vehicular, en teoría la sumatoria de entradas es igual al de las salidas, por lo tanto:

$$RB + RD + RF + RH = RA + RC + RE + RG$$

Se despeja la variable en consideración y se ajustan los datos. (Ver anexo1)

8.3.2 Volumen vehicular total de la glorieta séptima brigada

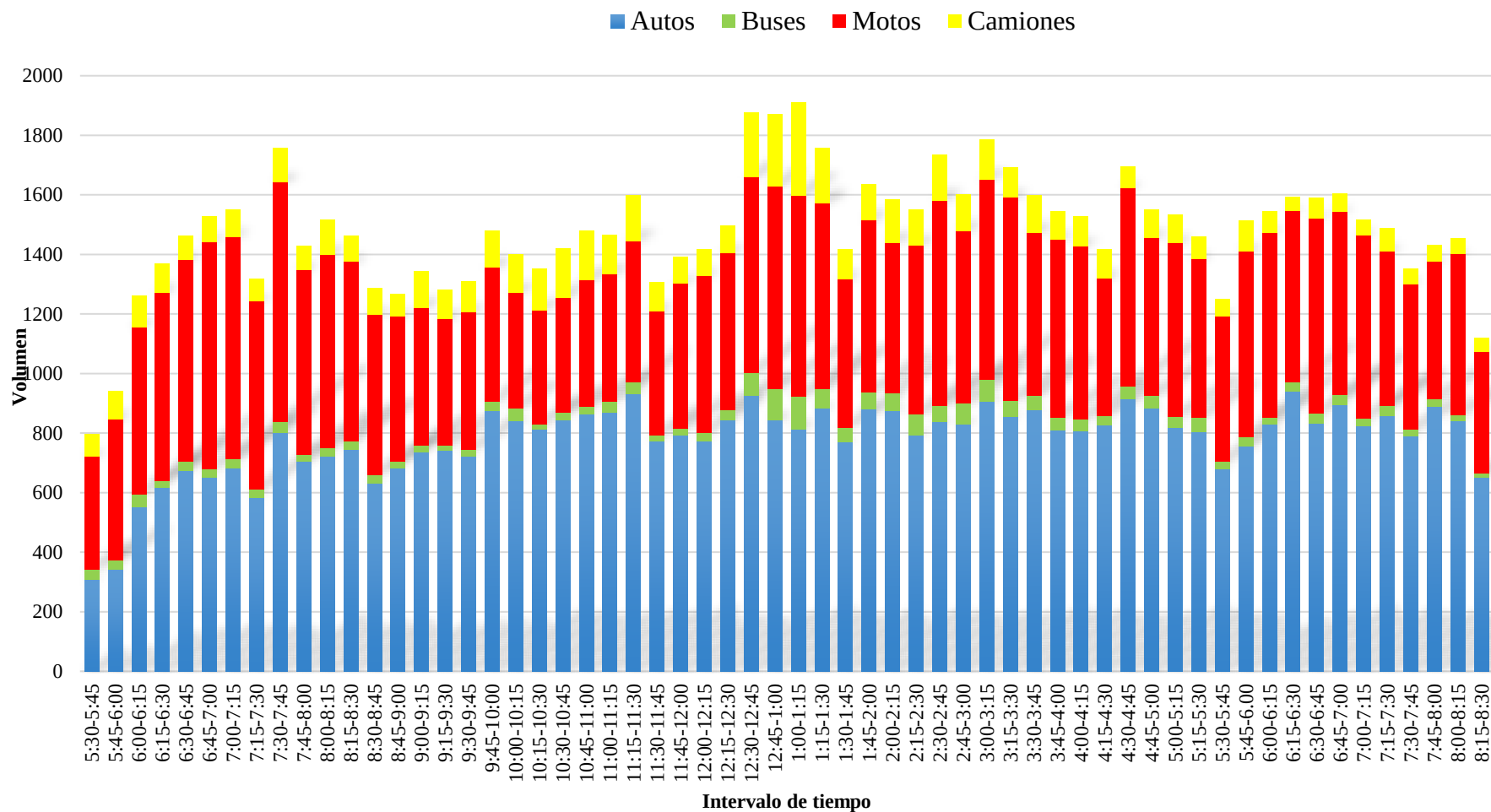
Debido a que los conteos se realizan tanto para ramales de entrada como de salida, se procede a elegir el que mayor volumen vehicular presente, es decir, el conteo por sentido que obtenga el número más alto de vehículos, esto con el fin de tener el valor más representativo a la hora de cuantificar, analizar y utilizar en los modelados de tránsito. (Ver anexo 1)

8.3.2.1 Composición total por tipo de vehículos en los ramales de entrada.

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 46 837, seguidos por las motos con 33 324, camiones y vehículos de carga pesada con 6 438 y por ultimo los buses con 2 298, para un total de 86 699 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2).

8.3.2.2 Comportamiento del flujo

Figura 7 Volumen vehicular total glorieta Séptima Brigada



Nota: Comportamiento vehicular durante las horas aforadas del día sábado.

La Figura 7 muestran el comportamiento del flujo vehicular a lo largo del día, en la cual se evidencia la tendencia de puntos críticos u hora máxima de demanda en tres segmentos del día, en la mañana de 7:00am a 8:00am, al medio día entre 12:30pm a 1:30pm y en la tarde – noche desde las 5:45pm hasta las 6:45pm. Esta conducta es típica en ciudades con gran movimiento económico, que están sujetas a espacios propicios para el desplazamiento en horas de almuerzo. A su vez, se puede observar un comportamiento homogéneo por parte de los autos, sin embargo, las motocicletas tienden a fluctúan con respecto a las horas pico y valle. En lo que respecta a los vehículos de carga pesada, se puede mencionar que la glorieta es un paso obligado para todo tipo de camión, esto se debe a las disposiciones del gobierno municipal que impiden el tránsito de estos vehículos por otros sectores de la ciudad y, adicionalmente, la intersección está en el mismo corredor vial que une la vía Bogotá – Villavicencio al sector Chirajara – Fundadores, y la salida hacía las zonas petroleras como Puerto Gaitán.

8.3.2.3 Composición de vehículos por ramal de entrada

El total de vehículos en la glorieta Séptima Brigada, está constituida por vehículos pertenecientes a únicamente los ramales de entrada, por lo tanto, en la Tabla 5 se deja en evidencia el porcentaje de vehículos que aporta cada ramal.

Tabla 5 Composición de vehículos por ramal

Vehículos por ramales de entrada		
Ramal	Total de vehículos	%
Ramal B	29 600	33%
Ramal D	17 060	19%
Ramal F	27 141	31%
Ramal H	15 096	17%
Total	88 897	100%

Los ramales B y F poseen la mayor cantidad de vehículos debido a que hacen parte de del corredor Anillo vial, así mismo, el número de carriles influyen en la atracción del tránsito, esto quiere decir que, mientras que los ramales B y F tiene 4 y 2 carriles respectivamente, los ramales D y H solamente se componen de un solo carril. Por lo tanto, el volumen vehicular de estos últimos ramales, siempre será menor.

8.3.2.4 Hora de máxima demanda u hora pico glorieta total

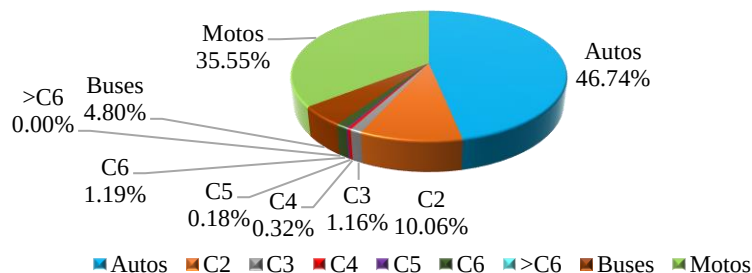
Como se menciona anteriormente, la glorieta Séptima Brigada tiene tres puntos de gran demanda a lo largo del día, sin embargo, en todo comportamiento vehicular, existe un lapso de 60 minutos en el cual, el flujo vehicular será mayor que en otro momento del día, esto se denomina hora de máxima demanda (HMD).

Tabla 6 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda de la glorieta Séptima Brigada

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		926	163	26	5	4	20	0	77	656	7415
12:45-1:00		843	185	19	6	3	28	0	105	681	
1:00-1:15		814	251	29	7	4	22	0	108	676	
1:15-1:30		883	147	12	6	2	18	0	66	623	
TOTAL		3466	746	86	24	13	88	0	356	2636	
%		46.74%	10.06%	1.16%	0.32%	0.18%	1.19%	0.00%	4.80%	35.55%	

La Tabla 6 muestra que la hora de máxima demanda se presenta al medio día, entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, siendo esto lógico o acorde al comportamiento de un día sábado, puesto que, los habitantes en su mayoría, finalizan jornada laboral y se disponen a regresar a sus viviendas, a su vez, es la hora típica del almuerzo, por lo tanto, las personas suelen salir de la ciudad a restaurantes campestres y así pasar su tarde o el restante del día en familia. Por último, el día sábado no presenta restricción de pico y placa.

Figura 8 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda



8.3.3 Ramal A

8.3.3.1 Composición de vehículos del ramal A

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 7 644, seguidos por las motos con 4 885, camiones y vehículos de carga pesada con 667 y por ultimo los buses con 86, para un total de 13 282 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.3.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal A

Con base a las ilustraciones del ramal A (Ver anexo 2) se puede evidenciar un comportamiento homogéneo de autos en algunos lapsos del día, a su vez, las motocicletas presentan su mayor flujo entre las 7:30am hasta 8:30am. En este ramal, es evidente la presencia de segmentos valle en la mañana de 9:00am a las 9:30am y en la tarde de 5:00pm a 5:30pm, debido a que en estos puntos el volumen vehicular es muy escaso. La presencia de buses es mínima y, así mismo, los vehículos de carga pesada tampoco transitan con un volumen considerable por el ramal A. El comportamiento de este ramal obedece principalmente a que su trayectoria que conduce hacia centros de educación superior, universidades y diversos sectores de gran movimiento económico, sin embargo, no está presente una ruta de transporte publico tipo bus por la zona.

8.3.3.3 Hora máxima de demanda u hora pico

El ramal A, como todos los ramales, tiene su propio comportamiento en cuanto al flujo vehicular, sin embargo, esta conducta está ligada a la hora de máxima demanda de toda la glorieta, como se muestra en la Hora de máxima demanda u hora pico de la glorieta total. Por lo tanto, el ramal de salida A aporta 982 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal A

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL A											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		143	15	0	0	1	1	0	0	83	982
12:45-1:00		126	11	0	0	0	0	0	2	88	
1:00-1:15		150	13	0	0	0	1	0	1	99	
1:15-1:30		150	5	0	0	0	0	0	1	92	
TOTAL		569	44	0	0	1	2	0	4	362	
%		57.94%	4.48%	0.00%	0.00%	0.10%	0.20%	0.00%	0.41%	36.86%	

Como se puede apreciar, los vehículos tipo auto y motocicleta constituyen casi el 95% de la totalidad, por lo tanto, se puede inferir que este ramal redirecciona el tránsito hacía zonas comerciales e institucionales.

Consecuentemente, se calcula el factor de máxima demanda que, en este caso, el valor tiende a la unidad, lo que significa que el flujo es uniforme.

$$FHMD = 0.93$$

8.3.4 Ramal B

8.3.4.1 Composición de vehículos del ramal B

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 15 082, seguidos por las motos con 11 354, camiones y vehículos de carga pesada con 2 179 y por ultimo los buses con 8985, para un total de 29 600 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.4.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal B

Las gráficas del comportamiento (Ver anexo 2) indican que el ramal B tiene su máxima demanda en las horas de la mañana, entre las 6:00am hasta las 7:00am. Consecuentemente, el flujo de autos es homogéneo y predomina a lo largo del día. En lo que respecta las motocicletas, se evidencia una ligera fluctuación en segmentos pico y valle, a su vez, el tránsito de cargamento pesado es más evidente que en otros ramales, esto debido a que el ramal B pertenece al corredor anillo vial. Por último, es notorio un incremento en los buses, sin embargo, estos en su mayoría

pertenecen a empresas de transporte intermunicipal y nacional, por lo cual, se evidencia la ausencia de transporte municipal.

8.3.4.3 Hora de máxima demanda u hora pico

El ramal de entrada B aporta 2 188 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal B

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL B											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		314	19	4	2	1	4	0	10	185	2188
12:45-1:00		277	28	4	0	0	9	0	12	201	
1:00-1:15		234	29	2	0	1	5	0	13	249	
1:15-1:30		289	26	4	1	1	7	0	11	246	
TOTAL		1114	102	14	3	3	25	0	46	881	
%		50.91%	4.66%	0.64%	0.14%	0.14%	1.14%	0.00%	2.10%	40.27%	

En el Ramal B, en la hora de máxima demanda de la glorieta Séptima Brigada, entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, se puede evidenciar que la tendencia predomina para autos y motocicletas, formando en conjunto el 91% de la totalidad, adicionalmente, los vehículos de cargamento pesado constituyen alrededor de un 7%.

Consecuentemente, se calcula el factor de máxima demanda, el cual, representa la uniformidad del flujo vehicular, siendo en este caso uniforme, indicando una demanda constante.

$$FHMD = 0.935$$

8.3.5 Ramal C

8.3.5.1 Composición de vehículos del ramal C

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 12 186, seguidos por las motos con 9 447, camiones y vehículos de carga pesada con 1150 y por ultimo los buses con 798, para un total de 23 981 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.5.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal C

Con base a las ilustraciones del ramal A (Ver anexo 2) se evidencia que su intervalo de máxima de manda se da entre las 12:30 a la 1:30, el volumen vehicular es alto, el comportamiento de buses es homogéneo mientras que los autos y motos fluctúan de acuerdo a las horas pico y valle. Los vehículos de cargamento pesado tienen un comportamiento regular, pero con poco volumen a lo largo del día.

8.3.5.3 Hora de máxima demanda u hora pico

El ramal de salida C tiene un volumen de 1 902 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal C

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL C											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		206	20	6	1	4	5	0	11	207	1902
12:45-1:00		260	21	5	1	2	2	0	5	165	
1:00-1:15		240	21	3	1	0	1	0	15	191	
1:15-1:30		245	30	5	0	2	3	0	10	214	
TOTAL		951	92	19	3	8	11	0	41	777	
%		50.00%	4.84%	1.00%	0.16%	0.42%	0.58%	0.00%	2.16%	40.85%	

Se puede apreciar que en la hora pico de la glorieta Séptima Brigada, predominan en el ramal C el flujo de autos con un 50% y las motocicletas con 40.85% del total de vehículos que circulan por dicho ramal. Los buses y vehículos de carga pesada complementan el total con 2.16% y 7% respectivamente.

8.3.6 Ramal D

8.3.6.1 Composición de vehículos del ramal D

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 8 804, seguidos por las motos con 6 919, camiones y vehículos de carga pesada con 1128 y por ultimo los buses con 212, para un total de 17060 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.6.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal D

El flujo del ramal D (Ver anexo2), muestra un comportamiento similar al que presenta la glorieta total, puesto que se evidencian tres picos de mayor demanda, en la mañana de 7:00am a 8:pm, al medio día entre las 12:45pm hasta la 1:45 y en la noche de 5:45 a 6:45. En las horas de la mañana, se puede observar que predomina el volumen de motocicletas, sin embargo, en el restante del día, los autos presentan un fuerte incremento, consecuentemente, el ramal D conecta a la glorieta con la vía nacional que conduce hacia Puerto López y Puerto Gaitán, los cuales, son municipios agricultores y petroleros, por tal motivo, el volumen de vehículos de carga pesada tiende a ser mayor que en otros ramales que presentan un solo carril.

8.3.6.3 Hora de máxima demanda u hora pico

El ramal de entrada D tiene un volumen de 1 902 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal D

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL D											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		161	15	3	0	0	4	0	6	135	1221
12:45-1:00		122	15	3	0	0	2	0	1	132	
1:00-1:15		157	20	2	0	0	8	0	1	135	
1:15-1:30		165	10	2	1	0	6	0	3	112	
TOTAL		605	60	10	1	0	20	0	11	514	
%		49.55%	4.91%	0.82%	0.1%	0.00%	1.64%	0.00%	0.90%	42.10%	

Se puede apreciar que, en la hora pico de la glorieta Séptima Brigada, predominan en el ramal D el flujo de autos con un 49.55% y las motocicletas con 42.10% del total de vehículos que circulan por dicho ramal. Los buses presentan un escaso 0.9%, debido a que, en el sistema de transporte de la ciudad, no se contempla el paso de buses públicos por la glorieta, sin embargo, los buses públicos hacen el cruce directamente por el puente vehicular que se encuentra adyacente a los ramales D, E, H y A. Por último, los vehículos de carga pesada conforman el 7.49% restante.

Consecuentemente, se encuentra el factor de máxima demanda, representando en este ramal un flujo uniforme, es decir, los vehículos que transitan en esa hora en intervalos de 15 min se movilizan constantemente, indicando una demanda constante.

$$FHMD = 0.942$$

8.3.7 Ramal E

8.3.7.1 Composición de vehículos del ramal E

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 8 329, seguidos por las motos con 7 390, camiones y vehículos de carga pesada con 1017 y por ultimo los buses con 246, para un total de 16 982 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.7.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal E

En las gráficas del comportamiento (Ver anexo 2) se puede apreciar un comportamiento con dos picos, en la mañana de 6:30am a 7:30 am y al medio día entre las 12:15pm hasta la 1:15pm,

a su vez, en las horas de la tarde noche, se evidencia un flujo vehicular similar desde las 4:30pm hasta las 7:30. En cuanto a composición de vehículos, se evidencia que el número de motos en un segmento de 15 minutos, es mayor a cualquier otro tipo de vehículo, sin embargo, a lo largo del día, los autos son más constantes, por lo tanto, al finalizar los conteos, presentan mayor numero acumulado.

8.3.7.3 Hora de máxima demanda u hora pico

El ramal de salida E tiene un volumen de 1 902 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal E

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL E											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		175	8	2	0	3	4	0	5	140	1324
12:45-1:00		160	10	3	0	0	4	0	3	138	
1:00-1:15		175	13	0	0	1	2	0	5	139	
1:15-1:30		198	8	0	0	2	2	0	7	117	
TOTAL		708	39	5	0	6	12	0	20	534	
%		53.47%	2.95%	0.38%	0.00%	0.45%	0.91%	0.00%	1.51%	40.33%	

Se puede apreciar que, en la hora pico de la glorieta Séptima Brigada, predomina en el ramal E, el flujo de autos con un 53.47% y las motocicletas con 40.33% del total de vehículos que circulan por dicho ramal. Los buses presentan 1.51%, lo que significa un ligero aumento con respecto a otros ramales. Por último, la cantidad de vehículos de carga pesada disminuyen aun 4.69%.

Los vehículos que transitan en esa hora en intervalos de 15 min se movilizan constantemente, indicando una demanda constante.

$$FHMD = 0.982$$

8.3.8 Ramal F

8.3.8.1 Composición de vehículos del ramal F

A lo largo del día, los autos predominan, con un total de 13 643, seguidos por las motos con 10 054, camiones y vehículos de carga pesada con 2 493 y por ultimo los buses con 951, para un total de 27 141 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.8.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal F

El ramal F, tiene un comportamiento muy diferente en relación con el flujo de la glorieta y cada uno de los ramales individuales (Ver anexo 2), se puede observar que entre las 12:30pm y la 1:30pm, se presenta una conducta anormal en vehículos de carga pesada, que no se ve reflejada en otro ramal, por lo tanto, se puede inferir que, los camiones de cargamento pesado, tienden a distribuirse equitativamente en los ramales de salida E, C y G, lo anterior, se debe a que son ramales que redireccionan el tránsito hacia arterias de movilidad importante en la ciudad como la consecución del anillo vial o las salidas de la ciudad.

8.3.8.3 Hora de máxima de manda u hora pico

El ramal de entrada F tiene un volumen de 2 692 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal F

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL F											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		215	115	19	3	2	12	0	60	203	2692
12:45-1:00		240	125	12	5	3	15	0	90	237	
1:00-1:15		265	196	25	7	3	8	0	92	202	
1:15-1:30		220	95	5	4	1	3	0	50	160	
TOTAL		940	531	61	19	9	38	0	292	802	
%		34.92%	19.73%	2.27%	0.71%	0.33%	1.41%	0.00%	10.85%	29.79%	

Se puede apreciar que, en la hora pico de la glorieta Séptima Brigada, predomina en el ramal F, el flujo de autos con un 34.92% y las motocicletas con 29.79% del total de vehículos que circulan por dicho ramal. Los buses presentan un aumento significativo con 10.85%, a su vez, los vehículos de carga pesada, incrementan su volumen a un total de 24.45%.

Consecuentemente, se calcula el factor de hora de máxima demanda, el cual, representa un flujo uniforme, sin embargo, no de manera constante, es decir, existe un intervalo, en el cual, transitan una cantidad significativa de vehículos en comparación de los otros intervalos.

$$FHMD = 0.843$$

8.3.9 Ramal G

8.3.9.1 Composición de vehículos del ramal G

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 16 241, seguidos por las motos con 11 984, camiones y vehículos de carga pesada con 1719 y por ultimo los buses con 707, para un total de 30 651 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.9.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal G

Se puede observar que el ramal G (Ver anexos 2) presenta una conducta heterogénea, es decir, tiene gran cantidad de fluctuaciones en el volumen vehicular, la razón principal a este comportamiento, puede definirse por el método de ajuste de datos, ya que en dicho ramal de 5:30am a 9:30am no se logró realizar el aforo.

8.3.9.3 Hora de máxima demanda u hora pico

El ramal de salida G tiene un volumen de 1 327 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal G

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL G											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		203	23	3	2	0	3	0	11	120	1327
12:45-1:00		205	8	0	0	0	1	0	7	110	
1:00-1:15		204	3	3	0	4	3	0	8	110	
1:15-1:30		180	2	2	0	1	2	0	14	95	
TOTAL		792	36	8	2	5	9	0	40	435	
%		59.68%	2.71%	0.60%	0.15%	0.38%	0.68%	0.00%	3.01%	32.78%	

Se puede apreciar que, en la hora pico de la glorieta Séptima Brigada, predomina en el ramal F, el flujo de autos con un 59.68% y las motocicletas con 32.78% del total de vehículos que circulan por dicho ramal. Los buses presentan una disminución significativa con respecto al ramal F, teniendo un valor de 3.01%, a su vez, los vehículos de carga pesada, no representan una proporción considerable en el total del flujo vehicular del ramal G.

Consecuentemente, se calcula el factor de hora de máxima demanda, lo cual, representa un flujo uniforme, indicando una demanda constante.

$$FHMD = 0.909$$

8.3.10 Ramal H

8.3.10.1 Composición de vehículos del ramal H

A lo largo del día, los autos son predominantes, con un total de 9 308, seguidos por las motos con 5 000, camiones y vehículos de carga pesada con 638 y por ultimo los buses con 150, para un total de 15 096 vehículos circulando entre las 5:30 am hasta las 8:30 pm. (Ver anexo 2)

8.3.10.2 Comportamiento del flujo vehicular del ramal H

Se observa que el ramal H tiende a tener un solo comportamiento pico en las horas del mediodía, consecuentemente, es evidente que los autos predominan desde mediados de la mañana, las motocicletas se comportan de acuerdo al flujo total de toda la glorieta. Por otra parte, los vehículos de carga pesada y los buses no tienen alta presencia en el ramal, esto se debe a la presencia

del puente adyacente a los ramales A, D, E y H, puesto que la estructura permite que los buses y camiones crucen inmediatamente y no sean obligados a pasar por la intersección.

8.3.10.3 Hora de máxima demanda u hora pico

El ramal de salida G tiene un volumen de 1 327 vehículos entre las 12:30pm hasta la 1:30pm, constituidos por tipo como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 Porcentaje de vehículos en la hora de máxima demanda del ramal H

PORCENTAJE DE VEHICULOS EN LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA RAMAL H											
Periodo de 15min		Autos	C2	C3	C4	C5	C6	>C6	Buses	Motos	Total vehículos
Inicio	Fin										
12:30-12:45		236	14	0	0	1	0	0	1	133	
12:45-1:00		204	17	0	1	0	2	0	2	111	
1:00-1:15		158	6	0	0	0	1	0	2	90	
1:15-1:30		209	16	1	0	0	2	0	2	105	
TOTAL		807	53	1	1	1	5	0	7	439	
%		61.42%	4.03%	0.1%	0.1%	0.1%	0.38%	0.00%	0.53%	33.41%	

Se puede apreciar que, en la hora pico de la glorieta Séptima Brigada, predomina en el ramal H, el flujo de autos con un 61.42% y las motocicletas con 33.412% del total de vehículos que circulan por dicho ramal. Los buses presentan una disminución significativa con respecto a los demás ramales, con un valor de 0.53%, a su vez, los vehículos de carga pesada en su mayoría están representados por los C2 con 4.03% del total de vehículos en la hora de máxima demanda.

Consecuentemente, se calcula el factor de hora de máxima demanda, el cual, representa un flujo uniforme, sin embargo, existe un intervalo, en el cual, transitan una cantidad significativa de vehículos en comparación de los otros intervalos.

$$FHMD = 0.853$$

8.3.11 Capacidad de la glorieta Séptima Brigada.

Teniendo en cuenta los datos de los aforos vehiculares, se calcula la capacidad por conceptos teóricos de los ramales de entrada, dado que una capacidad general de la glorieta no describe la capacidad real, en primer lugar, porque en el anillo no existirá ningún tipo de entrecruzamiento, lo que lleva a sustituir el concepto de capacidad de glorieta por el de capacidad

de las entradas, esto se debe a que esta variable depende de la distribución del tránsito entrante y saliente. Dicha capacidad se calcula con base al criterio de la hora de máxima demanda de la glorieta total, teniendo en cuenta que, el flujo de la intersección está ligado directamente al comportamiento que presenten los ramales.

8.3.11.1 Capacidad por método de Wardrop

Este método indica una capacidad según variables geométricas de la glorieta. Se determina la capacidad de los 4 accesos a la intersección, teniendo en cuenta, el flujo vehicular obtenido de los aforos realizados.

Tabla 15 Capacidad método wardrop

ACCESO	Flujo Vehicular (veh/h)	L (m)	W (m)	e1 (m)	e2 (m)	e (m)	W/L	Capacidad Qp (veh/h)
B	2188	85.4755	12.6	12.6	11.99	12.295	0.1474	3471.469
D	1221	54.7205	12.6	12.6	4.83	8.715	0.2303	2772.095
F	2692	79.5035	12.6	12.6	6.36	9.48	0.1585	3049.504
H	1314	57.4045	12.6	12.6	5.26	8.93	0.2195	2824.776

Como se puede observar en la Tabla 15 las capacidades con este método están cumpliendo, ningún flujo vehicular entrante supera el límite de los accesos, sin embargo, se analiza el grado de saturación, debido a que con este dato podemos determinar en qué punto se encuentra la glorieta antes de llegar a un colapso.

Tabla 16 Grado de saturación Séptima Brigada

ACCESO	B	D	F	H
Grado de saturación (v/c)	63%	44%	88%	4%

Se observa el grado de saturación de los ramales de entrada de acuerdo al flujo actual con respecto a la capacidad de la infraestructura, la cual, evidencia que el Ramal F se encuentra saturado, puesto que llega a un nivel de 88%, por lo tanto, supera el valor del 85% de grado de saturación, lo que conlleva a presentar fenómenos de saturación en el ramal y a su vez, en cierta parte de la intersección, sin embargo, los otros ramales de entrada presentan un nivel óptimo para el funcionamiento.

8.3.11.2 Capacidad por métodos no convencionales

Como se observa en la Tabla 17, se puede evidenciar que los métodos no convencionales tienden a presentar error o a ser relativamente bajos, ya que las capacidades estimadas de cada método no representan un comportamiento real, la razón principal de este fenómeno es porque los métodos no convencionales están sujetos a geometría de poca envergadura.

Tabla 17 Capacidad de la Séptima Brigada por métodos no convencionales

Capacidad por diferentes métodos					
ACCESO	Wardrop	Francés	Danés	Setra	Alemán
B	3471.469	-231.910	261.236	1315.213	386.280
D	2772.095	-850.453	139.487	477.006	104.171
F	3049.504	135.590	329.593	1010.216	483.157
H	2824.776	-921.177	124.400	182.733	93.027

8.3.11.3 Nivel de servicio

El nivel de servicio permite analizar el comportamiento de la intersección, evidenciando los problemas de congestión que se presentan en la glorieta y la eficacia operativa, por lo tanto, se determina teniendo en cuenta el tiempo que se demoran los vehículos en ingresar a la zona de entrecruzamiento de la rotonda.

Para determinar el nivel de servicio se utiliza la capacidad encontrada con la ecuación de wardrop, esto se debe a que es el método que recomienda el manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS, por lo tanto, es el más óptimo de utilizar para el estudio. Se tiene en cuenta que se debe dividir por el número de carriles.

$$d = \frac{3600}{C} + 900 * T * \left[\frac{Q}{C} - 1 + \sqrt{\left(\frac{Q}{C} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{C}\right) * \frac{Q}{C}}{450 * T}} \right] + 5$$

Tabla 18 Nivel de servicio

ACCESO	Q (veh/h)	c (vh/h)	d (s/vh)	Nivel de servicio
B	2188	3471.469	16.146	C
D	1221	2772.095	14.638	B
F	2692	3049.504	23.851	C
H	1314	2824.776	14.761	B

Se evidencia en la Tabla 18 los niveles de servicio de cada uno de los accesos a la glorieta, en donde, los ramales B y F tienen un nivel de servicio C, representando una circulación estable, aunque las maniobras de los conductores están un poco reducidas. Por el contrario, los accesos D y F presentan un nivel de servicio B, el cual, representa una circulación libre, sin elevar la velocidad.

8.4 Cálculo de la capacidad vehicular actual de la glorieta Postobón por medio de métodos teóricos.

En el caso de la intersección Postobón, en referencia a la variable del volumen vehicular, se decide aplicar los mismos conteos de la intersección Séptima Brigada, por medio del concepto de estación maestra. A su vez, la glorieta Postobón, se encuentra ubicada en el mismo corredor vial, es decir, se conectan directamente entre sí, por lo tanto, cierto porcentaje de vehículos circulan en ambas gloriets en un periodo de tiempo cercano. Por otra parte, la intersección Postobón posee las mismas características de infraestructura, lo que sustenta el uso de la Séptima Brigada como estación maestra.

Por consiguiente, se procede a realizar la composición por tipo de vehículos, puesto que por la glorieta Postobón, la circulación de vehículos de carga pesada mayores a C4, es muy precaria. Por lo tanto, el porcentaje de los vehículos C5 y C6, son adicionados al porcentaje de autos, puesto que, la intersección Postobón presenta un volumen vehicular más urbano.

8.4.1 Porcentaje de vehículos

Tabla 19 Porcentaje de vehículos en la glorieta Postobón

RAMAL A		RAMAL B		RAMAL C		RAMAL D	
Autos	58.25%	Autos	52.19%	Autos	51.00%	Autos	52.09%
C2	4.48%	C2	4.66%	C2	4.84%	C2	4.91%
C3	0.00%	C3	0.64%	C3	1.00%	C3	0.82%
C4	0.00%	C4	0.14%	C4	0.16%	C4	0.08%
Buses	0.41%	Buses	2.10%	Buses	2.16%	Buses	0.00%
Motos	36.86%	Motos	40.27%	Motos	40.85%	Motos	42.10%

RAMAL E		RAMAL F		RAMAL G		RAMAL H	
Autos	56.34%	Autos	36.66%	Autos	60.74%	Autos	61.87%
C2	2.95%	C2	19.73%	C2	2.71%	C2	4.03%
C3	0.38%	C3	2.27%	C3	0.60%	C3	0.08%
C4	0.00%	C4	0.71%	C4	0.15%	C4	0.08%
Buses	0.00%	Buses	10.85%	Buses	3.01%	Buses	0.53%
Motos	40.33%	Motos	29.79%	Motos	32.78%	Motos	33.41%

8.4.2 Capacidad de la glorieta Postobón.

Se calcula la capacidad por el método de Wardrop.

Tabla 20 Capacidad de la glorieta

ACCESO	Flujo Vehicular (veh/h)	L (m)	W (m)	e1 (m)	e2 (m)	e (m)	W/L	Capacidad Qp (veh/h)
B	2188	32.012	11.7	11.7	7.205	9.4525	0.3655	2478.538
D	1221	37.76	11.7	11.7	3.372	7.536	0.3099	2349.701
F	2692	46.24	11.7	11.7	7.199	9.4495	0.2530	2700.595
H	1314	43.2	11.7	11.7	3.176	7.438	0.2708	2409.506

Posteriormente, se determina el grado de saturación de los accesos a la rotonda, lo cual, se ve reflejado en la Tabla 21.

Tabla 21 Grado de Saturación glorieta Postobón

ACCESO	B	D	F	H
Grado de saturación (v/c)	88.28%	51.96%	99.68%	54.53

Los ramales de acceso B y F se encuentran saturados, debido a que han superado el 85% de la capacidad, lo que provoca congestiones en los entrelazamientos en las entradas de la glorieta.

8.4.2.1 Nivel de servicio

Tabla 22 Nivel de servicio Postobón

ACCESO	Q (veh/h)	c (vh/h)	d (s/vh)	Nivel de servicio
B	2701	2478.538	27.889	D
D	1508	2349.701	16.366	C

ACCESO	Q (veh/h)	c (vh/h)	d (s/vh)	Nivel de servicio
F	3323	2700.595	74.025	F
H	1622	2409.506	16.557	C

Se observa que el nivel de servicio en el ramal F en la glorieta Postobón es el máximo, representando una circulación forzada y demorada por las congestiones, dando lugar a paradas frecuentes e incomodidad en los conductores.

8.5 Cálculo de la capacidad vehicular actual de la glorieta Grama por medio de métodos teóricos.

Para la glorieta de la Grama se estiman tres casos de tránsito vehicular, teniendo en cuenta, que no se realizaron los respectivos aforos, eso debido a que las condiciones actuales de glorieta cambiaron, por causa del desplome de un puente que comunica al sector de la Grama con el centro. Específicamente, metros abajo del ramal I la vía se encuentra cerrada, por lo tanto, el flujo vehicular se ve obligado a redireccionar su flujo por otras salidas.

A continuación, se presenta los casos supuestos:

Tabla 23 Casos supuestos de tránsito en la glorieta de la Grama

Ramales entrada	# Carriles	Porcentaje de vehículos	Caso 1 Vehículos	Caso 2 Vehículos	Caso 3 Vehículos
A	1	30%	600	900	1800
C	1	15%	300	450	900
E	2	25%	500	750	1500
G	1	30%	600	900	1800

Para determinar los porcentajes en cada uno de los ramales de acceso se tiene en cuenta el comportamiento vehicular, es decir, las entradas que presentan mayor cantidad de tránsito, como se observa en la Tabla 23 los accesos a la glorieta que presentan un porcentaje de vehículos en comparación a los otros es el A y G. Se toma el caso 2.

8.5.1 Capacidad glorieta la Grama

Tabla 24 Capacidad glorieta de la Grama

ACCESO	Flujo Vehicular (veh/h)	L (m)	W (m)	e1 (m)	e2 (m)	e (m)	W/L	Capacidad Qp (veh/h)
A	900	31.32	11.4	11.4	3.54	7.47	0.3640	2213.515
C	450	16.837	11.4	11.4	4.52	7.96	0.6771	1847.020
E	750	35.33	11.4	11.4	8.8	10.1	0.3227	2600.796
G	900	58.55	11.4	11.4	5.2	8.3	0.1947	2638.307

En la Tabla 24 se muestra los valores de la capacidad en los ramales de entrada, dando como resultados valores demasiado superiores al flujo vehicular supuesto en la glorieta, dado que, los volúmenes vehiculares simulados en la intersección no alcanzan ni el 50% de la capacidad.

Tabla 25 Nivel de servicio glorieta la Grama

ACCESO	Q (veh/h)	c (vh/h)	d (s/vh)	Grado de saturación v/c	Nivel de servicio
A	900	2213.5146	15.477	41%	C
C	450	1847.0196	15.153	24%	C
E	750	2600.7961	13.889	29%	B
G	900	2638.3074	14.140	34%	B

Como se evidencia en la Tabla 25 el nivel de servicio en los accesos A y C es tipo C, esto muestra una circulación estable y fluida, aunque, se pueden presentar congestiones, por el contrario, los accesos E y G presentan un nivel de servicio B, indicando una circulación libre, pero la velocidad tiende a disminuir gradualmente.

8.6 Proyección del tránsito vehicular

Con base en los aforos vehiculares (Ver anexo 1), se procede a realizar las proyecciones a 5, 10 y 15 años en el futuro.

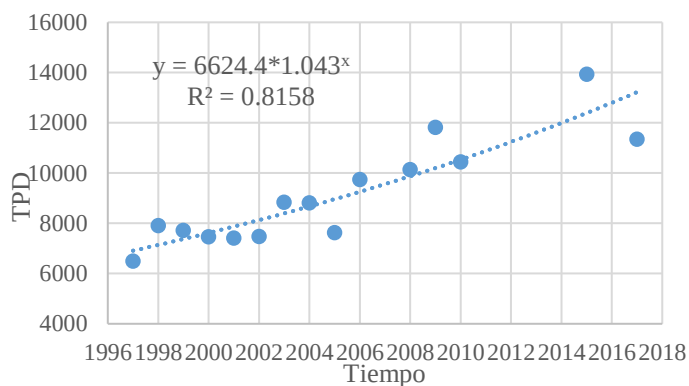
Como primera medida, se necesitan registros históricos de volúmenes vehiculares, con los cuales se evidencie el crecimiento o en su defecto el decrecimiento del parque automotor. Teniendo en cuenta esta premisa, y los inconvenientes para encontrar registros de las zonas de estudio, se utilizan datos históricos proporcionados por el INVIAS en las entradas y salidas de la ciudad de Villavicencio, con el fin de estimar la tasa de crecimiento real (r), en concordancia con el desarrollo económico y social de la ciudad.

8.6.1 Datos preliminares

Con base a la zona de estudio, se utilizan los registros históricos de la salida que conduce a los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, debido a que este corredor conecta directamente con la glorieta Séptima Brigada. En la Tabla 26 se muestran los conteos de los TPD anuales.

Tabla 26 Valores de la salida de Villavicencio- Pto López

AÑO	TPD	AÑO	TPD
1997	6488	2005	7623
1998	7902	2006	9735
1999	7713	2008	10130
2000	7458	2009	11811
2001	7404	2010	10436
2002	7474	2015	13933
2003	8828	2017	11336
2004	8804		



Nota: Registros históricos de la salida Villavicencio – Puerto López. Adaptado del INVIAS.

8.6.2 Método de proyección

Con base a la Tabla 26, es necesario determinar con qué modelo de proyección se va a trabajar, para ello, se tiene en cuenta el valor del coeficiente de determinación (R^2), el cual indica la relación o cercanía de los datos con la línea de regresión.

Tabla 27 Método de Proyección

Método	R
Lineal	0.8045
Exponencial	0.8158
Logarítmico	0.8045

Según la Tabla 27, el método más conveniente para las proyecciones es el exponencial.

8.6.3 Proyección de la hora de máxima demanda de la glorieta Séptima Brigada

En consideración al modelo de proyección, se realiza el procedimiento para determinar el volumen vehicular en la hora de máxima demanda de la glorieta total y cada uno de los ramales. El primer paso, es determinar la tasa de crecimiento (r) con respecto a los datos históricos del TPD. De acuerdo a la Tabla 27 se tiene qué:

$$\text{Ecuación exponencial : } A * B^x$$

$$A = 6624.4 \quad B = 1.043$$

$$r: 4.3\%$$

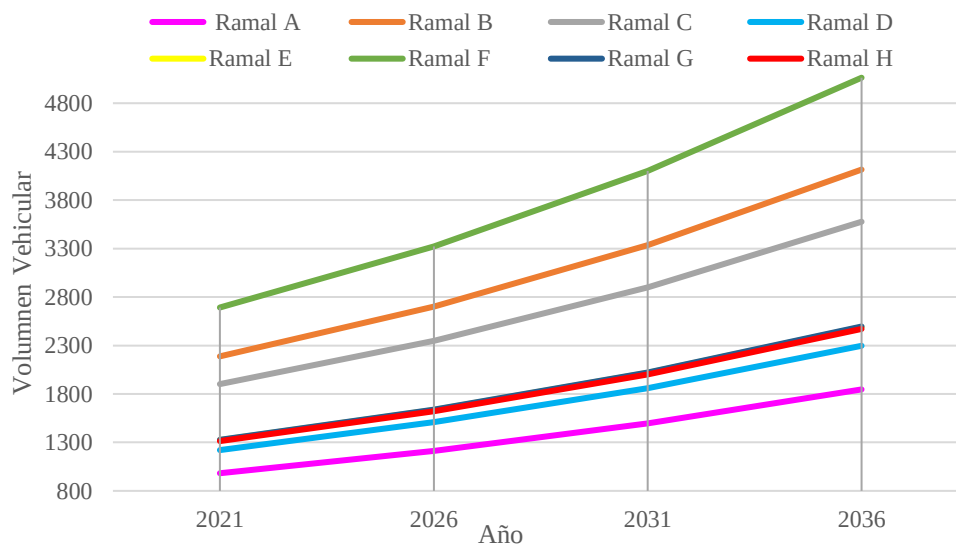
En ese orden de ideas, la muestra los resultados de las proyecciones por cada ramal en su respectivo año.

Tabla 28 Proyección del volumen vehicular en la hora de máxima demanda

Año	2021	2026	2031	2036
Ítem	Actual	5 años	10 años	15 años
Ramal A	982	1213	1497	1847
Ramal B	2188	2701	3334	4115
Ramal C	1902	2348	2898	3577
Ramal D	1221	1508	1861	2297
Ramal E	1324	1635	2018	2490
Ramal F	2692	3323	4102	5063
Ramal G	1327	1638	2022	2496
Ramal H	1314	1622	2002	2471
Glorieta total	7415	9153	11297	13944

Nota: Proyecciones vehiculares de los aforos realizados en campo.

Se puede evidenciar que, a medida que pasan los años, el comportamiento del volumen vehicular es similar, esto responde a la tasa equitativa de crecimiento, por lo tanto, entre mayor volumen presente un ramal, mayor será su valor futuro.

Figura 9 Comparación por ramales del volumen vehicular proyectado

Nota: Comparación de las proyecciones en cada uno de los años de estudio.

8.6.4 Comportamiento de la glorieta Séptima Brigada con volúmenes proyectados

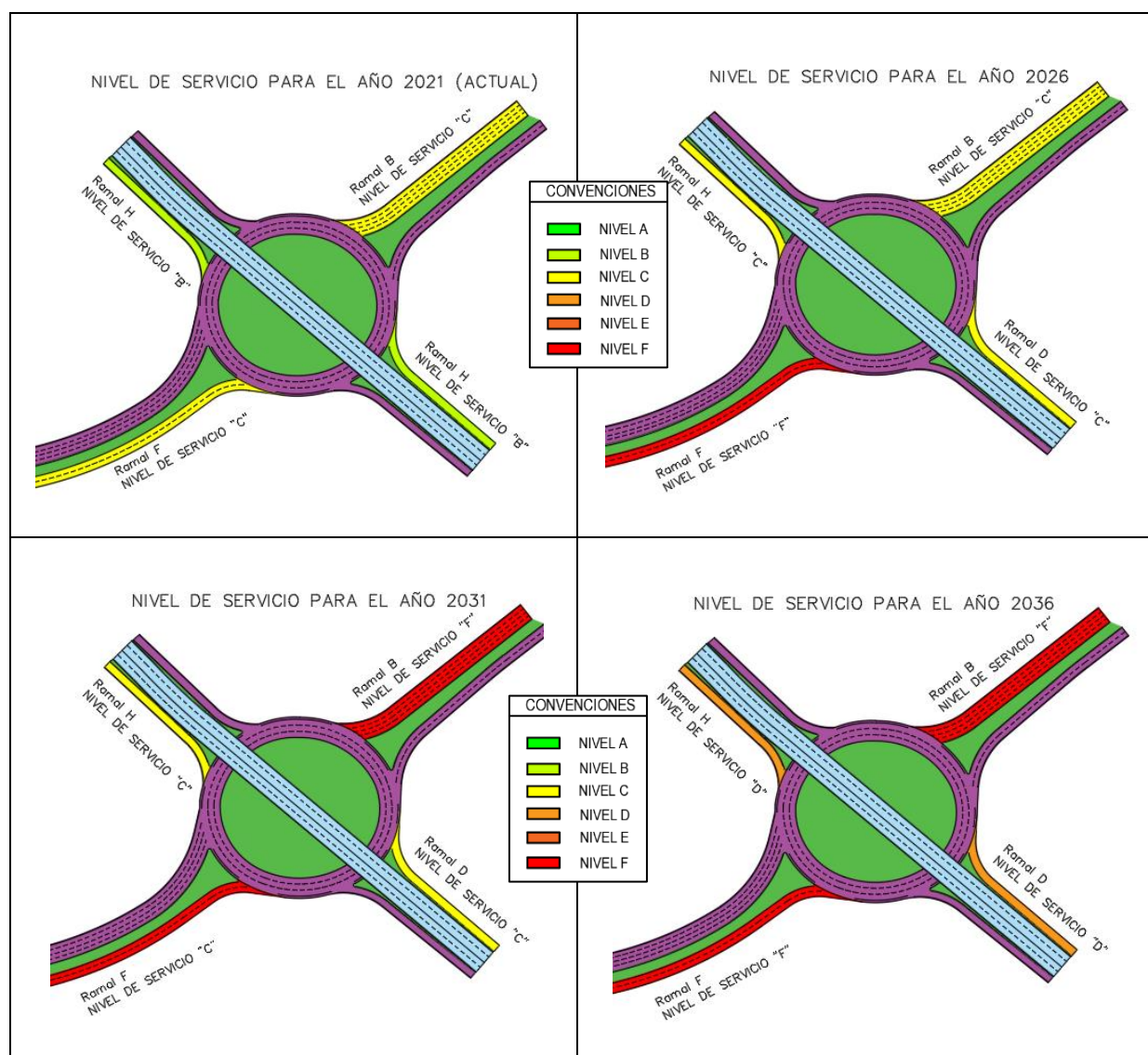
Debido a que las simulaciones se realizan con base a la infraestructura existente de la intersección, la capacidad será la misma, por lo tanto, se analiza el comportamiento del flujo vehicular, con el fin de evidenciar el impacto del parque automotor sobre la glorieta.

Tabla 29 Comportamiento del flujo vehicular con volúmenes proyectados de la glorieta Séptima Brigada

Año de proyección	Acceso	Flujo Vehicular (veh/h)	d (s/vh)	Nivel de servicio	Grado de saturación v/c
2026	B	2701	23.196	C	78%
	D	1508	15.684	C	54%
	F	3323	193.654	F	109%
	H	1622	15.971	C	57%
2031	B	3334	65.384	F	96%
	D	1861	17.856	C	67%
	F	4102	637.677	F	135%
	H	2002	18.679	C	71%
2036	B	4115	367.524	F	119%
	D	2297	26.682	D	83%
	F	5063	1201.755	F	166%
	H	2471	29.132	D	87%

Con base en la Tabla 29 se puede observar un comportamiento lógico con base al crecimiento del flujo vehicular, es evidente que, según el grado de saturación, en cada año de proyección la infraestructura de la glorieta Séptima Brigada se ve afectada y no es capaz de albergar la cantidad de vehículos que fluyen en la hora de máxima demanda, a su vez, el nivel de servicio presentado en los años futuros es precario, por lo cual, se infiere que la intersección será inoperante, es decir que, el tiempo, la eficiencia, la demora y la operabilidad serán totalmente deficientes. Por lo tanto, dicha intersección es inviable para los años futuros.

Figura 10 Comparación del nivel de servicio en la glorieta Séptima Brigada



8.6.5 Comportamiento de la glorieta Postobón con volúmenes proyectados

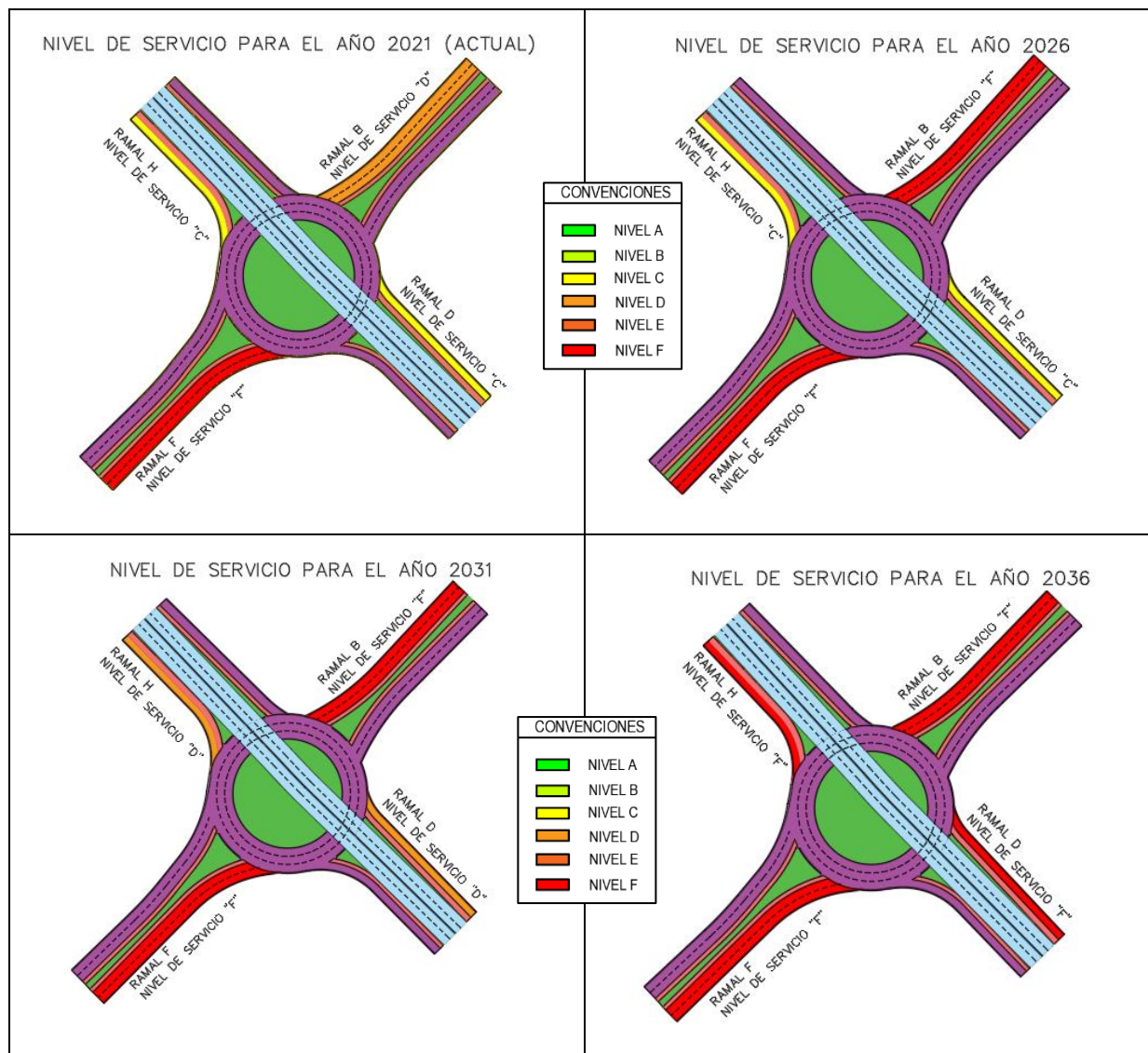
Con base al método de estación maestra, siendo el punto de referencia los aforos de la glorieta Séptima Brigada, se procede a analizar el impacto que tiene el flujo vehicular en los años de proyección, sobre la infraestructura actual de la glorieta Postobón.

Tabla 30 Comportamiento del flujo vehicular con volúmenes proyectados de la glorieta Postobón

Séptima Brigada					
Año de proyección	Acceso	Flujo Vehicular (veh/h)	d (s/vh)	Nivel de servicio	Grado de saturación v/c
2026	B	2701	199.245	F	109%
	D	1508	18.508	C	64%
	F	3323	436.288	F	123%
	H	1622	19.080	C	67%
2031	B	3334	640.293	F	135%
	D	1861	29.390	D	79%
	F	4102	949.470	F	152%
	H	2002	27.022	D	83%
2036	B	4115	1203.620	F	166%
	D	2297	69.032	F	98%
	F	5063	1587.949	F	187%
	H	2471	113.698	F	103%

Como se puede observar en la Tabla 30 para el año 2026, el grado de saturación en el 50% supera la totalidad de la capacidad total, por lo tanto, la glorieta está propensa a padecer de altas congestiones vehiculares. Consecuentemente, se evidencia el comportamiento lógico del crecimiento vehicular, cada ramal en el año 2036 presenta condiciones totalmente deplorables, puesto que el nivel de servicio es el peor. Como se menciona anteriormente, a medida que el volumen vehicular aumenta, los ramales en la intersección van perdiendo capacidad útil, a tal punto de ser inoperantes. Esto quiere decir que, la infraestructura de la glorieta Postobón no será capaz de albergar con eficiencia y operabilidad el volumen vehicular de los años futuros.

Figura 11 Comparación del nivel de servicio en la glorieta Séptima Brigada



Por último, los métodos teóricos no contemplan en sus estudios factores externos para el cálculo del nivel servicio, por lo tanto, los valores pueden verse afectados por sucesos externos. En lo que respecta al ramal D, en la Figura 12 se puede observar que justo en la entrada hacia la zona de entrecruzamiento, existe un reductor de velocidad de grandes dimensiones, que disminuyen drásticamente la velocidad de operación, produciendo altas congestiones en dicho ramal. Por lo tanto, con base en lo anteriormente mencionado, el ramal D presenta condiciones de nivel de servicio F, tanto para condiciones actuales como para proyectados.

Figura 12 Comportamiento real del Ramal D



Nota: Fotografías del ramal D en la glorieta Postobón.

8.7 Modelación del volumen vehicular actual y proyectado en las intersecciones

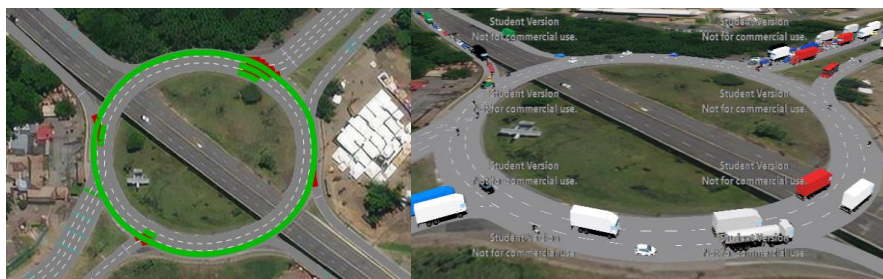
El software modela el comportamiento del flujo vehicular bajo condiciones ideales, es decir, como debería ser el comportamiento adecuado de los conductores a la hora de ingresar y salir de la intersección, por medio de metodologías teóricas basadas del Highway Capacity manual (HCM).

Los datos de entrada son muy simples, velocidad de flujo, volumen del flujo por ramal, composición de vehículos por ramal y porcentaje de autos en cada ramal de salida.

8.7.1 Glorieta Séptima Brigada

Con base en los datos geométricos de la glorieta y los respectivos aforos, se procede a construir el modelo en VISSIM, con el objeto de analizar las congestiones en la intersección.

Figura 13 Modelo en Vissim de la glorieta Séptima Brigada



Posteriormente se ejecuta el programa para visualizar el comportamiento de los vehículos en la intersección, reflejando las congestiones que se genera con el tráfico actuante, y así identificar las deficiencias en la infraestructura, simulando una estimación del comportamiento real en la glorieta.

8.7.2 Resultados de la modelación

Tabla 31 Datos de la modelación en Vissim

Glorieta	Item	Actual	5 años	10 años	15 años
Séptima Brigada	LOS	LOS_F	LOS_F	LOS_F	LOS_F
	Delay	79.087502	127.703688	126.690894	139.743047
Postobón	LOS	LOS_F	LOS_F	LOS_F	LOS_F
	Delay	87.277352	86.128684	91.408275	93.812206
Grama	LOS	LOS_E	LOS_E	LOS_E	LOS_E
	Delay	36.183935	37.314157	36.581703	38.737192

La muestra los datos arrojados por la simulación, lo cual, indica los movimientos vehiculares con el respectivo nivel de servicio y la demora del vehículo, según la metodología que usa el programa VISSIM, si el delay es mayor a 50, la intersección se encuentra con déficit en cuanto al funcionamiento en la hora de máxima de manda, por lo tanto, según la Tabla 31 se puede evidenciar que la infraestructura de las glorietas Séptima Brigada y Postobón es deficiente con respecto a los volúmenes proyectados para cada año, por lo tanto, dichas intersecciones son incapaces de redireccionar el volumen del parque automotor de manera eficiente y segura.

8.8 Elaboración de alternativas para mejorar la capacidad vehicular de las glorietas

Teniendo en cuenta la capacidad vehicular actual y las proyecciones realizadas, se analizan e identifican posibles alternativas de diseño para el mejoramiento o ampliación de cada glorieta, con el fin de que el nivel de servicio sea adecuado en función al crecimiento del volumen vehicular. Las alternativas responden a las posibles ampliaciones acorde a los años de proyección, a su vez, son esquemáticas, esto quiere decir que se plantean con el argumento de asegurar un flujo continuo del volumen vehicular en todas las direcciones de la intersección, sin embargo, no se tienen en cuenta factores de factibilidad.

Alternativa 1: Se propone una ampliación de los carriles de entrada y de salida en la intersección, dejando intacto el modelo de glorieta, sin embargo, en la zona de los ramales B, C, F, y G se plantea un paso a desnivel, el cual evite el acceso obligatorio en el anillo de la glorieta.

Figura 14 Modelo de paso a desnivel



Nota: Modelos realizados en el programa INFRAWORKS.

Alternativa 2: Con base en el modelo de la alternativa 1, se propone adicionarle un ramal de paso directo con dos carriles por cada entrada, evitando que los vehículos requieran el acceso obligatorio a la glorieta si van a girar hacia el ramal contiguo derecho.

Figura 15 Modelo de paso a desnivel con ramales de paso



Nota: Modelos realizados en el programa INFRAWORKS.

Alternativa 3: En este caso, se propone eliminar la intersección tipo glorieta, a su vez, se plantea una alternativa tipo trébol. Puesto que el flujo de los dos sentidos es bastante alto, es la alternativa a gran escala más viable, consecuentemente, es la alternativa de mayor impacto a futuro.

Figura 16 Modelo de intersección tipo trébol



Nota: Modelos realizados en el programa INFRAWORKS.

Se proponen alternativas de complejidad alta, con el propósito de garantizar una remodelación en la infraestructura vial de la ciudad de Villavicencio, las cuales mejorarán la movilidad vehicular en las zonas de estudio y que, al paso de los años, su nivel de servicio de las intersecciones sea el adecuado para el tránsito futuro.

Si bien, a la hora de plantear los esquemas de las alternativas no se tuvo en cuenta factores de prefactibilidad, se puede realizar una comparación entre las mismas con el fin de identificar cual es la de mayor viabilidad, siendo bajo (B), moderado (M) y alto (A).

Tabla 32 Comparación de alternativas

Esquema	Costo predial			Tiempo de ejecución			Impacto al entorno			Efectividad/Eficacia		
	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
Alternativa 1	x				x			x			x	
Alternativa 2		x				x		x				x
Alternativa 3			x			x			x			x

Nota: Comparación de las tres alternativas con respecto a variables de factibilidad.

Con base en la Tabla 32, se puede evidenciar que la alternativa más viable es la 1, puesto que solamente contempla una intervención directa de complejidad alta, haciendo uso del derecho de vía para dicha construcción. Sin embargo, la alternativa 2 es viable puesto que tiene características similares que la anterior y su efectividad a la hora de redireccionar el tráfico es alta. Finalmente, la alternativa 3 es la de menor viabilidad, a pesar de ser la más eficaz para dar solución a problemas de movilidad. Así mismo, cualquier alternativa que se contemple para el mejoramiento o ampliación en las intersecciones presentadas en las zonas de estudio, deben contemplar pasos

peatonales y secciones para bici usuarios, ya que estos son actores viales y se deben tener en cuenta a la hora de proponer una alternativa viable.

8.9 Revisión del Plan de ordenamiento territorial con respecto a la malla vial de la ciudad.

Teniendo en cuenta los aforos vehiculares, el volumen del parque automotor, los resultados obtenidos de la modelación del tránsito actual y la información consignada en el POT y POD, se puede inferir que la malla vial actual de Villavicencio se queda corta en cuanto a infraestructura y planeación en la movilidad, ya que según los documentos municipales, la infraestructura de las intersecciones es suficiente para albergar el parque automotor actual, sin embargo, el análisis y la modelación del tránsito actual, evidencian deficiencia en cuanto a la capacidad y eficiencia al paso del flujo vehicular. A su vez, en ellos no se mencionan proyectos o alternativas de mejoramiento en cuanto a infraestructura vial se refiere, por lo tanto, es necesario que se formule un nuevo POT en la ciudad de Villavicencio que incluya inversiones en materia de malla vial municipal y futuras ampliaciones de las glorietas de estudio.

9 Conclusiones

La infraestructura existente en la glorieta Postobón, es deficiente, puesto que, en condiciones actuales, el porcentaje de saturación supera el 85%, consecuentemente, para los años de proyección, se colapsa por completo. Lo anterior se debe a que el volumen del parque automotor a la fecha ocasiona disminución en la velocidad de los vehículos en las zonas de entrecruzamiento y al interior de la calzada anular, por lo cual, afecta directamente al nivel de servicio, especialmente en la hora pico entre las 12:30pm- 1:30pm.

Producto de las modelaciones realizadas con respecto a las proyecciones del tránsito a 5, 10 y 15 años, se puede inferir que, las intersecciones Séptima Brigada y Postobón en condiciones de infraestructura actual, no tiene la capacidad de albergar de forma eficaz el volumen del parque automotor para los años de proyección. Por consiguiente, es notoria la problemática a futuro en las zonas de estudio.

En lo que respecta la glorieta de la Séptima Brigada, se evidencia un funcionamiento estable con ciertas congestiones y velocidades bajas, no obstante, estos factores no afectan radicalmente el flujo vehicular del tránsito actual, sin embargo, debido a las diversas inversiones en infraestructura vial como la malla vial del meta o Chirajara - Fundadores, el nivel de servicio se verá afectado en gran magnitud, por causa del volumen vehicular estimado en las proyecciones anteriormente descritas.

Según las proyecciones de tránsito realizadas, se puede evidenciar un crecimiento acorde a la economía de la ciudad, en donde, el aumento del tránsito vehicular en 5 años de casi el 23% con respecto al actual, por lo tanto, es recomendable realizar unas mejoras en la geometría o en su defecto un cambio total de las intersecciones.

Con respecto a los resultados descritos, es evidente que la solución más viable es implementar ramales de paso directo y un paso a desnivel, con el objetivo de minimizar el porcentaje de vehículos que entren a la calzada anular de las glorietas.

La Glorieta la grama presenta un funcionamiento adecuado en la hora pico, dicho resultado responde a factores en su entorno como, las zonas residenciales aledañas, la baja presencia de volumen vehicular en comparación con las intersecciones Séptima Brigada y Postobón. Por otra parte, La Grama se conecta directamente con la vía antigua que conduce a Bogotá.

10 Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (03 de 03 de 2021). Información del municipio. <https://www.villavicencio.gov.co/micrositio/informaci%C3%B3n-del-municipio-237>
- Arias Baquero, N. O., & Pinto Pardo, J. L. (2017). *Diagnostico laboral de movilidad vehicular y plan de mejoramiento de las zonas de permitido parqueo (ZPP) en la ciudad de Villavicencio*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio <https://repository.unad.edu.co/jspui/handle/10596/12423?mode=full>
- Arrioga, J. (s.f.). *La globalización o la razón del más fuerte*. Asociación paz y solidaridad asturias. <http://www.ehu.eus/Jarriola/articulos%20propios/Libru.pdf>
- ASOPARTES. (2019). Parque Automotor de Colombia. <https://asopartes.com/estadisticas-del-sector/>
- Cámara Colombiana De La Infraestructura. (2016). *Estudio de caracterización del sector de la infraestructura de transporte*. <https://infraestructura.org.co/documentos/economicos/ESTUDIO%20DE%20CARACTERIZACI%C3%93N%20-%20ECONOMIA.pdf>
- Corchuelo Canizales , O. M., & Piza Becerra, J. A. (2015). *Planteamiento de solución a la congestión vehicular presentada en el retorno de la avenida calle 80 entre carreras 119 y 121 en la ciudad de Bogotá D.C*. [Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3415>
- Darder, G. V. (2005). *Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3375> *decibeles*. (16 de Mayo de 2016). *Movilidad*. <https://www.decibeles.com.co/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (1993-2018). *Censo Nacional de población y vivienda*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (1993-2018). *Censo Nacional de población y vivienda*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-portema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Dómine Rueda, C. (2015). *Simulación de tráfico en circuitos urbanos para analizar el efecto de diferentes estilos de conducción*. [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio <https://oa.upm.es/40234/>
- Dueñas Bohórquez, I. D., & Sosa Martínez, P. A. (2018). *Estudio comparativo entre una glorieta target y una glorieta convencional por medio de su diseño geométrico y micro simulación de tráfico como alternativa de intersección vial en Bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12637>
- Gomez Patiño, M. L., & Pulido Contreras, P. J. (2018). *Evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. Colombia por medio de métodos no convencionales*. [Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5316>
- Hernandez León, A. F., & Perez Rodriguez, J. A. (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 Bogotá D.C.* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/23885>
- Instituto Nacional de Vias. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico>
- Instituto Nacional de Vias. (31 de 12 de 2020). *Estado de la red vial*. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57estado-de-la-red-vial>

- Ivarsson & Asociados. (2017). *Plan de movilidad de la ciudad de Villavicencio. fase i: caracterización de la movilidad*. Informe de avance, Villavicencio.
<https://studylib.es/doc/4931808/plan-de-movilidad-de-la-ciudad-de-villavicencio.fase-i>
- Martín Gasulla, D. (2011). *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia: catedra abertis 2011, Primera edición Julio 2012.
- Ministerio de Transporte. (2021). TPD del Meta.
<https://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=4abc9a42337b4b82b07e98bedbf64b26>
- Mintransporte. (31 de 12 de 2020). Registro Único Nacional de Tránsito.
<https://www.runt.com.co/runt-en-cifras>
- Mojica Prieto, V. M. (2019). *Seguimiento técnico y supervisión a las obras de pavimentación y urbanismo realizadas por la secretaria de infraestructura del municipio de Villavicencio*. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/15019>
- Moncada Granados, D., & Castillo Labrador, D. G. (2017). *Evaluación de propuesta de evolución de intersección semaforizada a glorieta*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14528>
- Mozo Sánchez, J. (2012). *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000670331
- Rubio Martín, J. L. (s.f.). Glorietas.
<https://glorietas.com/glorietas/capacidad/#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20de%20capacidad%20hace,proporcionar%20capacidad%20a%20la%20intersecci%C3%B3n.>
- Universidad Nacional de Colombia. (2013). *Formulación del Plan de Movilidad para el Municipio de Villavicencio. Informe 2. Diagnóstico*. Bogotá.

Universidad Nacional de Ingeniería. (2005). Ingeniería de tránsito.
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>

Uribe Celis, S. L. (2006). *Manual de Diseño Geométrico para Vías e Intersecciones Urbanas*. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/22796>

Villavicencio día a día. (28 de Enero de 2019). 47 mil vehículos transitan diariamente por la glorieta de Villacento. <https://www.villavicenciodiaadia.com/47-mil-vehiculostransitan-diariamente-por-la-glorieta-de-villacento/>

11 Anexos

- Anexo 1: Tabulación de datos
- Anexo 2: Gráficas o ilustraciones
- Anexo 3: Memorias de cálculo
- Anexo 4: Modelación en Vissim
- Anexo 5: Alternativas de ampliación
- Anexo 6: Planos de infraestructura actual
- Anexo 7: Registros fotográficos
- Anexo 8: Aforos vehiculares