

**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.**

PEDRO JOSE PULIDO CONTRERAS

MARY LIZZETH GOMEZ PATIÑO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C

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.**

PEDRO JOSE PULIDO CONTRERAS

MARY LIZZETH GOMEZ PATINO

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL.**

ASESOR DISCIPLINAR.

ING. WILLIAM GERMAN MELLADO

ASESOR METODOLÓGICO.

LCDA. LAURA MILENA CALA

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C

2018

GENERALIDADES

EVALUACION DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO DE LA GLORIETA UBICADA EN LA CALLE 63 CON CARRERA 50 EN BOGOTA D.C.- COLOMBIA POR METODOS NO CONVENCIONALES.

LINEA DE INVESTIGACION

Vías y transporte

SUBLINEA DE INVESTIGACION

Seguridad vial

SEMILLERO

Vías y transporte para el desarrollo de la infraestructura física regional sostenible, la competitividad y el desarrollo económico y social (VITRA)

LUGAR EN DONDE SE REALIZA EL PROYECTO 102

MUNICIPIO: Bogotá

DEPARTAMENTO: Bogotá D.C

AÑO: 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. OBJETIVOS.....	16
3.1. General.....	16
4.2. Específicos.....	16
4. ANTECEDENTES.....	17
5. MARCO DE REFERENCIA	21
5.1. MARCO CONCEPTUAL	21
5.1.1. Aspectos generales	21
5.1.2. Tipos de glorietas	22
5.1.2.1. Glorieta Normal	22
5.1.2.2. Mini glorieta.....	23
5.1.2.3. Glorieta Doble	24
5.1.2.4. Glorieta de dos puentes.....	26
5.1.2.5. Glorieta con semáforos.....	26
5.1.3. Intersecciones Giratorias	27
5.1.4 Tipos de acceso	28
5.1.4.1. Velocidad.....	28
5.1.5. Capacidad de la glorieta.....	29
5.1.5.1. Factores.....	29
5.1.6. Métodos para determinar la capacidad.....	32
5.1.6.1. Método francés.....	32
5.1.6.2. Método Danés.....	35
5.1.6.3 Método Setur.....	36
5.1.7. Nivel de servicio	37
5.2. MARCO GEOGRAFICO	39
5.3. MARCO LEGAL.....	41
6. DISEÑO METODOLÓGICO	42

6.1.	ENFOQUE DE INVESTIGACION	42
6.2.	TIPO DE INVESTIGACION	42
6.3.	VARIABLES.....	43
Fuente: propia		43
6.4.	FASES.....	44
6.5.	INSTRUMENTOS	45
6.5.1.	Contador de vehículos	45
6.5.2.	PLANILLA	46
6.5.3	Reloj	46
6.5.4.	Cámaras.....	47
6.6.	OBSERVACIÓN CASUAL	47
7.	RESULTADOS Y ANALISIS	48
8.	CONCLUSIONES.....	83
9.	RECOMENDACIONES	85
10.	BIBLIOGRAFIA	86
11.	ANEXOS.....	88

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. GLORIETA NORMAL.....	22
FIGURA 2. ISLETA CON ENTRADAS ABOCINADAS	23
FIGURA 3. ISLETA SIN ABOCINAR	24
FIGURA 4. TRAMO CONTINUO	25
FIGURA 5. CON TRAMO DE UNIÓN.....	25
FIGURA 6. GLORIETA A DISTINTO NIVEL CON DOS PUENTES.....	26
FIGURA 7. GLORIETA CON SEMÁFOROS	26
FIGURA 8. RECORRIDO "OPTIMO" (AZUL) VS RECORRIDO "CRITICO" (ROJO).....	27
FIGURA 9. GLORIETA EN MEJORA DE LA POSIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO.....	28
FIGURA 10. FLUJO DE ENTRADA.....	30
FIGURA 11. FORMAS DE HACER LA COLA PARA ENTRAR A LA GLORIETA CON UN CARRIL MÁS	31
FIGURA 12. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE LA GLORIETA	31
FIGURA 13. ESQUEMA DE LOS TRÁFICOS QUE DEFINEN LA CAPACIDAD DE UNA GLORIETA DE UNA ENTRADA Y SUS VARIABLES (CETUR, 1986).....	34
FIGURA 14. CAPACIDAD SEGÚN LA FÓRMULA DEL CETUR.....	35
FIGURA 15. UBICACIÓN BARRIO QUIRINAL	39
FIGURA 16. GLORIETA CALLE 63 CON CARRERA 50.	40
FIGURA 17. CONTADOR.....	45
FIGURA 18. PLANILLA	46
FIGURA 19. RELOJ	46
FIGURA 20. CÁMARAS	47
FIGURA 21. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA GLORIETA Y SUS ACCESOS	48
FIGURA 22. UBICACIÓN DE AFORADORES	51
FIGURA 23. FORMATO DE CAMPO 01	52
FIGURA 24. DETERMINACIÓN DE HORA PICO EN AFORO DEL 16 DE AGOSTO DEL 2016	53
FIGURA 25. GRÁFICO DE LOS FLUJOS VEHICULARES VS HORA PARA CADA UNA DE LAS TRES ENTRADAS DURANTE TODO EL DÍA, AFORO DEL 16 DE AGOSTO DEL 2016	53
FIGURA 26. DETERMINACIÓN DE HORA PICO EN AFORO DEL 18 DE AGOSTO DEL 2016	54
FIGURA 27. GRÁFICO DE LOS FLUJOS VEHICULARES VS HORA PARA CADA UNA DE LAS TRES ENTRADAS DURANTE TODO EL DÍA, AFORO DEL 18 DE AGOSTO DEL 2016	54
FIGURA 28. UBICACIÓN DE AFORADORES EN HORA PICO	55
FIGURA 29. FORMATO DE CAMPO 02.	56
FIGURA 30. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULAR, AV. CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE-ORIENTE.....	57
FIGURA 31. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULAR, AV. CALLE 63 SENTIDO ORIENTE-OCCIDENTE.....	57
FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL VEHICULAR, CARRERA 50 SENTIDO SUR-NORTE	58
FIGURA 33. FLUJO DE VEHÍCULOS VS ACCESO	59
FIGURA 34. FLUJO DE VEHÍCULOS POR SENTIDO EN CADA ENTRADA DE LA GLORIETA.....	60
FIGURA 35. FACTOR DE CONVERSIÓN A VEHÍCULOS LIGEROS EQUIVALENTES. FHWA.....	61
FIGURA 36. FLUJOS DE ENTRADAS.....	63
FIGURA 37. DIFERENCIA ENTRE CAPACIDAD Y DEMANDA VEHICULAR POR ACCESO	65

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD.....	36
TABLA 2. MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO Y CAPACIDAD PARA VÍAS.....	41
TABLA 3. DEFINICIÓN DE VARIABLES CUANTITATIVAS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE LA GLORIETA....	43
TABLA 4. FASE 1 Y 2.....	44
TABLA 5. FASE 3.....	45
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS CARRILES.....	49
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA ISLETA CENTRAL.....	49
TABLA 8. INVENTARIO DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL	50
TABLA 9. COMPOSICIÓN VEHICULAR AV. CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE-ORIENTE	56
TABLA 10. COMPOSICIÓN VEHICULAR AV. CALLE 63 SENTIDO ORIENTE-OCCIDENTE	57
TABLA 11. COMPOSICIÓN VEHICULAR, CARRERA 50 SENTIDO SUR-NORTE	58
TABLA 12. MATRIZ ORIGEN-DESTINO	60
TABLA 13. MATRIZ ORIGEN-DESTINO CON LA COMPOSICIÓN VEHICULAR POR MOVIMIENTO.....	61
TABLA 14. MATRIZ ORIGEN-DESTINO CON FACTOR DE CONVERSIÓN.....	62
TABLA 15. CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR ENTRADA, SALIDA Y ANILLO	62
TABLA 16. RESUMEN DE LA CAPACIDAD.....	64
TABLA 17. RESUMEN DE LAS CAPACIDADES Y DEMANDAS POR ACCESO	67
TABLA 18. RELACIÓN DE LAS CAPACIDADES Y DEMANDAS POR ACCESO	68
TABLA 19. RELACIÓN DE LAS CAPACIDADES Y DEMANDAS POR ACCESO	68
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS DE LA GLORIETA Y EL TRÁFICO EN EL SENTIDO AV. CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE	69
TABLA 21. FACTORES DE HORA PICO (FHP).	70
TABLA 22. NIVEL DE SERVICIO (V/C) PARA CARRETERAS.	71
TABLA 23. NIVEL DE SERVICIO PARA UNA INTERSECCIÓN DEL 20%.....	71
TABLA 24. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL.....	72
TABLA 25. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN SEGÚN INVIAS.	72
TABLA 26. FACTORES DE AJUSTES POR EFECTO COMBINADO DE CARRILES ANGOSTOS Y HOMBROS RESTRINGIDOS.....	72
TABLA 27. FACTOR ANCHO DE CARRIL PARA CADA NIVEL DE SERVICIO.	73
TABLA 28. AUTOMÓVILES EQUIVALENTES POR CAMIONES Y AUTOBUSES, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE TERRENO.	74
TABLA 29. DATOS SEGÚN EL TIPO DE TERRENO.	74
TABLA 30. FACTOR DE VEHÍCULOS PARA CADA NIVEL DE SERVICIO, SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE	75
TABLA 31. VOLUMEN DE VEHÍCULOS EQUIVALENTE AL NIVEL DE SERVICIO.....	75
TABLA 32. ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL MANUAL DE CAPACIDADES DE LAS CARRETERAS (1994) VS EL VOLUMEN EQUIVALENTE EN LA HORA PICO.	76
TABLA 33. CARACTERÍSTICAS DE LA GLORIETA Y EL TRÁFICO EN EL SENTIDO AV. CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE.FUENTE: PROPIA	76
TABLA 34. FACTOR DE VEHÍCULOS PARA CADA NIVEL DE SERVICIO, SENTIDO ORIENTE - OCCIDENTE.	78
TABLA 35. VOLUMEN DE VEHÍCULOS EQUIVALENTES AL NIVEL DE SERVICIO.	78

TABLA 36. ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE LAS CARRETERAS (1994) VS EL VOLUMEN EQUIVALENTE EN LA HORA PICO.	79
TABLA 37. CARACTERÍSTICAS DE LA GLORIETA Y EL TRÁFICO EN EL SENTIDO AV. CALLE 63 SENTIDO SUR - NORTE	79
TABLA 38. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL SENTIDO SUR - NORTE.	80
TABLA 39. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN SEGÚN INVIAS.	80
TABLA 40. FACTORES DE AJUSTES POR EFECTO COMBINADO DE CARRILES ANGOSTOS Y HOMBROS RESTRINGIDOS.....	80
TABLA 41. FACTOR ANCHO DE CARRIL PARA CADA NIVEL DE SERVICIO	81
TABLA 42. FACTOR DE VEHÍCULOS PARA CADA NIVEL DE SERVICIO, SENTIDO SUR - NORTE	81
TABLA 43. ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO BASADO EN LA METODOLOGÍA DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE LAS CARRETERAS (1994) VS EL VOLUMEN EQUIVALENTE EN LA HORA PICO.	82

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación, hace referencia a la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. en donde la capacidad se define como el número máximo de vehículos en la vía que transitan en los dos sentidos, en un tramo uniforme y con un tiempo determinado¹, y el nivel de servicio como la calidad ofrecida por una vía para los usuarios que en ella transitan en cuanto a libertad de conducir y facilidad de maniobra dentro de la corriente vehicular².

Como parte fundamental en el desarrollo de la infraestructura vial en el país, se decidió evaluar la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 con el fin de solventar problemas presentes como la congestión y embotellamiento del flujo vehicular, lo cual incide directamente en la calidad de vida de los usuarios, ya que estudios demuestran que debido a los trancones ocasionados por parte del parque automotor puede llegar a darse una pérdida paulatina de la audición y problemas en la capacidad mental y estabilidad emocional por parte de los gases emitidos por dichos vehículos.

Para ello se empleó tres métodos no convencionales, Francés, Danés y Setur, en los cuales se analizó el flujo vehicular en cada uno de los ramales que conforman la glorieta en estudio, para verificar que la intensidad de vehículos entrante no supere la capacidad máxima de cada ramal.

Por consiguiente, se explica de manera detallada la forma como se calcularon las capacidades por estos tres métodos no convencionales, con el fin de realizar

¹ NARANJO HERRERA, Víctor. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales. Manizales, 2008, 121 h. Especialización en vías y transporte. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura

² Ibíd., p.27.

comparaciones y determinar la metodología de análisis apropiada para la evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C por métodos no convencionales.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las glorietas son un tipo de intersección especial en la cual el flujo vehicular es dirigido en un movimiento giratorio alrededor de una isleta central para comunicar los ramales que intervienen en ella³. Son utilizadas comúnmente como solución a los problemas de movilidad y de comunicación entre tres o más vías.

Debido a las facilidades para adquirir vehículos y motos, el parque automotor ha tenido un incremento promedio anual del 4.3% únicamente para vehículos particulares, siendo estos los más representativos según el informe del ministerio de transporte⁴, teniendo como consecuencia la congestión y el alto flujo de vehículos que ingresan a estas intersecciones.

En visita a campo a la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C se observó dificultades permanentes, como son la formación de largas filas vehiculares y baja velocidad de circulación en cada uno de los tres ramales que ingresan a la glorieta.

Según el periódico el tiempo⁵ los trancones obligan a que los usuarios permanezcan en una misma posición y expuestos a ruidos ensordecedores provocando efectos en los oídos, ya que se generan ruidos superiores a los 65 decibeles lo que eleva el riesgo de la pérdida paulatina de la audición. La congestión vehicular no solo repercute en los usuarios sino también en el medio ambiente ya que las emisiones de gases que expiden los vehículos contribuyen en gran medida a la contaminación ambiental.

³ BAÑON, Luis. Trafico en vías urbanas. Trafico. Bogotá. (s.f.).

⁴ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Parque automotor de transporte de carga en Colombia. Colombia: grupo de carga, 2000.3p.:il.

⁵ Fernández, Carlos. Esto causan los trancones en su organismo, de la cabeza los pies. En: El Tiempo, [en línea]. Bogotá D.C. 14, mayo, 2014. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13988619>.

Teniendo en cuenta problemas como: la contaminación auditiva, congestión vehicular, tiempos de espera y emisiones de gases que se presentan, se vio necesario determinar la capacidad y nivel de servicio actual de la glorieta mencionada; ésta al parecer es insuficiente para el volumen vehicular que transita por esta intersección

La revista semana⁶ anuncia que el Dr. Jiu-Chiuan Chen, epidemiólogo de la Universidad del Sur de California, encontró que estas emisiones de gases durante los trancones afectan la capacidad mental de las personas, esto debido a mediciones que hizo en 7500 mujeres de 25 estados de dicho país.

A partir de lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es 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?

⁶ VIDA MODERNA. El trancón enferma. En: Revista semana [en línea]. 12, noviembre, 2011. Disponible en: <http://www.semana.com/vida-moderna/articulo/el-trancon-enferma/249247-3>.

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a la congestión y al alto flujo vehicular que asiste en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en la ciudad de Bogotá D.C, está provocando que los vehículos (livianos y de carga pesada), permanezcan en un mismo sitio causando embotellamientos en la hora pico y generando una contaminación considerable mediante el ruido de las bocinas y de los motores encendidos constantemente, como consecuencia hay un bajo nivel de salud en los residentes del sector de modo que la emisión de gases y la cantidad de ruido ocasiona que el sector no se considere tranquilo ni accesible para convivir en armonía, y esto afecta tanto a los habitantes del sector como a los usuarios de la glorieta.

Por tal razón se hizo necesario el estudio para ayudar a solventar los problemas y poder mitigar el constante flujo vehicular y el alto nivel de accidentalidad, para ello fue necesario determinar si la glorieta estaba trabajando a su máxima capacidad la cual no permitiera una maniobra estable en la glorieta.

Se pretende, por medio de la evaluación de la capacidad y el nivel de servicio en la glorieta, dar un resultado actual del estado de la intersección para brindar los fundamentos que sirvan de insumo para próximos estudios y planteamientos de alternativas de solución o desarrollos futuros a corto o mediano plazo que permitan una disminución en los tiempos de viajes y accidentes de tránsito, ya que los habitantes del sector se están viendo afectados por los niveles de ruido, contaminación ambiental, estancamientos, robos continuos por la presencia de vehículos, entre otros. Y de esta forma brindar un buen servicio tanto a los usuarios que transitan en sus vehículos automotores como para los residentes aledaños a la glorieta.

Por esta razón se hizo preciso realizar un análisis detallado y unas recomendaciones que pudieran dar lugar a la futura implementación de nuevas alternativas de movilidad cuya solución brindara una mejor calidad de vida para los usuarios.

4. OBJETIVOS

3.1. General

Determinar la capacidad vehicular y nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. por medio de métodos no convencionales.

4.2. Específicos

- 1.** Identificar la hora pico en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá mediante la realización de aforos.
- 2.** Aplicar la metodología de análisis apropiada para medir la capacidad vehicular en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá.
- 3.** Calcular la capacidad vehicular y nivel de servicio en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá por métodos no convencionales.

4. ANTECEDENTES

Para obtener los antecedentes de la presente investigación se realizó un análisis exhaustivo de la información, encontrando distintos proyectos a nivel internacional como:

En la investigación de MARTIN, Marilo⁷ se planteó como objetivo analizar las mejoras operacionales y de capacidad en los suburbios y rotondas con señales de medición utilizando micro simulación de tráfico para las condiciones locales españolas en intersecciones de la CV-500, CV-401 y las carreteras CV-5010.

El cual tuvo como metodología analizar un solo carril de 80 m de diámetro en la rotonda circulo valencia (España), mediante grabaciones y aforos manuales cada dos horas (7:30 -9:30 am) y cinco horas el fin de semana (10:00 am a 15:00 pm) se describió el flujo del tráfico y composición vehicular obteniendo así la hora pico.

Para estudiar el proceso de aceptación de brecha, lagunas aceptadas, rechazo de las mismas y Headways se realizó un seguimiento medurado mediante grabaciones de vídeo de una cámara interna y una cámara de vigilancia del Centro de Gestión de Tráfico, que se encuentra en un poste en la rotonda.

Llegando a la conclusión que en la hora pico se obtuvo una demanda de 1.400 v/h a 1.700 v/h, en donde los camiones presentan un porcentaje muy bajo, en torno a un 0.5%. En cuanto a las grabaciones de video se obtuvieron matrices de Origen / destino (S / D).

El aumento de la capacidad es importante para los flujos contrapuestos superiores a 500 v / h. Para caudales en conflicto alrededor de 1.200 v / h, la capacidad se duplica (de 287 v / h hasta 600 v / h).

La presente investigación tuvo un aporte significativo en cuanto a ventajas en las señales de medición para mejorar los retrasos en la aceptación del hueco y mediante la micro simulación del trafico poder diseñar y optimizar la capacidad de la glorieta, aunque los resultados en esta investigación no han sido probados sirven como modelo de precaución ante el comportamiento de la glorieta debido a su geometría.

⁷ MARTIN, Marilo et al. Capacity and operational improvements of metering roundabouts in Spain. Garcia A, Moreno A, Llorca C. España: Universidad politécnica de Madrid, Spain. Volumen 15, 2016, P. 307.

KANG, Nan and NAKAMURA, Hideki⁸ tienen como objetivo en su investigación el análisis de impacto de los vehículos pesados en la entrada de la rotonda en cuanto a la capacidad en Japón.

Con el fin de reflejar la conducta de los vehículos pesados en Japón se determinó una metodología de análisis empírica de la velocidad y el comportamiento de la aceptación de la brecha a partir de la observación y de videos de 6:00 am a 4:00 pm en la rotonda situada en la ciudad de Hitachitaga , en la prefectura de Ibaraki en Japón.

Mediante una simulación microscópica en donde los parámetros de entrada se calibraron usando datos de campo como velocidad y parámetros Gap (tc vacío crítico, tiempo de seguimiento y mínimo avance) se obtuvieron análisis de los flujos de tráfico y de los vehículos a la entrada de la glorieta que están sujetos a la observación de la capacidad con un flujo constante de 1600 v/h.

Se concluyó que la capacidad de la entrada se reduce cuando aumenta el porcentaje de vehículos pesados y que la importancia del impacto de estos se debilita cuando el flujo de circulación es alto ya que dichos vehículos que entran deberían dar prioridad al flujo circulante.

Esta investigación tuvo un gran aporte ya que los resultados obtenidos mediante la micro simulación fueron realistas teniendo en cuenta las características de los vehículos pesados, estos disminuyen la capacidad de la glorieta debido a la velocidad y la maniobra en ella.

A nivel nacional y local se encontraron como antecedentes principales:

GALARRAGA, HERZ Y ALBRIEU⁹. Mediante un proyecto de investigación se planteó como objetivo mejorar el análisis de la capacidad y nivel de servicio de las gloriets urbanas mediante estimaciones de coeficientes de cálculo.

Para la sustentación de los datos los investigadores emplearon filmaciones tomadas desde un centro de control de tránsito de la municipalidad, mediciones específicas y aforos en dicha glorieta. Se emplearon modelos de simulación de tránsito para analizar la validez de las modificaciones propuestas¹⁰.

⁸ KANG, Nan and NAKAMURA, Hideki. An analysis of heavy vehicle impact on roundabout entry capacity in Japan. Japan: Volumen 15. P. 308-318

⁹ GALARRAGA, HERZ Y ALBRIEU. Capacidad y nivel de servicio en calles urbanas. Córdoba: Maestría en ciencias de la ingeniería con mención de transporte. Sf.

¹⁰ Ibíd., p. 16.

El trabajo se efectuó, tanto para intersecciones semaforizadas como para intersecciones no semaforizadas (incluyendo glorietas), el análisis realizado sobre algunas variables relevantes como la aceptación de intervalos, permitieron concluir que dichos factores dependen de la reacción de los conductores frente al dominio de la glorieta, ya que a medida que los semáforos se encuentren más cercanos en la glorieta el flujo decrece formando colas inmediatas.

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron ganar confianza sobre las recomendaciones para la estimación de demoras ya sea en intersecciones semaforizadas o no semaforizadas ya que se propusieron ajustes razonables que podrían emplearse en otras ciudades.

NARANJO HERRERA, Víctor¹¹ El presente documento tuvo como objetivo analizar la capacidad y nivel de servicio de las diferentes vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales ya que se encuentran evidenciando dificultades permanentes.

Para ello se elaboró un diagnóstico de la capacidad y nivel de servicio¹² con base en información existente y recopilación en campo (mediciones topográficas, de ancho de carril y ancho de berma) utilizando dos modelos diferentes (Manual colombiano y el manual americano) para posteriormente comparar los resultados obtenidos por medio de estos dos métodos.

En conclusión, todas las vías de acceso a la ciudad de Manizales presentaron una buena capacidad, por tanto, no se espera que se saturen a corto plazo, en cuanto al nivel de servicio se mantiene una velocidad reducida y una dificultad de adelantamiento debido a las colas formadas por los vehículos.

Según el diagnóstico aportado por este estudio, en Colombia no existe una metodología propuesta para realizar el análisis de la capacidad y nivel de servicio en carreteras multicarriles por tanto es necesario basarse en el manual HCM 2010

Por consiguiente, un gran aporte fue el uso del manual HCM ya que el manual americano es un método que no puede ser aplicado debido a las condiciones geométricas de las vías en Colombia (relieve).

En la investigación de OCHOA PINEDA, Emilio¹³ se planteó como objetivo realizar una verificación en una intersección existente recientemente remodelada o en

¹¹ NARANJO HERRERA, Víctor, Op. Cit., p. 12.

¹² Ibíd., p. 14.

¹³ OCHOA PINEDA, Emilio. Estudio de los criterios de diseño geométrico de las intersecciones a nivel según la Aashto. Medellín, 2009, 36h. Título de especialista en vías y transporte. Universidad nacional de Colombia. Facultad de minas.

proceso de remodelación mediante la aplicación de criterios según el manual americano o el de AASHTO, estos manuales tratan criterios geométricos para brindar un adecuado diseño carreteras e intersecciones

Se realizó el estudio de una intersección existente y de los manuales de diseño (AMERICANO y AASHTO) para posteriormente presentar criterios que deben ser tenidos en cuenta para la remodelación de la intersección y sus posibles análisis.

A partir de este tipo de análisis y escogiendo el método más apto para este estudio, siendo este el manual AASHTO, se verificaron los criterios de diseño geométrico¹⁴.

Así mismo se llegó a la conclusión que varios factores analizados en la intersección existente eran acordes a las recomendaciones plantadas por el manual de la AASHTO, no obstante, también se encontraron ítems que no cumplen según el manual, como son: los radios de curvatura, distancia de visibilidad y los giros directos.

Uno de los aportes con este estudio fue entender que la norma colombiana se ha basado en la norma norteamericana para así ser adaptada a condiciones de estratificación terrestre en Colombia, lo cual hace que este estudio se base en dicho manual.

¹⁴ Ibíd., p. 11.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1. Aspectos generales

Las glorietas o rotondas como también son llamadas surgieron debido a un ingeniero británico llamado Frank Blacmore en los años 60 cuyo propósito era el de lograr el paso de autos de forma segura y mitigar un poco el uso de semáforos.

“Bajo la denominación de glorieta se designa a un tipo especial de nudo, caracterizado porque los tramos que en el confluyen se comunican a través de un anillo en el que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central”¹⁵

Por consiguiente, son construcciones en forma circular que permiten el cruce de distintos caminos reduciendo los accidentes así, por ejemplo, si un vehículo quiere circular por la rotonda entrara directamente cuando vea un hueco.

Debido a esto, no se considera glorieta a las denominadas “glorietas partidas”, ya que estas conectan dos tramos opuestos a través de una isleta central en donde los vehículos no tienen una circulación rotatoria con respecto a la isleta.

Debido a sus cualidades geométricas las glorietas se ven como una herramienta de control de tráfico. Sin embargo, según las instrucciones de construcción¹⁶ la anchura de su entrada determina la capacidad de un acceso a una glorieta. Por otra parte, la inflexión de la trayectoria del vehículo en dicha entrada influye en su velocidad, y por tanto en la seguridad, especialmente si la velocidad de acceso es elevada

¹⁵ INSTRUCCIONES DE CONSTRUCCIÓN. Recomendaciones sobre glorietas. Madrid: Ministerio de fomento. Centro de publicaciones, 1999. 6 p.: il. (Series normativas. Instrucciones de construcción.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 6.

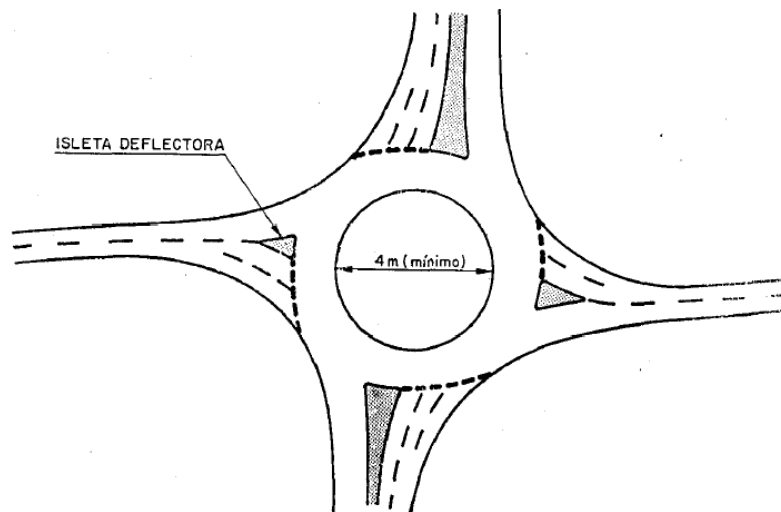
5.1.2. Tipos de glorietas

Las glorietas se clasifican según su geometría, se reconocen tres tipos básicos: Normal, mini glorieta y doble. Las glorietas a distinto nivel, con semáforos, o de intersección anular son variantes de los tipos de glorieta básicos.

5.1.2.1. Glorieta Normal

Se caracteriza por tener una isleta central dotada de bordillos de 4 metros o más de diámetro con entradas abocinadas que permiten la entrada de vehículos, cuentan con 3 o 4 tramos, pero funciona mejor con 3, por consiguiente, si el número de tramos asciende a 4 la glorieta ha de ser mayor lo que conlleva a que las velocidades aumenten por tanto es recomendable que la glorieta sea de tipo doble¹⁷.

Figura 1. Glorieta normal



Fuente: Instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999. P, 12.

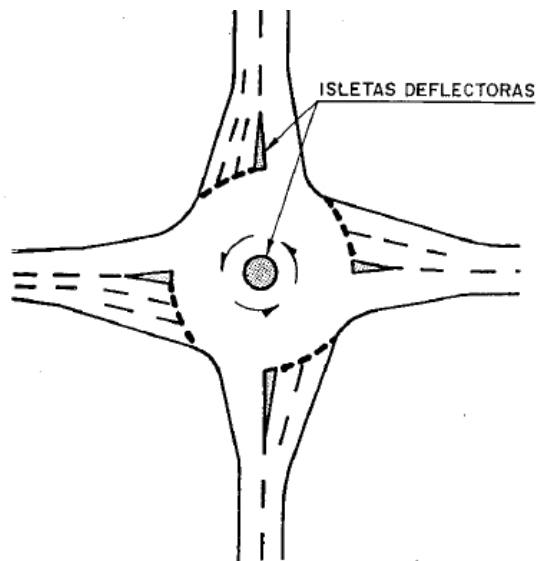
¹⁷ Ibid., p. 96.

5.1.2.2. Mini glorieta

Se caracteriza por tener una isleta circular a nivel o ligeramente abombada hasta una altura de 15 metros en su centro, lo que la hace más identificable a la vista de los conductores, las entradas se pueden encontrar abocinadas o sin abocinar con menos de 4 metros de diámetro y con una velocidad limitada de operación de 50km/h para quienes la transitan¹⁸.

Debido a que se trata de una miniglorieta sus entradas tienen poca distancia lo que conlleva a que los conductores estén atentos a la presencia de otro vehículo.

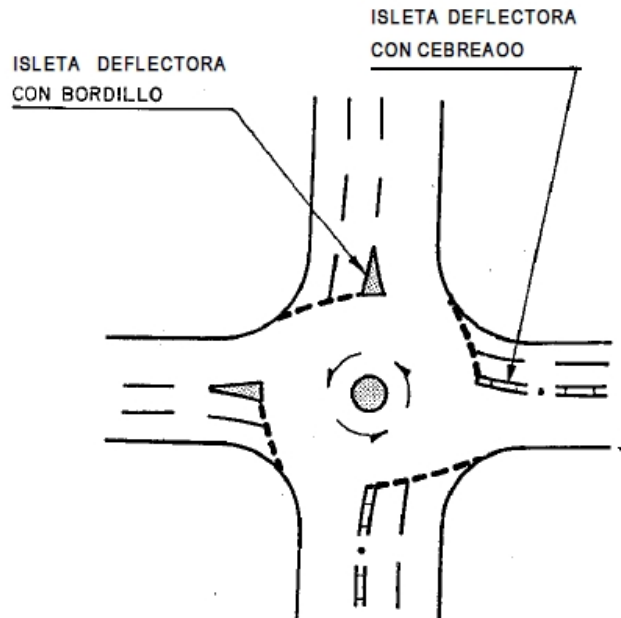
Figura 2. Isleta con entradas abocinadas



Fuente: Instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999. P, 13.

¹⁸ Ibíd., p. 97.

Figura 3. Isleta sin abocinar



Fuente: Instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999. P, 13.

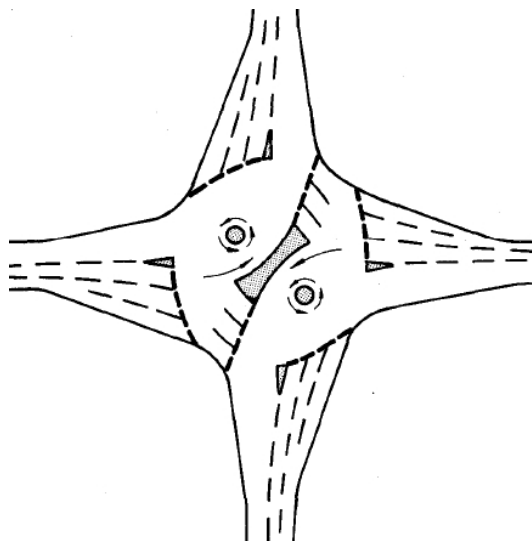
5.1.2.3. Glorieta Doble

Son intersecciones compuestas por dos glorietas normales o miniglorieta conectadas por una isleta alargada materializada por un bordillo (Figura 4. Tramo continuo).

Como bien lo dice Rodríguez & Martínez¹⁹, las glorietas se pueden observar contiguas o con tramo de unión de modo que las intersecciones con más de 4 tramos tienen una mayor capacidad y un uso más eficiente del espacio de modo que son utilizadas para unir dos carreteras paralelas separadas por ríos, un ferrocarril o autopista, para acondicionar intersecciones existentes separando giros a la izquierda opuestos con la ordenación.

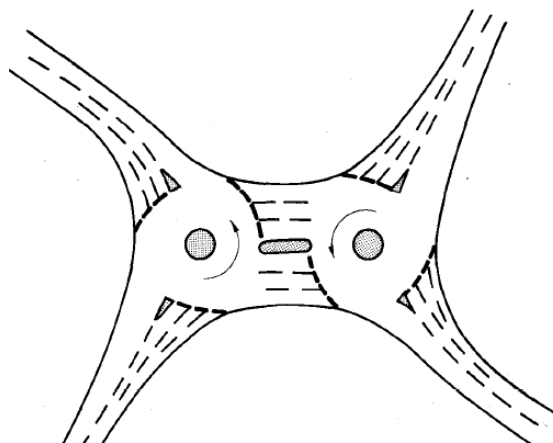
¹⁹ RODRIGUEZ, Erbin y MARTINEZ, Néstor. *Diagnóstico de la geometría vial del cruce "monumento de león en la ciudad de Girardot. Su planeación y diseño como glorieta de acuerdo a las normas nacionales invias*. Girardot, 2013. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de Ingeniería Civil.

Figura 4. Tramo continuo



Fuente: Instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999. P, 14.

Figura 5. Con tramo de unión

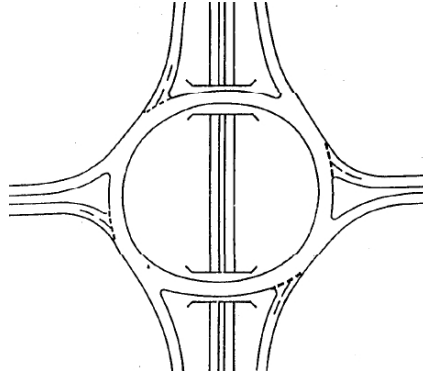


Fuente: Instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999. P, 14.

5.1.2.4. Glorieta de dos puentes

Debido a su gran tamaño se presentan velocidades elevadas lo cual reduce la capacidad y sobre todo la seguridad ya que se incrementan los problemas de percepción²⁰

Figura 6. Glorieta a distinto nivel con dos puentes

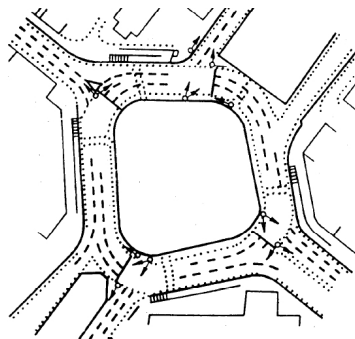


Fuente: <http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Glorieta> (23/10/16)

5.1.2.5. Glorieta con semáforos

Cuando una glorieta se encuentra semaforizada parcial o totalmente es debido a su alta concurrencia por los vehículos y por su reparto desequilibrado en las entradas a la glorieta lo que genera una mala circulación en ella.

Figura 7. Glorieta con semáforos



Fuente: <http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Glorieta> (23/10/16)

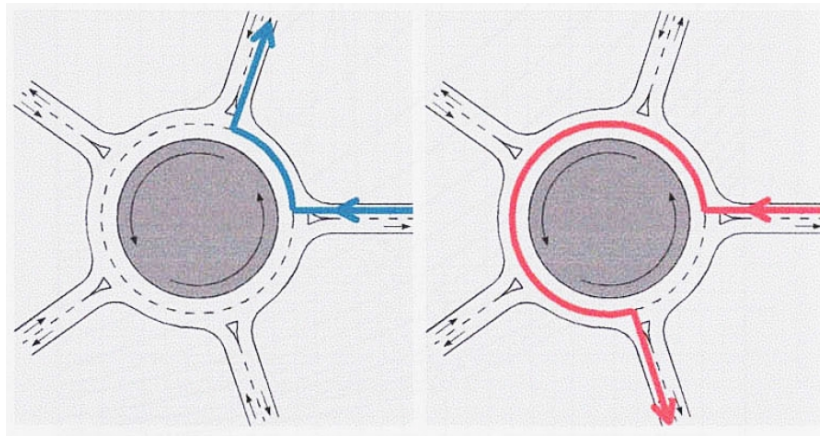
²⁰ INSTRUCCIONES DE CONSTRUCCIÓN. Recomendaciones sobre glorietas. Op.cit., p.15.

5.1.3. Intersecciones Giratorias

En las intersecciones giratorias con prioridad al anillo la capacidad depende de la distribución del tráfico en los diferentes ramales ya sean entradas o salidas⁵

Así bien, no es lo mismo que un vehículo entre a la glorieta y realice un recorrido corto a hacer un recorrido más largo en donde aumente la probabilidad de conflicto con otros vehículos como se muestra en la Figura 8. *Recorrido "optimo" (azul) vs recorrido "critico" (rojo).*

Figura 8. Recorrido "optimo" (azul) vs recorrido "critico" (rojo).



Fuente: BAÑON, Luis. Trafico en vías urbanas. Trafico. Bogotá.

El tráfico que circula por el anillo y el que entra por el ramal son independientes ya que un mayor tráfico presente en la glorieta dificultara el acceso de los vehículos por los ramales y viceversa.

Así mismo no hay una capacidad global ya que según Bañon²¹, las glorietas no se presentan como una sucesión de tramos sino una asociación de intersecciones en donde cada ramal tiene una capacidad individual

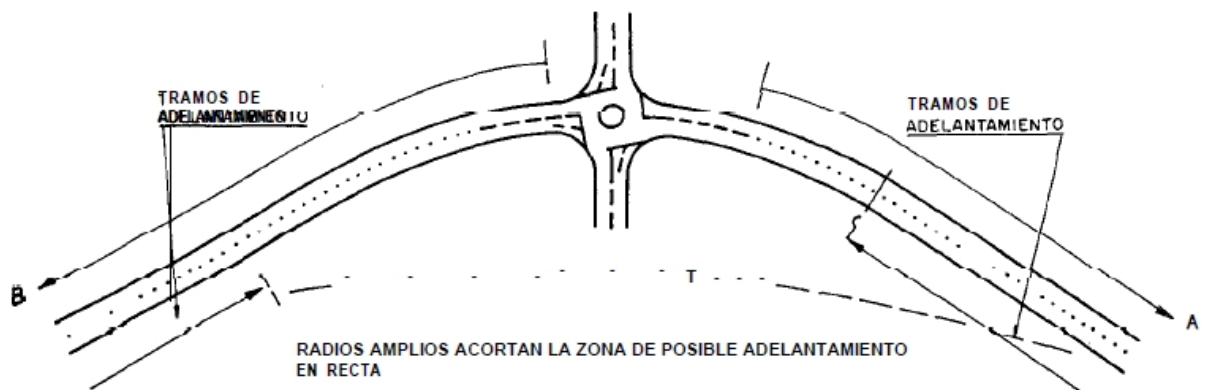
²¹ BAÑON, Óp. Cit., p. 4.

5.1.4 Tipos de acceso

En Vías de calzada única donde adelantar es restringido debido al alto flujo que concurre la calzada es debido la implantación de glorietas para tener un mejor acceso y maniobra en la vía, así como muestra la Figura 9. Glorieta en mejora de la posibilidad de adelantamiento.

Según la serie normativa²² No es recomendable emplear glorietas en carreteras de calzadas separadas de más de dos carriles cada una, ya que se interrumpe su continuidad.

Figura 9. Glorieta en mejora de la posibilidad de adelantamiento



Fuente: Instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999. P, 18.

5.1.4.1. Velocidad

Cuando hay una glorieta, ésta obliga a que los conductores disminuyan la velocidad lo cual conlleva a marcar un cambio en la funcionalidad de la vía, marca si es una zona urbana, suburbana o fuera del poblado, ya que no tienen la misma velocidad de operación.

Las zonas urbanas tienen limitaciones de espacio, altas intensidades, imponen recorridos más largos a peatones y ciclistas, fuera del poblado las glorietas

²² INSTRUCCIONES DE CONSTRUCCIÓN. Recomendaciones sobre glorietas. Óp. cit., p.18

manejan altas velocidades de acceso, menor variación de la intensidad y poca limitación de espacio.²³

5.1.5. Capacidad de la glorieta

Es la estimación máxima de vehículos a los que una vía puede dar servicio de modo razonable y seguro.²⁴

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar se podrá calcular su calidad y operación, considerando que estas pueden ser de circulación continua o discontinua, estas se identificarán debido a que las que presentan una circulación continua no tienen elementos externos más que el flujo de vehículos que por ella transita, mientras que la circulación discontinua presenta elementos como semáforos y señales de tránsito que interfieren en el flujo libre.

Por consiguiente, se podrá determinar la capacidad del sistema vial teniendo en cuenta factores como características geométricas y flujo vehicular bajo.

5.1.5.1. Factores

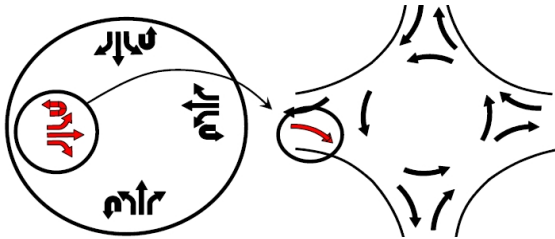
5.1.5.1.1. Flujo Vehicular

Como se ha mencionado anteriormente en el cálculo de la capacidad de la glorieta se debe tener en cuenta factores como el tráfico que discurre por la calzada anular (Flujo del anillo) y el máximo que podría entrar. El flujo que entra es la suma de los vehículos que van rectos, los que voltean a la derecha o izquierda y los que retornan como se observa en la *Figura 10. Flujo de entrada*.

²³ Ibíd. P. 18

²⁴ GRANADOS, Francisco. *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreras HCM2000 aplicando MATHCAD: Capacidad y nivel de servicio*. México, 2012. Tesis. Universidad Nacional Autónoma De México Ingeniería Civil

Figura 10. Flujo de entrada



Fuente: instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999 p 16.

Es evidente aclarar que si hay una entrada de vehículos que supere el máximo permitido por la capacidad de la glorieta habrá un incremento en el desequilibrio de los flujos afectando así la capacidad de la glorieta.

5.1.5.1.2. Geometría de la intersección

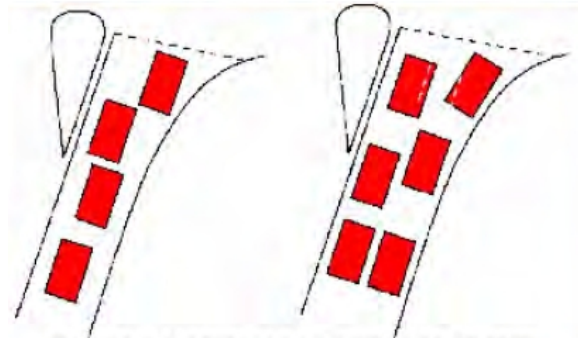
Como bien lo dice Martin²⁵, las recomendaciones geométricas se basan en el factor capacidad y en el factor seguridad, este primero corresponde a que el diseño de la glorieta tenga un funcionamiento fluido de vehículos sin llegar al colapso, mientras que el segundo corresponde a los bajos índices de accidentabilidad que se podrían presentar por la geometría de la glorieta.

Adicionalmente los cambios en los parámetros geométricos producen modificaciones en la capacidad ya que hay una relación proporcional entre la amplitud de la entrada y el ancho de la misma.

A continuación, se muestra en la Figura 11. Formas de hacer la cola para entrar a la glorieta con un carril más, como el aumento de un carril hace que la entrada a la glorieta presente menores tiempos y menor obstrucción del flujo.

²⁵ MARTIN, Dolores. *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico. Geometría de la intersección*. 1ª Ed Julio 2012. Catedra Abertis, 592 h. Proyecto. Universidad Politécnica de Valencia. Ingenieros de Caminos y de puertos.

Figura 11. Formas de hacer la cola para entrar a la glorieta con un carril más



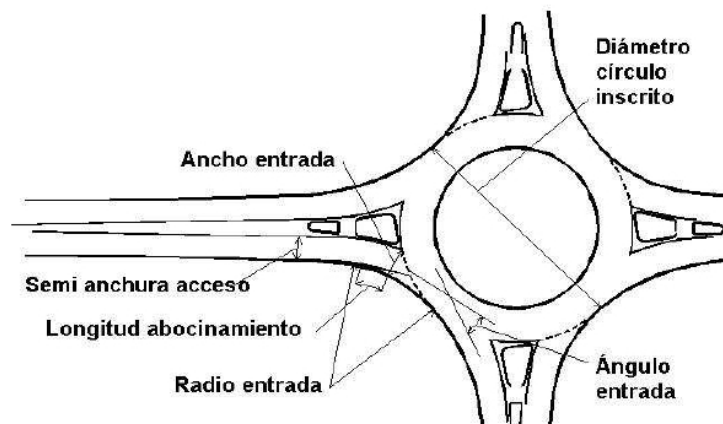
Fuente: MARTIN, Dolores. *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico*, 2012 p 33.

Parámetros como anchura de la entrada y anchura al acceso, como se infiere en la figura, son relevantes en la determinación de la capacidad de la glorieta, otros parámetros geométricos a tener en cuenta son:

- Angulo del abocinamiento
- Angulo de entrada
- Diámetro del círculo inscrito
- Radio del bordillo de la entrada

Dicho lo anterior se muestra en la Figura 12. Parámetros geométricos de la glorieta, los parámetros geométricos ya aplicados en la glorieta.

Figura 12. Parámetros geométricos de la glorieta



Fuente: instrucciones de construcción. Recomendación sobre glorietas, 1999 p 16.

De los cuales tres tienen una importancia particular que son la anchura de la entrada, anchura de acceso y el ángulo de abocinamiento, ya que a entradas más amplias requieren una anchura total de la calzada anular mayor. Los otros tres parámetros tienen un menor efecto.

El conocimiento de los parámetros geotécnicos permite un manejo adecuado en el diseño de la glorieta para determinar efectos de capacidad y seguridad o cual hará óptimo el diseño para los usuarios²⁶

5.1.6. Métodos para determinar la capacidad

Existen metodologías de forma empírica y analítica (modelos teóricos de tipo probabilístico), los modelos empíricos están representados por el reino unido que son a base de regresiones, mientras que el modelo analítico o la aceptación del hueco están representado por Australia.

Como bien dice Martin casulla²⁷, Los modelos empíricos se basan en datos de campo permitiendo relacionar características entre la geometría de la glorieta y las medidas de del funcionamiento, tales como capacidad y demora.

5.1.6.1. 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.

Así pues, el método a utilizar para estimar la capacidad de la glorieta es de concepción parecida al método ingles pero con algunas modificaciones, ya que el método francés contempla como tráfico molesto a aquellos vehículos que circulan por el anillo central dificultando así la incorporación de nuevos vehículos, mientras que el método ingles considera como tráfico molesto el 20% de los vehículos que abandonan la calzada anular y su capacidad como una función del flujo anular.

²⁶ Ibid., p. 35.

²⁷ Ibid., p. 48

Por ende, el CETUR²⁸ francés 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.²⁹

Por consiguiente, se muestra el caso para una entrada y calzada anular de un solo carril³⁰.

$$Q = 1500 - \left[\frac{5}{6} (Q + 0.2 * Q) \right]$$

Ecuación 1. Formula simplificada CETUR, 1986

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

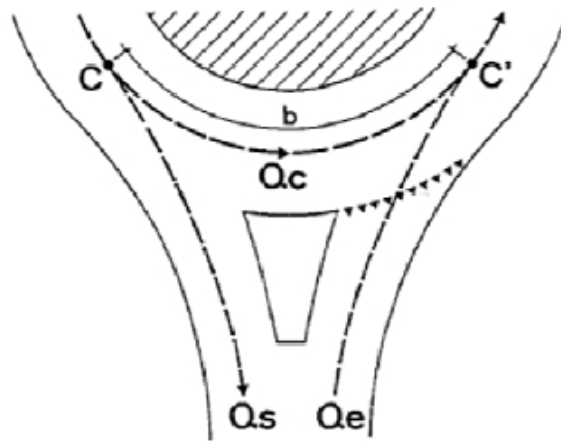
Esta fórmula es de gran sencillez, ya que no intervienen características geométricas y se aplica para glorietas con un solo carril en la entrada y el anillo, como se muestra en la *Figura 13. Esquema de los tráfico que definen la capacidad de una glorieta de una entrada y sus variables (CETUR, 1986)*

28 (Center d'études des transports urbains)

29 Formula CETUR, 1986, conocida como la regla de los 1500: tráfico molesto + tráfico entrante= 1500Vh/h, modificación del grafico SENTRA, 1984.

30 MARTIN, Op. Cit., P. 64

Figura 13. Esquema de los tráficos que definen la capacidad de una glorieta de una entrada y sus variables (CETUR, 1986)



Fuente: MARTIN, Dolores. Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico, 2012. P, 70.

Cuando la glorieta no cumple con dicha simplicidad, es decir tiene más de un carril y anillo se propone una serie de correcciones por geometría (K) mostradas a continuación.

$$C = 1500 - K * \left[\frac{5}{6} (Q + 0.2 * Q) \right] > Q_e$$

Ecuación 2. Formula simplificada CETUR, 1986.con factor de corrección.

Con esta fórmula se comprueba que la capacidad de entrada **Ce** es superior al tráfico de entrada **Qe**.

Dónde:

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

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

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

Qe = Tráfico de entrada en el ramal analizado

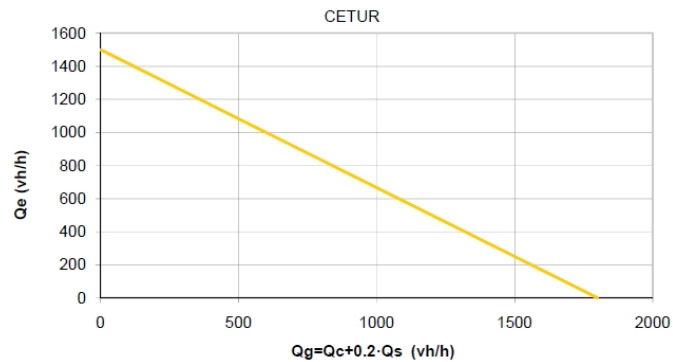
K = Coeficiente de corrección por la geometría del acceso

Corrección por geometría (K)³¹

- 1.00 para glorieta con calzada anular de un carril.
- 0.90 en glorieta de pequeño diámetro (10 a 30m) con calzada anular de 8 m y de anchura media (2 carriles)
- 0.70 si se trata de glorieta de mayor diámetro, con calzada anular de al menos 8 m. (2 carriles)

A continuación, en la Figura 14. Capacidad según la fórmula del CETUR, se muestra la gráfica de la Capacidad de entrada en vehículos Ligeros equivalentes/hora vs tráfico molesto

Figura 14. Capacidad según la fórmula del CETUR



Fuente: MARTIN, Dolores. Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorieta con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico, 2012. P, 71.

5.1.6.2. Método Danés

El método danés utiliza una relación exponencial de la siguiente forma³².

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

³¹ MARTIN, Op. Cit., P. 66

³² MARTIN, Op. Cit., P. 76

Donde

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

Q_c =Flujo anular en veh/h

Para reemplazar las variables T y D se deben obtener los valores de la Tabla 1. Parámetros para el cálculo de la capacidad.

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

Fuente: MARTIN, Dolores. Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico, 2012. P, 70.

5.1.6.3 Método Setur.

El Setur publicó en 1987 un método simple que consiste en el cálculo de la capacidad de los accesos a la glorieta³³.

La fórmula de capacidad se mostrará a continuación

$$C = (1330 - 0,7 * Q) * (1 + 0.1 * (e - 3,5))$$

En donde:

C= Capacidad de la entrada en veh/h

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

E= Anchura de la entrada medida desde ceda el paso

Debido a que el tráfico saliente de la calzada anular se presenta como molesto se debe tener en cuenta por tanto se procede a realizar el cálculo de la siguiente forma:

³³ MARTIN, Op. Cit., P. 100

$$Q = \left(Q_c + \frac{2}{3} * Q's \right) * [1 - 0,085(u - 8)] \quad v \quad h/h$$

La variable $Q's$ se obtendrá de la siguiente forma:

$$Q's = Q \left(\frac{15 - L}{15} \right) \quad v \quad h/h$$

Donde L es la anchura de la isleta deflectora en metros.

Este método tiene algunos parámetros geométricos en cuenta como anchura de entrada, la del anillo de circulación y la de la isleta deflectora, pero la variable más importante para este método es la anchura de la entrada ya que cada metro por encima de estándar de 3.5 propone un aumento del 10% en la capacidad.

5.1.7. Nivel de servicio

Según NARANJO Víctor³⁴, Es la calidad ofrecida por una vía para los usuarios que en ella transitan en cuanto a libertad de conducir y facilidad de maniobra dentro de la corriente vehicular.

Por consiguiente, el nivel de servicio se determina mediante métodos cualitativos o cuantitativos, este primero es a partir de la percepción de los usuarios con respecto a aspectos de circulación como velocidad, tiempo de recorrido, seguridad, entre otros, y en cuanto al cálculo cuantitativo se tienen en cuenta variables como el radio de la glorieta, la capacidad de entrada por cada acceso y las demoras.

Con respecto a lo anterior se han definido seis niveles de servicio que van desde el A al F³⁵, siendo A una representación del mejor nivel de servicio y F la peor.

A continuación, una descripción de cada nivel de servicio que se pueden presentar en una vía³⁶.

- Nivel de servicio A

³⁴ NARANJO, Víctor. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales. Manizales, 2008, 212 h. Especialización en vías y transporte. Universidad nacional de Colombia sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

³⁵ Ibíd., P. 47

³⁶ APUNTES DE CLASE de Justo Elpidio Rosero, Profesor de la materia Tránsito y transporte de la Universidad la Gran Colombia. Bogotá, 21 de agosto de 2014

Es el mejor servicio en la vía, es muy estable el tramo de carretera, cómodo, absoluta libertad de velocidad y maniobra.

La máxima intensidad horaria en este nivel es de 420 v/h, demoras del 30% a una velocidad de 90km/h

- Nivel de servicio B

Estable, cómodo, libertad de velocidad pero se reduce un poco la maniobra.

La máxima intensidad horaria es de 720 v/h demoras del 45% a una velocidad de 80 km/h

- Nivel de servicio C

Estable, cómodo, se reduce la velocidad y maniobra.

La máxima intensidad horaria es de 1200 v/h, demoras del 60% a una velocidad de 60km/h

- Nivel de servicio D

Estable, baja libertad de maniobra lo que hace que se presente una incomodidad en el tramo.

La máxima intensidad horaria es de 1800v/h, demoras del 75% a una velocidad de 50km/h

- Nivel de servicio E

Capacidad del tramo, formación de largas colas de vehículos, imposible de efectuar adelantamientos.

Demoras del 100%, velocidades inferiores a 40 km/h, nada de libertad de maniobra ni de velocidad.

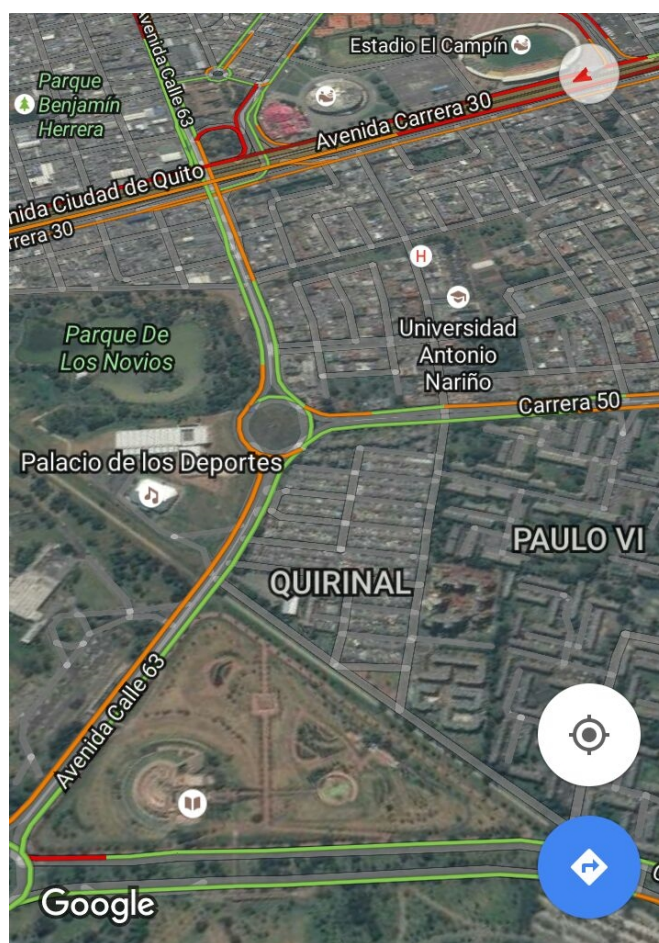
- Nivel de servicio F

Supera la capacidad, hay colapso total y su circulación se realiza de forma forzada.

5.2. MARCO GEOGRÁFICO

La zona de estudio se encuentra, ubicada en el barrio quirinal como se observa en la Figura 15. Ubicación barrio Quirinal, al norte se encuentra el complejo acuático simón bolívar y el parque de los novios, al sur con la universidad Antonio Nariño, al occidente la biblioteca Virgilio Barco y al oriente el parque Benjamín Herrera.

Figura 15. Ubicación barrio Quirinal



Fuente: <https://maps.google.es/>

La glorieta cuenta con tres ramales o intersecciones y un anillo, en el sentido oriente-occidente la glorieta da vía por la calle 63 y en el sentido sur da vía por la carrera 50 así como se observa en la *Figura 16. Glorieta calle 63 con carrera 50.*

Figura 16. Glorieta calle 63 con carrera 50.



Fuente: <https://maps.google.es>

Esta glorieta controla la velocidad de los vehículos que la atraviesan, ya que el radio de esta les obliga a no superar cierta velocidad y evitan la necesidad de semáforos la vía.

5.3. MARCO LEGAL

Tabla 2. Manual de diseño geométrico y capacidad para vías.

LEY	DESCRIPCION
Manual de capacidad para carreteras de dos carriles 6 segunda versión ³⁷ adoptado mediante resolución no. 005864 del 12 de noviembre de 1998 del 7 instituto nacional de vías.	Efectos del diseño geométrico Utilización de las técnicas de evaluación para determinar la capacidad
Manual de Diseño Geométrico para Carreteras ³⁸ , adoptada por Resolución No. 005865 de 1998, emanada de la Dirección General del Instituto	Guías para el cálculo de la distancia de visibilidad de adelantamiento
AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). A Policy on geometric design Highways and streets	Distancias de Visibilidad según la Velocidad Específica del elemento geométrico que se recorre

Fuente: propia

³⁷ Manual: Actualización del Manual de Capacidad y NDS de Colombia – 2015. En: Manual de capacidad y nivel de servicio 2015 (En boletín) <https://sites.google.com/site/hcmcol2015/manual>. Sf.

³⁸ Manual de carreteras, Diseño Geométrico DG-2013

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACION

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido a que se obtuvieron variables numéricas como aforos direccionales, composición vehicular en cada acceso, y un levantamiento topográfico para posteriormente estimar la capacidad de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C por métodos no convencionales

6.2. TIPO DE INVESTIGACION

Tipo de investigación fue de índole descriptivo cuyo fin principal fue el estudio de una glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. por métodos no convencionales

Para llevar a cabo esta finalidad metodológica se obtuvo información mediante aforos, registro fotográfico, levantamiento topográfico y una matriz origen-destino la cual permitió establecer metodologías de análisis mediante aforos vehiculares para la identificación de variables cuantitativas, como la hora pico, capacidad de la glorieta con el fin de establecer metodologías de análisis en la glorieta por medio de este método probabilísticos para evaluar la capacidad.

El diseño metodológico se planteó con el propósito de lograr una calidad de flujo vehicular en la glorieta y así brindarle satisfacción al usuario y a la comunidad colindante a la glorieta en cuanto a tiempos de viajes, contaminación auditiva y visual.

6.3. VARIABLES

Tabla 3. Definición de variables cuantitativas para determinar la capacidad de la glorieta.

Nombre	Escala	Definición Operativa	Categoría
Levantamiento topográfico	Cuantitativo	A través de la determinación de estas variables numéricas se encontraron datos imprescindibles para analizar la capacidad de la glorieta.	Número de carriles, anchos de carriles, ancho de vías, longitud de la isleta, radio, entre otros.
Aforos direccionales	Cuantitativo	Se determinó la hora pico.	% de vehículos que se concentran en una hora determinada
Composición vehicular	Cuantitativo	Número del parque automotor que pasa por la hora pico.	% de automóviles, % de motos, % de buses, % camiones.
Matriz origen destino	Cuantitativo	Determinación de rutas.	Cantidad de vehículos por salida, por entrada y los que transitan por el anillo
Capacidad de la glorieta	Cuantitativo	Especificar si la capacidad de la glorieta es baja con respecto al flujo vehicular por medio de métodos no convencionales	Cantidad de vehículos que transitan por la glorieta

Fuente: propia

6.4. FASES

La investigación tuvo tres fases tal cual fueron los objetivos planteados, como se observa en la Tabla 4. Fase 1 y 2, y Tabla 5. Fase 3

Tabla 4. Fase 1 y 2

Fase 1	
Ejecución de Aforos	
No.	ACTIVIDAD
1	Identificar el número de carriles, entradas y salidas de la glorieta para su posterior intervención.
2	Realizar aforos direccionales, durante dos días con un tiempo individual de 14 horas (de 0600 a 2000 horas) en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. para obtener la hora pico.
3	Clasificación del tránsito mezclado, es decir de los vehículos y motos que transitan por la glorieta, tanto livianos (vehículo automotor de dos ejes simples con sistema de rueda simple) como buses, busetas y colectivos.
Fase 2	
Metodología de Análisis	
No.	ACTIVIDAD
1	Al establecer la hora pico se procederá a realizar un nuevo aforo utilizando el método de las placas, en donde se observa la ruta que toman los conductores en la glorieta (por donde entran y por donde salen) esto para determinar la matriz origen-destino.
2	Recopilación de la información obtenida mediante los aforos por placas realizados en la glorieta con el fin de tabularlos y obtener la matriz origen-destino.
3	Cuantificar el flujo de vehículos por sentido en cada entrada a la glorieta para posteriormente reemplazarlos en el método Francés, Danés y Setur y aplicar la metodología apropiada.

Tabla 5. Fase 3

Fase 3. Análisis de la capacidad vehicular y nivel de servicio	
No.	ACTIVIDAD
1	A partir de establecer la metodología apropiada se determinará la capacidad vehicular de la glorieta por tres métodos no convencionales para determinar cuál es el más apropiado.

6.5. INSTRUMENTOS

Para dar alcance a esta investigación se establecieron distintas técnicas y uso de herramientas como el levantamiento topográfico de la zona, contador de vehículos, reloj, planilla, esfero, cámaras; para observar las rutas que cada conductor toma en el transcurso de la hora pico cuyo, fin específico es el de brindar información para posteriormente darle una finalidad a esta metodología.

Por consiguiente, los instrumentos que se utilizaron a continuación son los medios indirectos por los cuales fue posible recopilar información para su posterior análisis y ejecución.

6.5.1. Contador de vehículos

Figura 17. Contador



Fuente: Propia

Este acumulador sirve para llevar el registro de los vehículos que transitan en la vía en una hora determinada, tiene un tope de 9999 vehículos, luego de este tope el marcador vuelve a cero para iniciar nuevamente el conteo.

6.5.2. PLANILLA

Figura 18. Planilla



Fuente: Propia

Las planillas son formularios impresos que facilitan el conteo de vehículos, ya que cuentan con divisiones cada 15 minutos para llevar un mejor control de los vehículos que pasan sobre cada acceso a la glorieta.

6.5.3 Reloj

Figura 19. Reloj



Fuente: Propia

Este instrumento es parte fundamental en los aforos de vehículos, ya que los conteos deben ser cada 15 minutos, de tal modo que en una hora se hacen 4 conteos, por tanto, el reloj es crucial para llevar registro del tiempo.

6.5.4. Cámaras

Figura 20. Cámaras



Fuente: Propia

Instrumentos utilizados para grabar el acceso y salidas de vehículos en la hora pico para posteriormente realizar la matriz origen-destino por el método de las placas.

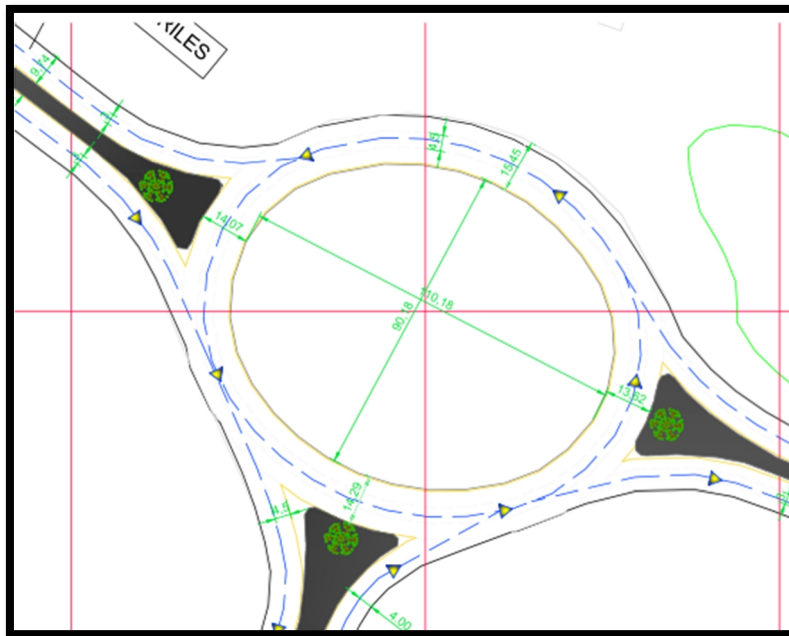
6.6. OBSERVACIÓN CASUAL

Se determinó hacer parte de esta problemática debido al cierto interés por el flujo de vehículos y embotellamiento del mismo en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C.

7. RESULTADOS Y ANALISIS

Como primera medida se efectuó el levantamiento topográfico de la glorieta con el fin de realizar el inventario vial y determinar características geométricas como: número de carriles en las entradas y salidas, ancho de cada uno de ellos, número de carriles en el anillo y su ancho, y, diámetro de la isleta central, los resultados se muestran a continuación.

Figura 21. Levantamiento topográfico de la glorieta y sus accesos



Fuente: Propia

Tabla 6. Características geométricas de los carriles

UBICACIÓN	ANCHO DE VIA (M)	NÚMERO DE CARRILES	ANCHO DE CARRILES (M)
ENTRADA AV CALLE 63 (COSTADO ORIENTAL)	9.79	3.00	3.00
SALIDA AV CALLE 63 (COSTADO ORIENTAL)	9.94	3.00	3.00
ENTRADA AV CALLE 63 (COSTADO OCCIDENTAL)	9.71	3.00	3.00
SALIDA AV CALLE 63 (COSTADO OCCIDENTAL)	9.74	3.00	3.00
ENTRADA CARRERA 50 (COSTADO SUR)	8.38	2.00	4.00
SALIDA AV CALLE 63 (COSTADO SUR)	9.87	2.00	4.50
ANILLO	14.36 (ancho promedio)	3.00	4.50

Fuente: Propia

Tabla 7. Características geométricas de la isleta central

UBICACIÓN	LONGITUD (M)	OBSERVACIONES
ISLETA CENTRAL	90.18	LONGITUD MENOR
	110.18	LONGITUD MAYOR

Fuente: Propia

Los datos y la figura presentados anteriormente fueron tomados del plano realizado “INVENTARIO VIAL” el cual está referenciado como Anexo 1 y hace parte del presente documento.

Una vez realizado el levantamiento topográfico se procedió a realizar un plano con la señalización horizontal y vertical que se encontraba en la glorieta y sus vías de acceso, para ello se realizó un trabajo de campo en donde se recorrieron las vías, se tomó registro fotográfico y se inventariaron las señales existentes las cuales se muestran en el Anexo 2 “PLANO DE SEÑALIZACIÓN H&V” y se muestra su relación en la siguiente tabla.

Tabla 8. Inventario de señalización horizontal y vertical

UBICACIÓN	SEÑALIZACION HORIZONTAL	SEÑALIZACION VERTICAL
ENTRADA AV CALLE 63 (COSTADO ORIENTAL)	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Líneas de separación de rampa de entrada • Flechas indicadoras de sentido • Demarcación de ceda el paso • Línea delimitadora de carril	• SI-05B. Croquis • SR-30. Velocidad Máxima • SP-20. Glorieta • SR-02. Ceda el paso
SALIDA AV CALLE 63 (COSTADO ORIENTAL)	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Flechas indicadoras de sentido	• Panel de prevención (curva)
ENTRADA AV CALLE 63 (COSTADO OCCIDENTAL)	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Flechas indicadoras de sentido • Demarcación de ceda el paso • Línea delimitadora de carril • Paradero de buses	• SI-05B. Croquis • SI-08. Paradero de buses • SR-30. Velocidad Máxima • SP-20. Glorieta • SR-02. Ceda el paso
SALIDA AV CALLE 63 (COSTADO OCCIDENTAL)	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Flechas indicadoras de sentido	• Panel de prevención (objeto rígido) • Panel de prevención (curva)
ENTRADA CARRERA 50 (COSTADO SUR)	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Líneas de separación de rampa de entrada • Flechas indicadoras de sentido • Demarcación de ceda el paso • Línea delimitadora de carril	• SR-23. Circulación prohibida de motocicletas • Si-05. Información previa de destino
SALIDA AV CALLE 63 (COSTADO SUR)	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Líneas de separación de rampa de salida • Flechas indicadoras de sentido	• Panel de prevención (objeto rígido) • Panel de prevención (curva)
ANILLO	• Línea de borde de pavimento • Línea de carril • Línea delimitadora de carril	• Panel de prevención (curva)

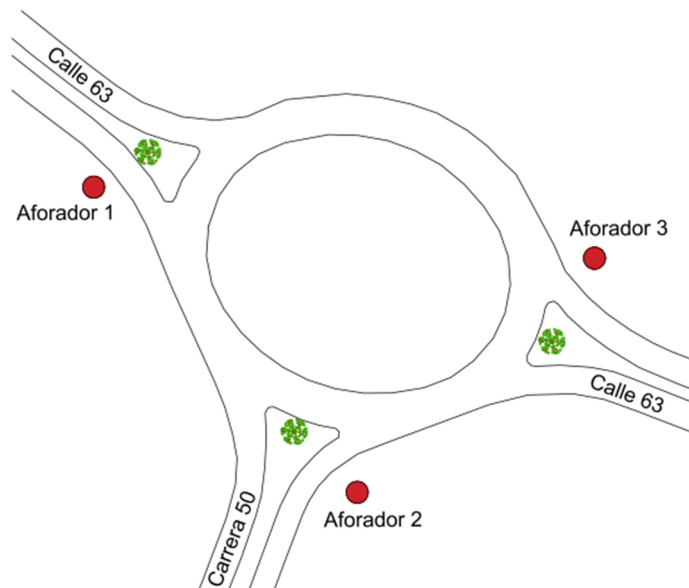
Fuente: Propia

Una vez se obtuvo el inventario de la señalización, se procedió a realizar aforos vehiculares en cada una de las entradas a la glorieta tomando totales cada 15 min, inicialmente se hizo el conteo de los vehículos sin discriminar de que tipo eran

(autos, motos, buses, camiones), eso con el fin de determinar la hora de máxima demanda vehicular u hora pico, este aforo se realizó colocando un primer aforador en la entrada de la calle 63 sentido accidente-oriente, un segundo aforador en la calle 63 sentido oriente-occidente y un tercer aforador en la carrera 50 sentido sur-norte y sus ubicaciones se muestran en la *Figura 22. Ubicación de aforadores*, durante los días 16 y 18 de agosto del presente año con una intensidad de 14 horas seguidas en cada día, la hora de inicio se estableció a las 6:00 am y la hora de finalización a las 8:00 pm, para esta labor se utilizó el formato de campo 01

Figura 23. Formato de campo 01 (anexo3), un contador de vehículos y un reloj.

Figura 22. Ubicación de aforadores



Fuente: Propia

Figura 23. Formato de campo 01

FORMATO DE CAMPO 01					
FECHA: _____			AFORADOR: _____		
HORA DE INICIO: _____			HORA FINAL: _____		
LUGAR: _____			SENTIDO: _____		
MOVIMIENTO AFORADO: _____					
ESQUEMA					
AFORO VEHICULAR TOTAL					
HORA		CANTIDAD DE VEHÍCULOS	HORA		CANTIDAD DE VEHÍCULOS
06:00	06:15		13:00	13:15	
06:15	06:30		13:15	13:30	
06:30	06:45		13:30	13:45	
06:45	07:00		13:45	14:00	
07:00	07:15		14:00	14:15	
07:15	07:30		14:15	14:30	
07:30	07:45		14:30	14:45	
07:45	08:00		14:45	15:00	
08:00	08:15		15:00	15:15	
08:15	08:30		15:15	15:30	
08:30	08:45		15:30	15:45	
08:45	09:00		15:45	16:00	
09:00	09:15		16:00	16:15	
09:15	09:30		16:15	16:30	
09:30	09:45		16:30	16:45	
09:45	10:00		16:45	17:00	
10:00	10:15		17:00	17:15	
10:15	10:30		17:15	17:30	
10:30	10:45		17:30	17:45	
10:45	11:00		17:45	18:00	
11:00	11:15		18:00	18:15	
11:15	11:30		18:15	18:30	
11:30	11:45		18:30	18:45	
11:45	12:00		18:45	19:00	
12:00	12:15		19:00	19:15	
12:15	12:30		19:15	19:30	
12:30	12:45		19:30	19:45	
12:45	13:00		19:45	20:00	

Fuente: Propia

Al culminar este proceso se procedió a realizar la digitalización de los datos obtenidos en campo en un archivo de Excel el cual se encuentra como Anexo 4,

se determinó la hora pico realizando la sumatoria de los flujos de las tres entradas y observando la franja de 15 minutos que presentaba el mayor número de vehículos, se tomaron las horas en las cuales intervenía esta franja y se escogió la hora que presentaba la mayor cantidad, así como se muestra en la *Figura 24. Determinación de hora pico en aforo del 16 de agosto del 2016* y la *Figura 26. Determinación de hora pico en aforo del 18 de agosto del 2016*.

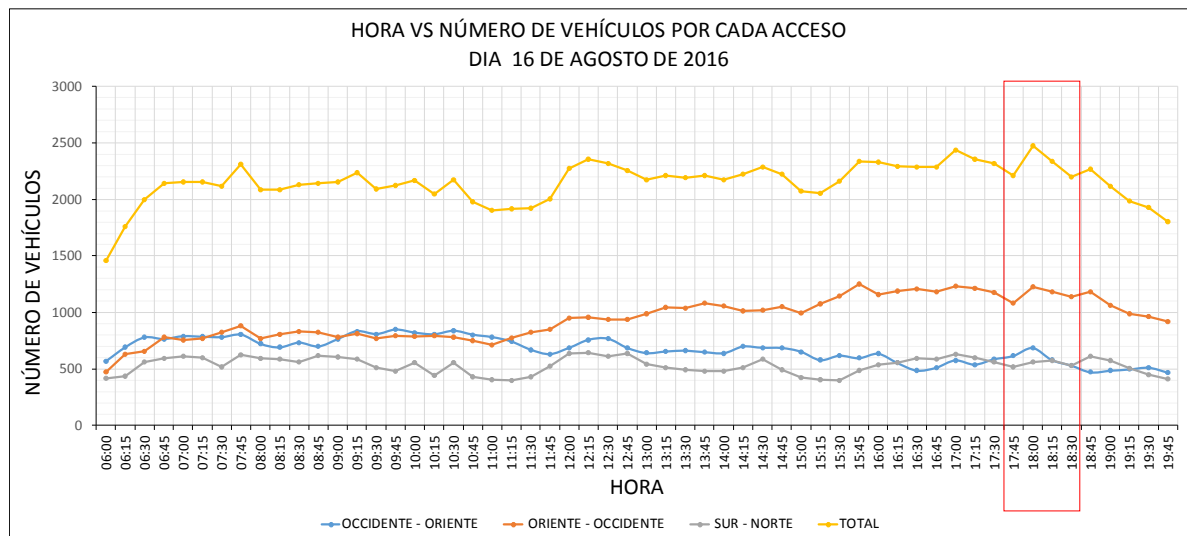
Seguido a esto, se construyeron las gráficas de hora Vs cantidad de vehículos para cada uno de los accesos a la glorieta con el fin de observar el comportamiento del flujo en todas las horas aforadas.

Figura 24. Determinación de hora pico en aforo del 16 de agosto del 2016

ACCESO: CALLE 63 CON CARRERA 50			ACCESO: CALLE 63 CON CARRERA 50			ACCESO: CARRERA 50 CON CALLE 63								
SENTIDO: OCCIDENTE - ORIENTE			SENTIDO: ORIENTE - OCCIDENTE			SENTIDO: SUR - NORTE								
HORA		CANTIDAD VEHICULOS	HORA		CANTIDAD VEHICULOS	HORA		CANTIDAD VEHICULOS			TOTAL			
16:45	17:00	512	16:45	17:00	1184	16:45	17:00	588			2284			
17:00	17:15	576	17:00	17:15	1234	17:00	17:15	628			2438			
17:15	17:30	539	17:15	17:30	1214	17:15	17:30	602			2355			
17:30	17:45	586	17:30	17:45	1174	17:30	17:45	559			2319			
17:45	18:00	615	17:45	18:00	1080	17:45	18:00	516			2211			
18:00	18:15	684	18:00	18:15	1229	18:00	18:15	560			2473			
18:15	18:30	579	18:15	18:30	1181	18:15	18:30	574			2334			
18:30	18:45	531	18:30	18:45	1139	18:30	18:45	529			2199			
18:45	19:00	471	18:45	19:00	1183	18:45	19:00	611			2265			
19:00	19:15	485	19:00	19:15	1062	19:00	19:15	572			2119			
19:15	19:30	496	19:15	19:30	987	19:15	19:30	502			1985			

Fuente: Propia

Figura 25. Gráfico de los flujos vehiculares vs hora para cada una de las tres entradas durante todo el día, aforo del 16 de agosto del 2016



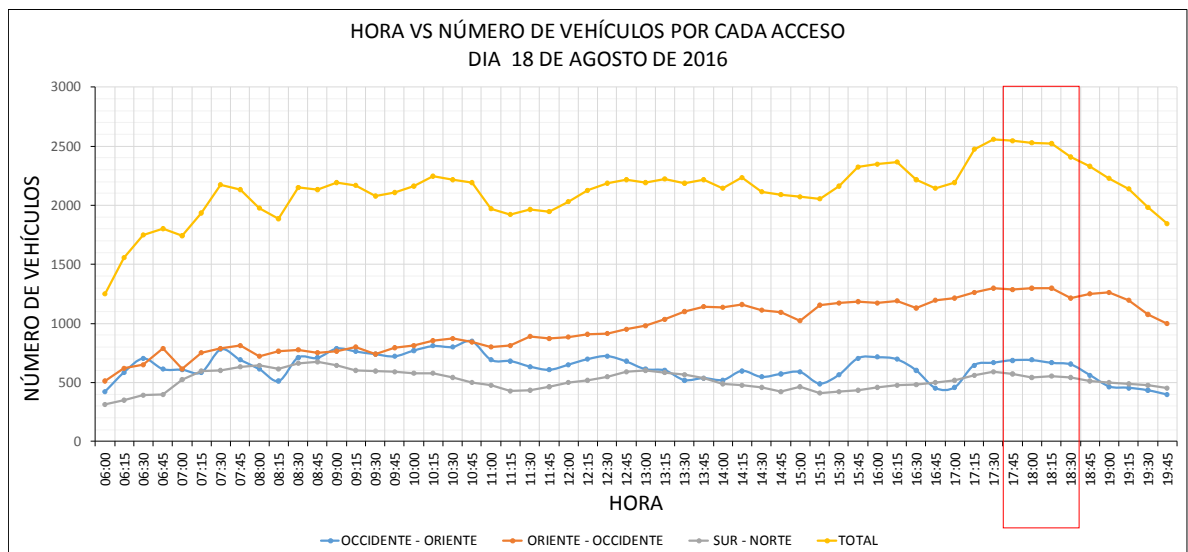
Fuente: Propia

Figura 26. Determinación de hora pico en aforo del 18 de agosto del 2016

ACCESO:	CALLE 63 CON CARRERA 50		ACCESO:	CALLE 63 CON CARRERA 50		ACCESO:	CARRERA 50 CON CALLE 63											
SENTIDO:	OCCIDENTE - ORIENTE		SENTIDO:	ORIENTE - OCCIDENTE		SENTIDO:	SUR - NORTE											
	HORA	CANTIDAD VEHICULOS		HORA	CANTIDAD VEHICULOS		HORA	CANTIDAD VEHICULOS		TOTAL								
	16:15	16:30	698		16:15	16:30	1190		16:15	16:30	476		2364					
	16:30	16:45	604		16:30	16:45	1130		16:30	16:45	481		2215					
	16:45	17:00	452		16:45	17:00	1195		16:45	17:00	499		2146					
	17:00	17:15	458		17:00	17:15	1212		17:00	17:15	520		2190					
	17:15	17:30	646		17:15	17:30	1264		17:15	17:30	563		2473					
	17:30	17:45	668		17:30	17:45	1301		17:30	17:45	589		2558					
	17:45	18:00	689		17:45	18:00	1285		17:45	18:00	575		2549					
	18:00	18:15	690		18:00	18:15	1299		18:00	18:15	540		2529					
	18:15	18:30	666		18:15	18:30	1299		18:15	18:30	555		2520					
	18:30	18:45	654		18:30	18:45	1212		18:30	18:45	543		2409					
	18:45	19:00	563		18:45	19:00	1250		18:45	19:00	515		2328					
	19:00	19:15	465		19:00	19:15	1262		19:00	19:15	501		2228					
	19:15	19:30	453		19:15	19:30	1198		19:15	19:30	487		2138					
	19:30	19:45	433		19:30	19:45	1076		19:30	19:45	475		1984					
	19:45	20:00	396		19:45	20:00	999		19:45	20:00	450		1845					

Fuente: Propia

Figura 27. Gráfico de los flujos vehiculares vs hora para cada una de las tres entradas durante todo el día, aforo del 18 de agosto del 2016



Fuente: Propia

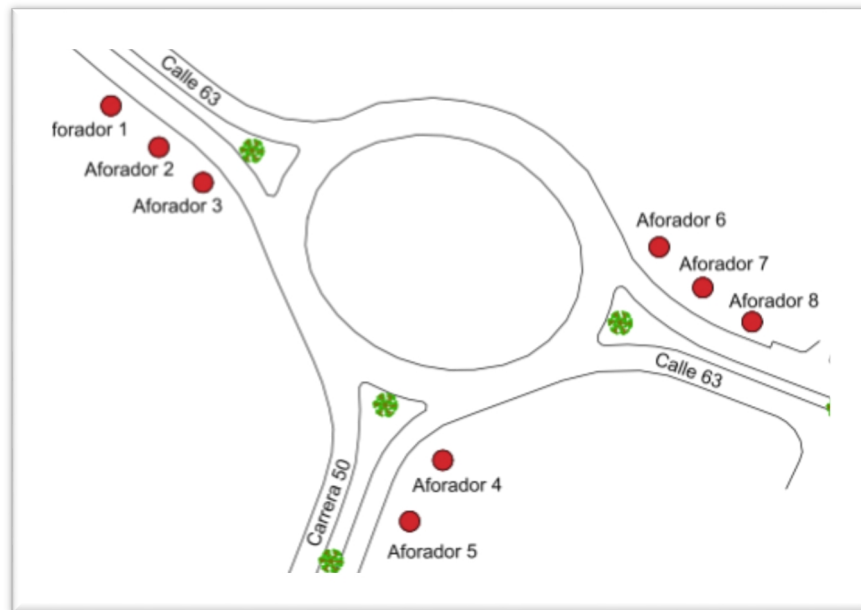
En las gráficas anteriores se muestra una línea en color amarillo la cual representa la sumatoria de los vehículos que circulan por cada acceso en la misma unidad de tiempo, al analizar las gráficas se evidencio que el mayor flujo de vehículos se ubicó en la franja de 5:30 pm a 6:30 pm convirtiéndose así este periodo de tiempo en nuestra hora pico.

Esta hora puede deberse entre otras cosas a factores como el horario de salida que poseen las empresas (5:00 pm y 6:00 pm), la entrada a las universidades al

horario nocturno el cual se realiza a las 6:00 pm, y la zona en la cual se encuentra ubicada la glorieta, afecten significativamente en el flujo en este lapso de tiempo y produzca una mayor concentración vehicular.

Una vez obtenida la hora pico se procedió a realizar un nuevo aforo, por ser una intersección con alto flujo vehicular se vio necesario implementar un aforador por cada carril con la finalidad de reducir al máximo el error en los conteos realizados, se colocaron tres aforadores en la calle 63 sentido occidente-oriente, tres aforadores en la calle 63 sentido oriente-occidente y dos aforadores en la carrera 50 sentido sur-norte y sus ubicaciones se muestran en *la Figura 28. Ubicación de aforadores en hora pico*, se utilizó el formato de campo 02 *Figura 29. Formato de campo 02*.(Anexo 5), con el fin de clasificar el tránsito mezclado por acceso, es decir, vehículos livianos, buses, camiones, tracto mulas y motos para obtener proporciones del flujo vehicular que transitan por la glorieta, al finalizar se unificaron los valores en un solo formato por acceso, los cuales se presentan como Anexo 6.

Figura 28. Ubicación de aforadores en hora pico



Fuente: Propia

Figura 29. Formato de campo 02.

[illegible]

Fuente: Propia

A continuación, se muestran las composiciones vehiculares por acceso y la cantidad total de vehículos que transitaron por ellas en la hora pico

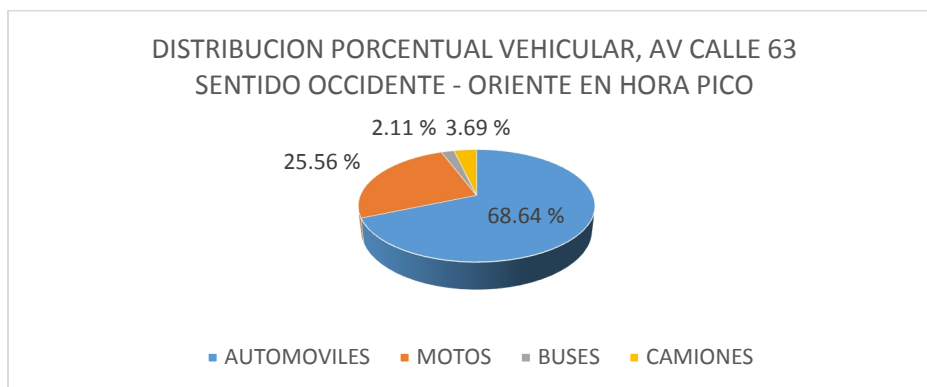
- Acceso Av. Calle 63 sentido occidente – oriente.

Tabla 9. Composición vehicular Av. calle 63 sentido occidente-oriente

COMPOSICION VEHICULAR AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE - ORIENTE EN HORA PICO					TOTAL
TIPO	AUTOMOVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES	
CANTIDAD	1703	634	52	92	2481
PORCENTAJE	68.64 %	25.56 %	2.11 %	3.69 %	100.00

Fuente: Propia

Figura 30. Distribución porcentual vehicular, Av. calle 63 sentido occidente-oriente



Fuente: Propia

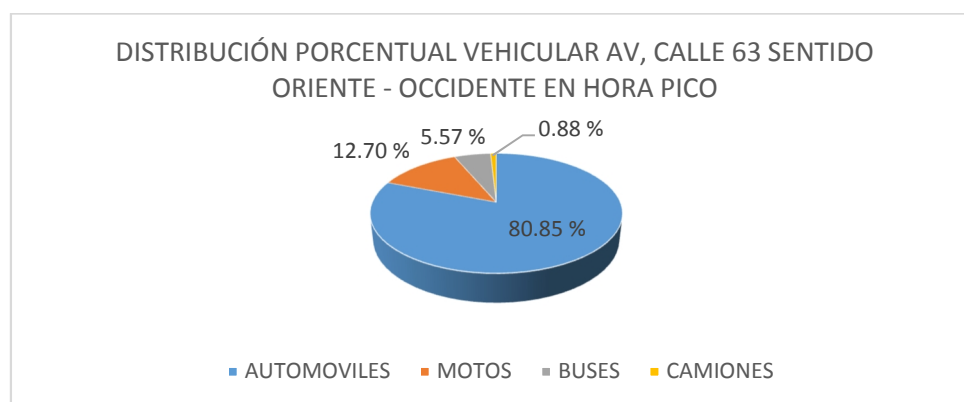
- Acceso Av. Calle 63 sentido oriente – occidente.

Tabla 10. Composición vehicular Av. calle 63 sentido oriente-occidente

COMPOSICION VEHICULAR AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE - OCCIDENTE EN HORA PICO					TOTAL
TIPO	AUTOMOVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES	
CANTIDAD	2911	457	201	32	3601
PORCENTAJE	80.85 %	12.70 %	5.57 %	0.88 %	100.00

Fuente: propia

Figura 31. Distribución porcentual vehicular, Av. calle 63 sentido oriente-occidente



Fuente: propia

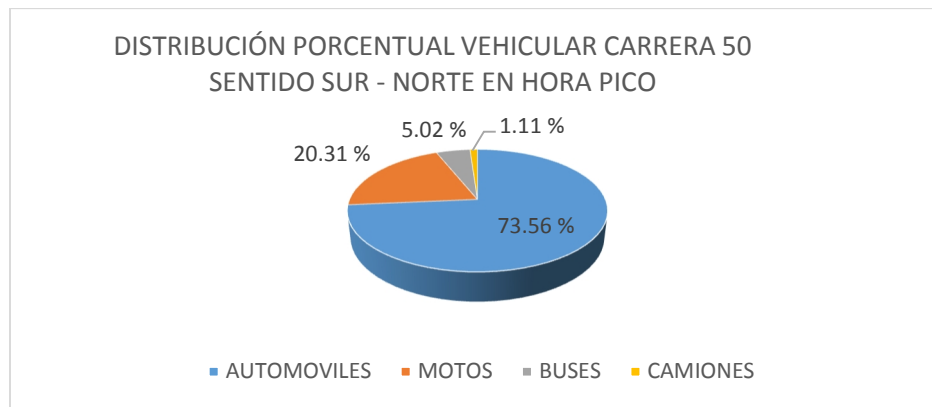
- Acceso carrera 50 sentido sur – norte.

Tabla 11. Composición vehicular, carrera 50 sentido sur-norte

COMPOSICION VEHICULAR CARRERA 50 SENTIDO SUR - NORTE EN HORA PICO					TOTAL
TIPO	AUTOMOVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES	
CANTIDAD	1676	463	114	25	2279
PORCENTAJE	73.56 %	20.31 %	5.02 %	1.11 %	100.00

Fuente: Propia

Figura 32. Distribución porcentual vehicular, carrera 50 sentido sur-norte

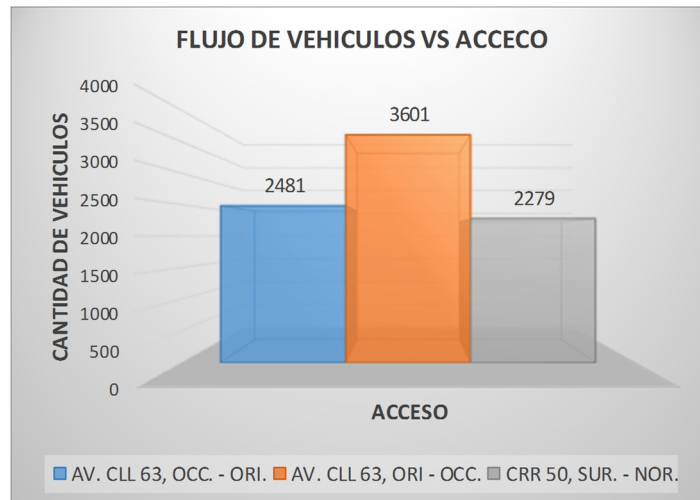


Fuente: propia

Como se puede observar en los diagramas circulares los automóviles con más del 68% representan el porcentaje más alto dentro de la composición vehicular que circula por las vías que ingresan a la glorieta, mediante observación en campo se evidencio que la mayor parte de estos automóviles van ocupados por una sola persona, en segundo lugar, están las motocicletas con un porcentaje mayor al 12 %, y en menor proporción se encuentran los buses y camiones. En la *Figura 33. Flujo de vehículos vs acceso*, se muestra la gráfica que representa los flujos que se tienen por acceso, en donde se evidencia que el acceso que presenta el mayor flujo de vehículos es el de la Av. calle 63 sentido oriente – occidente, esto se debe en gran medida a que en la zona oriental de la ciudad de Bogotá se encuentran ubicadas las universidades, empresas y negocios, las personas en las horas de la mañana se dirigen hacia esta zona a realizar sus actividades cotidianas, pero al llegar la tarde el flujo se presenta en el sentido contrario, cuando las personas se

dirigen a sus lugares de residencia, las cuales se encuentran en gran parte ubicadas en la zona occidental y nor-occidental de la ciudad.

Figura 33. Flujo de vehículos vs acceso



Fuente: propia

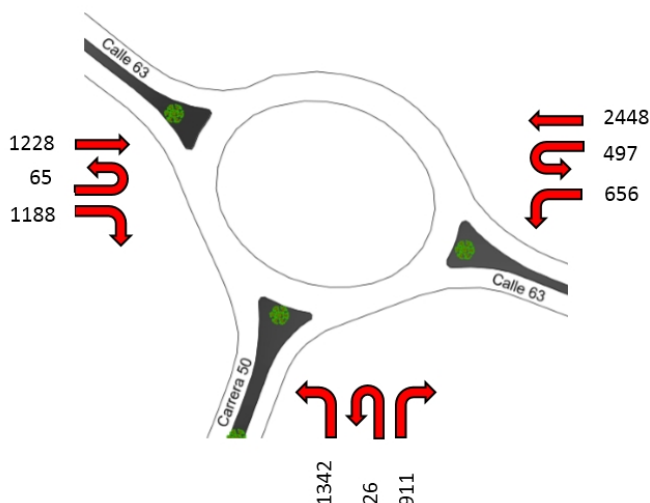
Simultáneamente al aforo de tránsito mezclado y con el objetivo de obtener los movimientos realizados por los conductores al entrar y salir de la glorieta, se realizó un nuevo aforo y se estableció la matriz origen-destino utilizando el método de las placas. Este método consistió en realizar un registro fílmico en cada una de las entradas y salidas de la glorieta y posteriormente realizar un trabajo exhaustivo de oficina para poder identificar el trayecto de cada uno de los vehículos, la matriz origen - destino se muestra en la Tabla 12. Matriz origen-destino, de igual manera se presenta la *Figura 34. Flujo de vehículos por sentido en cada entrada de la glorieta*

Tabla 12. Matriz origen-destino

MATRIZ ORIGEN DESTINO EN HORA PICO			
NÚMERO DE VEHÍCULOS POR ACCESO	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD
3601	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	497
	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	2448
	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	656
2481	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	65
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	1228
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	1188
2279	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	26
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	911
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	1342
			8361

Fuente: Propia

Figura 34. Flujo de vehículos por sentido en cada entrada de la glorieta



Fuente: propia

Como se había mencionado anteriormente y se corrobora con la ayuda de la matriz origen-destino se evidencia que el mayor flujo vehicular circula sobre la avenida calle 63 con sentido oriente a occidente con una cantidad de 2448 vehículos/hora, representando así el comportamiento de los usuarios al salir de zonas empresariales y universitarias tales como Chapinero, Teusaquillo, Galerías, entre otras, y dirigirse a zonas residenciales ubicadas en el occidente como Normandía, Villas del Dorado y Engativá, entre otras.

Utilizando los datos recopilados se establecieron los flujos de entrada, salida y anular de los accesos, al igual que la composición vehicular de cada uno de estos, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 13. Matriz origen-destino con la composición vehicular por movimiento

COMPOSICIÓN VEHICULAR POR MOVIMIENTOS				AUTOMOVILES		MOTOS		BUSES		CAMIONES	
NÚMERO DE VEHÍCULOS POR ACCESO	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD	%	CANTIDAD
3601	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	497	91.19	453	8.21	41	0.00	0	0.60	3
	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	2448	76.75	1879	15.61	382	6.69	164	0.95	23
	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	656	83.64	549	9.45	62	6.02	40	0.89	6
2481	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	65	53.85	35	35.38	23	0.00	0	10.77	7
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	1228	69.44	853	25.00	307	2.14	26	3.41	42
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	1188	68.02	808	26.02	309	2.18	26	3.78	45
2279	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	26	46.15	12	46.15	12	0.00	0	7.69	2
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	911	75.63	689	18.33	167	5.05	46	0.99	9
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	1342	72.73	976	21.16	284	5.07	68	1.04	14
			8361								

Fuente: propia

Una vez obtenidos los valores de la composición vehicular por movimiento, se procedió a aplicar el factor de conversión³⁹ que se observan en la Figura 35. Factor de conversión a vehículos ligeros equivalentes. FHWA, para obtener los flujos en vehículos ligeros equivalentes, los cuales serán utilizados para hallar la capacidad de cada una de las entradas por los diferentes métodos propuestos y se presenta la matriz en la *Figura 35. Factor de conversión a vehículos ligeros equivalentes. FHWA* con los valores obtenidos.

Figura 35. Factor de conversión a vehículos ligeros equivalentes. FHWA

Tipo de vehículo	Factor de equivalencia
Coche	1.0
Autobús o camión simple	1.5
Camión con trailer	2.0
Bicicleta o motocicleta	0.5

Fuente: MARTIN, *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico*, p 57.

³⁹ MARTIN, Op. Cit., P. 57

Tabla 14. Matriz origen-destino con factor de conversión

COMPOSICIÓN VEHICULAR POR MOVIMIENTOS					AUTOMOVILES		FACTOR	MOTOS		FACTOR	BUSES		FACTOR	CAMIONES		FACTOR
Nº DE VEHÍCULOS POR ACCESO	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD	CANT EQV	%	CANTIDAD	1.0	%	CANTIDAD	0.5	%	CANTIDAD	1.5	%	CANTIDAD	1.5
3601	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	497	478	91.19	453	453	8.21	41	20	0.00	0	0	0.60	3	4
	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	2448	2350	76.75	1879	1879	15.61	382	191	6.69	164	246	0.95	23	35
	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	656	648	83.64	549	549	9.45	62	31	6.02	40	59	0.89	6	9
2481	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	65	57	53.85	35	35	35.38	23	12	0.00	0	0	10.77	7	11
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	1228	1109	69.44	853	853	25.00	307	154	2.14	26	39	3.41	42	63
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	1188	1069	68.02	808	808	26.02	309	155	2.18	26	39	3.78	45	67
2279	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	26	21	46.15	12	12	46.15	12	6	0.00	0	0	7.69	2	3
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	911	855	75.63	689	689	18.33	167	84	5.05	46	69	0.99	9	14
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	1342	1241	72.73	976	976	21.16	284	142	5.07	68	102	1.04	14	21
			8361	7828												

Fuente: propia

A continuación, se presentan los flujos en vehículos y vehículos ligeros equivalentes para cada uno de los accesos.

Tabla 15. Cantidad de vehículos por entrada, salida y anillo

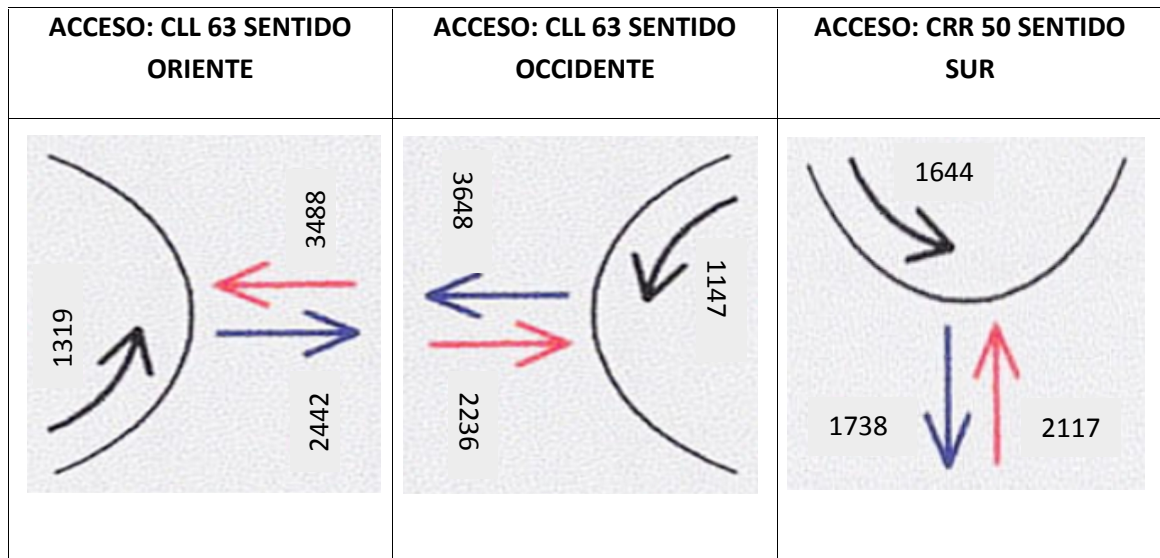
CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR SALIDA		
SALIDA	CANTIDAD VEH	CANTIDAD VEH. LIG. EQV.
AV CALLE 63 ORIENTE	2636	2442
AV CALLE 63 OCCIDENTE	3855	3648
AV CARRERA 50 SUR	1870	1738

CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR ENTRADA		
ENTRADA	CANTIDAD VEH	CANTIDAD VEH. LIG. EQV.
AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	3601	3488
AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	2481	2236
AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	2279	2117

CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR ANILLO		
ENTRADA	CANTIDAD VEH	CANTIDAD VEH. LIG. EQV.
AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	1433	1319
AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	1179	1147
AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	1790	1644

Fuente: propia

Figura 36. Flujos de entradas



Fuente: propia

- Luego de contar con los datos necesarios se procedió a aplicar los métodos para determinar la capacidad de cada uno de los accesos de la glorieta teniendo en cuenta los datos de la figura 34 y los cálculos realizados son presentados a continuación.

• MÉTODO FRANCÉS:

Debido a que la anchura del anillo de la glorieta permite una doble y triple circulación se emplearan las siguientes formulas⁴⁰:

$$C = 1,4 \left[1500 - K * \frac{5}{6} * (Q + 0,2 * Q) \right] > Q \quad \text{Para el ramal de la carrera 50}$$

$$C = 2,1 \left[1500 - K * \frac{5}{6} * (Q + 0,2 * Q) \right] > Q \quad \text{Para los ramales oriente y occidente}$$

- Acceso carrera 50 sentido sur-norte

$$C = 1,4 \left[1500 - 0,70 * \frac{5}{6} * (1644 + 0,2 * 1738) \right] > Q$$

$$C = 473 > 2117 \text{ v h́icli e, /ho}$$

⁴⁰ MARTIN, Op. Cit., P. 67

- Acceso calle 63 sentido Oriente-Occidente

$$C = 2,1 \left[1500 - 0.70 * \frac{5}{6} * (1319 + 0,2 * 2442) \right] > Q$$

$$C = 936 > 3488 \text{ v h́ica li e /ho}$$

- Acceso calle 63 sentido occidente-oriente

$$C = 2,1 \left[1500 - 0.70 * \frac{5}{6} * (1147 + 0,2 * 3648) \right] > Q$$

$$C = 851 > 2236 \text{ v h́ica li e /ho}$$

Los resultados obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 16. Resumen de la capacidad

ENTRADA	Qc	Qs	TM	K	Ce	Qe	Δ Q
AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	1319	2442	1807	0.7	936	3488	-2552
AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	1147	3648	1877	0.7	851	2236	-1385
AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	1644	1738	1992	0.7	474	2117	-1643

Fuente: Propia

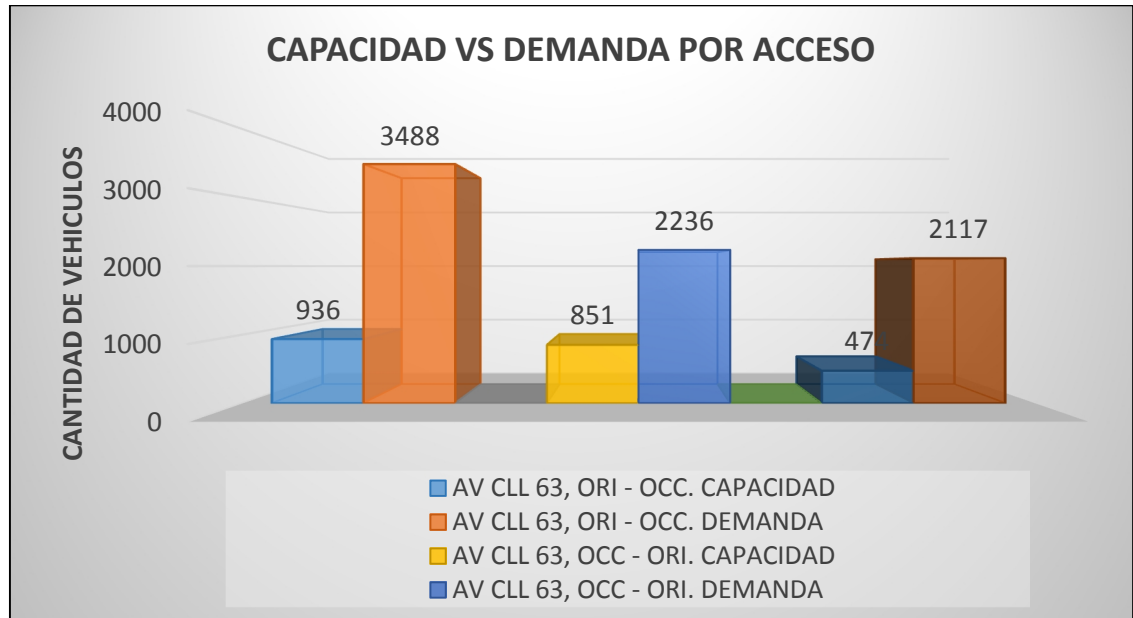
La capacidad de la glorieta es demasiado baja en comparación al gran flujo vehicular que se presenta en las vías que la intervienen y se puede observar que en ninguna se encuentra cumpliendo su función.

En los accesos de la Av. calle 63, se percibe que a pesar de que cuentan con tres carriles, estos presentan graves carencias de capacidad, puesto que se encuentran trabajando a más del 300% de su rendimiento óptimo. Esta glorieta se convierte en un elemento funcionalmente inválido.

Por otro lado, el acceso de la carrera 50 sentido sur – norte no es la excepción, ya que tampoco se encuentra cumpliendo con la capacidad estimada, y esta es superada en 1643 vehículos ligeros equivalentes/hora.

En la *Figura 37. Diferencia entre capacidad y demanda vehicular por acceso*, se puede apreciar de una mejor manera la diferencia que existe entre la capacidad y la demanda vehicular por cada acceso.

Figura 37. Diferencia entre capacidad y demanda vehicular por acceso



Fuente: Propia

- MÉTODO DANÉS⁴¹:

Este método utiliza una relación exponencial⁴²

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

- Acceso calle 63 sentido Oriente-Occidente

$$Q = 1594 * \left[\frac{e^{\frac{-1}{3} * 2,5}}{1 - e^{\frac{-1}{3} * 2,0}} \right]$$

$$Q = 897 \text{ v h́c}_i / \text{ho}$$

⁴¹ Ver descripción de las variables en la página 31.

⁴² MARTIN, Op. Cit., P. 76

- Acceso calle 63 sentido Occidente-Oriente

$$Q_e = 2317 * \left[\frac{e^{\frac{-2}{3} * 2,5}}{1 - e^{\frac{-2}{3} * 2,0}} \right]$$

$$Q = 640 \text{ v h/c} \quad /h$$

- Acceso carrera 50 sentido sur-norte

$$Q_e = 2185 * \left[\frac{e^{\frac{-2}{3} * 2,5}}{1 - e^{\frac{-2}{3} * 2,0}} \right]$$

$$Q = 682 \text{ v h/c} \quad /h$$

- MÉTODO DEL SETUR

$$C = (1330 - 0,7 * Q) * (1 + 0.1 * (e - 3,5)) \text{ V/h}$$

En donde

$$Q = \left(Q' + \frac{2}{3} * Q's \right) * (1 - 0.085(U - 8))$$

$$Q's = Q \left(\frac{15 - L}{15} \right) \text{ V/h}$$

Para determinar el trafico molesto (Qg) en vehículos/h, se hace referencia a la tabla 14 (Cantidad de vehículos por entradas).

- Acceso calle 63 sentido Oriente-Occidente

$$Q's = 2636 \left(\frac{15 - 110,18}{15} \right) = 2 \quad \text{v/h}$$

$$Q = \left(1433 + \frac{1}{2} * 2 \right) * (1 - 0.085(14,36 - 8)) = 6838 \text{ v/h}$$

$$C = (1330 - 0,7 * 6838) * (1 + 0.1 * (22 - 3,5)) = 9 \quad /h$$

- Acceso calle 63 sentido Occidente-Oriente

$$Q's = 3855 \left(\frac{15 - 110.18}{15} \right) = 2 \quad v/h$$

$$Q = \left(1179 + \frac{1}{2} * 2 \right) * (1 - 0.085(14,36 - 8)) = 9579 \quad v/h$$

$$C = (1330 - 0,7 * 9579) * (1 + 0.1 * (22 - 3,5)) = 1 \quad /h$$

- Acceso carrera 50 sentido sur-norte

$$Q's = 1870 \left(\frac{15 - 110.18}{15} \right) = 1 \quad v/h$$

$$Q = \left(1790 + \frac{1}{2} * 1 \right) * (1 - 0.085(14,36 - 8)) = 5206 \quad v/h$$

$$C = (1330 - 0,7 * 5206) * (1 + 0.1 * (22 - 3,5)) = 4 \quad /h$$

Los tres accesos a la glorieta no se encuentran cumpliendo con su capacidad ideal, al igual que en el método francés y danés, esto debido a que la demanda supera la geometría de la glorieta provocando colapso inmediato de esta en horas de máxima demanda.

La capacidad obtenida por el método Danés no difiere en mucho con respecto al método Francés, son datos que no se encuentran en un rango de diferencia demasiado lejano, lo que conlleva a emplear cualquiera de estos dos métodos para determinar la capacidad de una glorieta.

Tabla 17. Resumen de las capacidades y demandas por acceso

METODO	ENTRADA	CAPACIDAD (Ce)	DEMANDA (Qe)	Δ Q	Qe/Ce (%)
FRANCES	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	936.0	3488.0	-2552.0	372.6
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	851.3	2236.0	-1384.7	262.7
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	473.6	2117.0	-1643.4	447.0
DANES	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	897.0	3488.0	-2591.0	388.9
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	640.0	2236.0	-1596.0	349.4
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	682.0	2117.0	-1435.0	310.4

Fuente: Propia

Una vez realizados los métodos y habiendo obtenido las capacidades de los accesos por cada uno de ellos se puede establecer una relación entre la demanda o volumen y la capacidad, con el fin de obtener en porcentaje el rendimiento en el cual se encuentra operando la glorieta en la hora de máxima demanda.

Método Francés.

Tabla 18. Relación de las capacidades y demandas por acceso

METODO	ENTRADA	CAPACIDAD (Ce)	DEMANDA (Qe)	Qe/Ce (%)
FRANCES	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	936.0	3488.0	372.6
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	851.3	2236.0	262.7
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	473.6	2117.0	447.0

Fuente: Propia

Método Danés.

Tabla 19. Relación de las capacidades y demandas por acceso

METODO	ENTRADA	CAPACIDAD (Ce)	DEMANDA (Qe)	Qe/Ce (%)
DANES	AV CALLE 63 SENTIDO ORIENTE	897.0	3488.0	388.9
	AV CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE	640.0	2236.0	349.4
	AV CARRERA 50 SENTIDO SUR	682.0	2117.0	310.4

Fuente: Propia

Si observamos las relaciones entre la capacidad y la demanda podemos notar que son demasiado altos los resultados, se esperaría que esta relación no supere el 100% pues es la capacidad máxima a la que podrían funcionar los accesos a la glorieta, en este caso vemos que en la entrada de la calle 63 sentido oriente el porcentaje se acerca casi al 400%, esto quiere decir que la glorieta se encuentra trabajando a cuatro veces más del porcentaje crítico ó albergando cuatro veces más los vehículos , en el acceso de la calle 63 sentido occidente y carrera 50 sentido sur se encuentra trabajando a 3.5 y 3 veces más respectivamente, es aquí donde evidenciamos que debido a esto es que se presentan los atascamientos, las largas filas de vehículos.

NIVEL DE SERVICIO

El procedimiento para el cálculo del nivel de servicio de la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C. se basa en la metodología establecida en el indicado manual de capacidad de carreteras, en su versión de 1994 bajo la siguiente formula

$$S = 2800 \left(\frac{V}{C} \right) * f_d * f_w * f_{hv}$$

Donde,

S = Volumen de servicio para el nivel de servicio seleccionado.

2800 = Flujo de tránsito ideal en ambos sentidos, en vehículos por hora.

V/C = Relación volumen/capacidad del nivel de servicio

f_d = Factor de distribución direccional del tránsito

f_w = Factor para anchos de carril y hombros

f_{hv} = Factor de vehículos pesados

• SENTIDO AV. CALLE 63 SENTIDO OCCIDENTE – ORIENTE

A continuación, se presentan las características y datos básicos para determinar el nivel de servicio para dicha intersección como se observa en la Tabla 20. Características de la glorieta y el tráfico en el sentido av. calle 63 sentido occidente - Oriente.

Tabla 20. Características de la glorieta y el tráfico en el sentido av. calle 63 sentido occidente - Oriente.

CARACTERISTICAS DE LA VIA		CARACTERISTICAS DEL TRAFICO	
Terreno	Plano	Vthp	9757
Velocidad del proyecto (km/h)	30	Fph	0.96
Ancho de carriles (metros)	3.00	Distribución direccional	60/80
Ancho de hombros (pies)	0	% de camiones (PT)	3.69
Restricciones de rebase	20%	% de buses (PB)	2.11
Numero de carriles	3	% veh recreativos (PR)	94.2

Fuente: Propia

Se determinó el Volumen de tránsito en la hora pico (**Vthp**) cuyos valores corresponden al promedio de los dos días aforados, siendo estos **9358 vh/h** el día 16 de agosto del 2016 y **10156 vh/h** el día 18 de agosto del 2016 como se observa a continuación.

$$V = \frac{9358 + 10156}{2} = 9757 \text{ v/h}$$

Una vez se obtuvo el (**Vthp**) se determinó el volumen de la hora pico expresado como volumen equivalente (**VE**) para ser comparados con los volúmenes de tráfico ideales para cada nivel de servicio.

$$\text{Por tanto: } V = \frac{V_{thp}}{F \cdot h}$$

Por tanto:

$$V = \frac{V_{thp}}{F \cdot h}$$

$$V = \frac{9}{0.9} = 10.163 \text{ v/h}$$

El factor hora pico ($F \cdot h$) fue tomado de la Tabla 21. Factores de hora pico (FHP).

Tabla 21. Factores de hora pico (FHP).

Volumen Horario (vehículos/hora)	FHP
100	0.83
200	0.87
300	0.90
400	0.91
500	0.91
600	0.92
700	0.92
800-900	0.93
1000-1400	0.94
1500-1800	0.95
1900	0.96

Fuente: LECLAIR, Raúl. Manual centro americano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Secretaria de integración económica centroamericana, SIEC, 2da edición.

A continuación se calculó la relación volumen - capacidad teniendo en cuenta factores como terreno y restricción en la glorieta como evidencia la *tabla 22. Nivel de servicio (V/C) para carreteras*

Tabla 22. Nivel de servicio (V/C) para carreteras.

Nivel de Servicio (NS)	Terreno plano						Terreno Ondulado						Terreno Montañoso					
	Restricción de paso, %						Restricción de paso, %						Restricción de paso, %					
	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
A	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78

Fuente: LECLAIR, Raúl. Manual centro americano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Secretaria de integración económica centroamericana, SIEC, 2da edición. P, 65.

Dichos valores son tomados de acuerdo al porcentaje de restricción de rebase siendo este el 20% de acuerdo al reglamento general de circulación en donde se especifica que está permitido superar el límite de velocidad en 20 km/h.

En relación con lo anterior se muestra en la *tabla 23. Nivel de servicio para una restricción del 20%* Un resumen de los valores para cada nivel de servicio.

Tabla 23. Nivel de servicio para una intersección del 20%.

Nivel de Servicio	V/c
A	0.12
B	0.24
C	0.39
D	0.62
E	1

Fuente: Propia

De igual manera se presenta en la *Tabla 24. Factor de distribución por carril*. los valores utilizados por la **AASHTO** para obtener el factor de distribución direccional de transito el cual se utilizó para obtener S (Volumen de servicio para el nivel de servicio seleccionado).

Tabla 24. Factor de distribución por carril.

No. CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 18 Kips EN EL CARRIL DE DISEÑO (Fc)
1	100
2	80-100
3	60-80
4 ó más	50-75

Fuente: Aashto, guide for design of pavement structures 1993

El tramo sentido av. calle 63 sentido occidente – oriente consta de 3 carriles por ende se asignó un factor de distribución de 0.8 como evidencia la *Tabla 25. Factor de distribución según INVIAS*

Tabla 25. Factor de distribución según INVIAS.

Factor de distribución según INVIAS	Distribución direccional
0.7	60/80

Fuente: Aashto, guide for design of pavement structures 1993

Una vez se obtuvo la distribución, se determinó el factor ancho de carril y hombro (Fw) como se observa en la *Tabla 26. Factores de ajustes por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos* cuyos datos dependen de la geometría de la glorieta

Tabla 26. Factores de ajustes por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos.

Hombro (m)	Carril de 3.65m		Carril de 3.35m		Carril de 3.05m		Carril de 2.75m	
	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E
1.8	1.00	1.00	0.93	0.94	0.83	0.87	0.70	0.76
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Fuente: LECLAIR, Raúl. Manual centro americano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Secretaria de integración económica centroamericana, SIEC, 2da edición. P, 67.

Debido a que el carril de la glorieta tiene 3.00 metros según sus características geométricas, se seleccionó la opción de carril de 3.05 metros con un hombro de 0.0 reflejando un factor para cada nivel de servicio como se observa en la *Tabla 27. Factor ancho de carril para cada nivel de servicio*

En donde el nivel de servicio de A-D tiene un valor diferente al nivel de servicio E, ya que este último es el caso más desfavorable para una vía.

Tabla 27. Factor ancho de carril para cada nivel de servicio.

FACTOR ANCHO DE CARRIL Y HOMBRO (Fw)	
ANCHO DE CARRIL (m)	3.0
ANCHO DE HOMBRO (m)	0.0

Nivel de Servicio	FW
A	0.58
B	0.58
C	0.58
D	0.58
E	0.75

Fuente: Propia

Se calcula el factor de vehículos pesados (Fhv) para cada nivel de servicio teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$F_{hv} = \frac{1}{(1 + P_{ET} * (E - 1) + P_{EB} * (E - 1) + P_{ER} * (E - 1))}$$

Dónde:

ET= Equivalencia en automóviles para camiones pesados

EB =Autobuses

ER= Vehículos recreacionales

PT, PB Y PR = Corresponden a la fracción decimal de la porción de camiones, autobuses, y vehículos recreacionales en el volumen de transito total

Estos datos son extraídos de las tablas del Manual de Capacidades teniendo en cuenta el tipo de terreno como muestra la *Tabla 28. Automóviles equivalentes por camiones y autobuses, en función del tipo de terreno*

Tabla 28. Automóviles equivalentes por camiones y autobuses, en función del tipo de terreno.

TIPO DE VEH	NV DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO		
		Plano	Ondulado	Montañoso
Camiones (Et)	A	2	4.0	7.0
	B-C	2.2	5.0	10.0
	D-E	2	5.0	12.0
Buses (Eb)	A	1.8	3.0	5.7
	B-C	2	3.4	6.0
	D-E	1.6	2.9	6.5
Veh Recreativos (Er)	A	2.2		
	B-C	2.5		
	D-E	1.6		

Fuente: LECLAIR, Raúl. Manual centro americano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Secretaria de integración económica centroamericana, SIEC, 2da edición. P, 67.

A continuación, en la *Tabla 29. Datos según el tipo terreno*, se presenta un esquema más detallado de los valores que se utilizaron para el cálculo del factor de vehículos pesados teniendo en cuenta cada nivel de servicio.

Tabla 29. Datos según el tipo de terreno.

TIPO DE VEH	NIVEL DE SERVICIO	TERRENO
		Plano
Camiones (Et)	A	2
	B-C	2.2
	D-E	2
Buses (Eb)	A	1.8
	B-C	2
	D-E	1.6
Veh Recreativos (Er)	A	2.2
	B-C	2.5
	D-E	1.6

Fuente: Propia

Calculo del factor de vehículo pesado para cada nivel de servicio aplicando la formula (Fhv) mencionada anteriormente.

Tabla 30. Factor de vehículos para cada nivel de servicio, sentido occidente - oriente

Fhv (Nivel A) =	.008373947
Fhv (Nivel B) =	.006718714
Fhv (Nivel C) =	.006718714
Fhv (Nivel D) =	.01600615
Fhv (Nivel E) =	.01600615

Fuente: Propia

Finalmente se reemplazó la formula mostrada a continuación, con el fin de llegar al cálculo del Volumen de servicio para el nivel seleccionado (Sfi).

$$Sfi = 2800 * \frac{v}{c} * f * f * fhv, \text{ donde}$$

El volumen de servicio que se obtuvo para cada nivel esta contenido a continuación en la *Tabla 31. Volumen de servicio para cada nivel en el sentido occidente oriente*

Tabla 31. Volumen de vehículos equivalente al nivel de servicio

Nivel A (Vh/Hora) =	1.142
Nivel B (Vh/Hora) =	1.833
Nivel C (Vh/Hora) =	2.979
Nivel D (Vh/Hora) =	11.281
Nivel E (Vh/Hora) =	23.529

Fuente: Propia

Una vez obtenido los volúmenes de los niveles se compararon con el volumen de la hora pico expresado como volumen equivalente (VE), dato que se halló inicialmente como se muestra a continuación en la formula.

$$V = \frac{9}{0.9} = \mathbf{10.163 \text{ v/h}}$$

Dicho dato (10163 v/h) se comparó con los valores contenidos en la tabla 31. Volumen de servicio para establecer el nivel al que está operando la carretera, de modo que los 10.163 v/h se encuentra más próximo a 11.281 v/h por consiguiente el nivel de servicio que presenta el tramo de la calle 63 sentido occidente-oriente es equivalente a un nivel D menos (-) porque está un poco alejado de D como se observa en la Tabla 32. Análisis del nivel de servicio basado en la metodología del manual de capacidades de las carreteras (1994) vs el volumen equivalente en la hora pico.

Tabla 32. Análisis del nivel de servicio basado en la metodología del manual de capacidades de las carreteras (1994) vs el volumen equivalente en la hora pico.

Nivel A (Vh/Hora) =	1.142	
Nivel B(Vh/Hora) =	1.833	
Nivel C (Vh/Hora) =	2.979	
Nivel D (Vh/Hora) =	11.281	10163 vh/h
Nivel E (Vh/Hora) =	23.529	

Fuente: Propia

- **SENTIDO AV. CALLE 63 SENTIDO ORIENTE – OCCIDENTE**

A continuación se presentan las características y datos básicos para determinar el nivel de servicio para dicha intersección como se observa en la *tabla 33. Características de la glorieta y el tráfico en el sentido av. calle 63 sentido occidente – oriente*

Tabla 33. Características de la glorieta y el tráfico en el sentido av. calle 63 sentido occidente - oriente.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIA		CARACTERÍSTICAS DEL TRAFICO	
Terreno	Plano	Vthp	9757
Velocidad del proyecto (km/h)	30	Fph	0.96
Ancho de carriles (metros)	3.00	Distribución direccional	60/80
Ancho de hombros (pies)	0	% de camiones (PT)	0.88
Restricciones de rebase	20%	% de buses (PB)	5.57
Numero de carriles	3	% veh recreativos (PR)	93.55

Fuente: Propia

Por tanto:

$$V = \frac{V}{F} \frac{h}{h}$$

$$V = \frac{9}{0.9} = 10163 \text{ v/h}$$

Volumen equivalente el cual se comparará con los niveles de servicios proyectados más adelante.

1. Relación volumen / capacidad obtenida a partir de la *Tabla 23. Nivel de servicio para una restricción del 20%* es la misma para las tres intersecciones, como lo es el de la Av. Calle 63 sentido Occidente – Oriente, sentido Oriente – Occidente y sentido Sur - Norte, por ende, la relación volumen / capacidad no varía.

Tabla 23. Nivel de servicio para una restricción del 20%

Nivel Servicio	V/c
A	0.12
B	0.24
C	0.39
D	0.62
E	1

Fuente: Propia

2. El cálculo del factor para anchos de carril y hombros es el mismo que se observa en la *Tabla 27. Factor ancho de carril para cada nivel de servicio*.
3. Se calculó el factor de vehículos pesados (Fhv) para cada nivel de servicio teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$1. F_{hv} = \frac{1}{(1+P * (E - 1) + P * (E - 1) + P * (E - 1))}$$

Una vez extraídos los datos de la *Tabla 28. Automóviles equivalentes por camiones y autobuses en función del tipo de terreno*, para alimentar la formula como resultado se obtuvo los siguientes datos observados en la tabla 34. Factor de vehículos para cada nivel de servicio, sentido oriente - occidente

Tabla 34. Factor de vehículos para cada nivel de servicio, sentido oriente - occidente.

Fhv (Nivel A) =	.008431988
Fhv (Nivel B) =	.006758995
Fhv (Nivel C) =	.006758995
Fhv (Nivel D) =	.01629939
Fhv (Nivel E) =	.01629939

Fuente: propia

4. En consecuencia a lo anterior se calculó el volumen de servicio para el nivel seleccionado (Sfi) de la siguiente forma

$$Sfi = 2800 * \frac{v}{c} * f * f * fhv$$

En donde la relación volumen / capacidad (v/c), factor para anchos de carril y hombros (fw), factor de vehículos pesados (fhv) se encuentra expresada en tablas anteriores.

Mostrando así como resultado el volumen de servicio contenido en la Tabla 35. Volumen de vehículos equivalentes al nivel de servicio.

Tabla 35. Volumen de vehículos equivalentes al nivel de servicio.

Nivel A (Vh/Hora) =	1.150
Nivel B (Vh/Hora) =	1.844
Nivel C (Vh/Hora) =	2.997
Nivel D (Vh/Hora) =	11.488
Nivel E (Vh/Hora) =	23.960

Fuente: propia

Como resultado al cálculo del volumen de servicio en el tramo de la calle 63 sentido oriente-occidente se observa en la Tabla 36. Análisis del nivel de servicio basado en la metodología del manual de capacidad de las carreteras (1994) vs el volumen equivalente en la hora pico. En donde el nivel de servicio es equivalente a un nivel D menos (-) ya que 10.136 v/h está un poco alejado del nivel D, siendo este (11.488).

Tabla 36. Análisis del nivel de servicio basado en la metodología del manual de capacidad de las carreteras (1994) vs el volumen equivalente en la hora pico.

Nivel A (Vh/Hora) =	1.150	
Nivel B (Vh/Hora) =	1.844	
Nivel C (Vh/Hora) =	2.997	
Nivel D (Vh/Hora) =	11.488	10163 vh/h
Nivel E (Vh/Hora) =	23.960	

Fuente: Propia

- **SENTIDO CARRERA 50 SENTIDO SUR- NORTE**

A continuación, se presentan las características y datos básicos para determinar el El nivel de servicio para dicha intersección como se observa en la *tabla 37. Características de la glorieta y el tráfico en el sentido av. Calle 63 sentido sur-norte.*

Tabla 37. Características de la glorieta y el tráfico en el sentido av. calle 63 sentido Sur - Norte

CARACTERÍSTICAS DE LA VIA		CARACTERÍSTICAS DEL TRAFICO	
Terreno	Plano	Vthp	9757
Velocidad del proyecto (km/h)	30	Fph	0.96
Ancho de carriles (metros)	2	Distribución direccional	60/80
Ancho de hombros (pies)	0	% de camiones (PT)	1.11
Restricciones de rebase	20%	% de buses (PB)	5.02
Numero de carriles	2	% veh recreativos (PR)	93.87

Fuente: Propia

Por tanto:

$$V = \frac{V}{F} \frac{h}{h}$$

$$V = \frac{9}{0.9} = 10163 \text{ v/h}$$

1. Los datos de la relación volumen / capacidad son constantes para las tres intersecciones.

A continuación, se presenta en la *Tabla 38. Factor de distribución por carril sentido sur-norte* los valores utilizados por la **AASHTO** para obtener el

factor de distribución direccional de tránsito el cual se utilizó para obtener S (Volumen de servicio para el nivel de servicio seleccionado).

Tabla 38. Factor de distribución por carril sentido Sur - Norte.

No. CARRILES EN CADA DIRECCIÓN	PORCENTAJE DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 18 Kips EN EL CARRIL DE DISEÑO (F_c)
1	100
2	80-100
3	60-80
4 ó más	50-75

Fuente: Aashto, guide for design of pavement structures 1993

- El tramo sentido av. calle 63 sentido Sur – Norte consta de 2 carriles por ende se asignó un factor de distribución de 0.9 como evidencia la tabla 39.

Tabla 39. Factor de distribución según INVIAS.

Factor de distribución según INVIAS	Distribución direccional
0.9	80/100

Fuente: Aashto, guide for design of pavement structures 1993

Una vez se obtuvo la distribución, se determinó el factor ancho de carril y hombro (F_w) como se observa en la Tabla 40. Factores de ajustes por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos cuyos datos dependen de la geometría de la glorieta

Tabla 40. Factores de ajustes por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos

Hombro (m)	Carril de 3.65m		Carril de 3.35m		Carril de 3.05m		Carril de 2.75m	
	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E
1.8	1.00	1.00	0.93	0.94	0.83	0.87	0.70	0.76
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Fuente: LECLAIR, Raúl. Manual centro americano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Secretaría de integración económica centroamericana, SIEC, 2da edición. P, 67.

Debido a que el carril de la glorieta tiene 4 metros según sus características geométricas, se seleccionó la opción de carril de 3.65 metros ya que este es el máximo dato presentado en la *Tabla 40. Factores de ajustes por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos* Reflejando un factor para cada nivel de servicio de la A-D de 0.70 y para el nivel de servicio E un valor de 0.88

Tabla 41. Factor ancho de carril para cada nivel de servicio

FACTOR ANCHO DE CARRIL Y HOMBRO (Fw)	
ANCHO DE CARRIL (m)	4
ANCHO DE HOMBRO (m)	0.0

Nivel de Servicio	FW
A	0.70
B	0.70
C	0.70
D	0.70
E	0.88

Fuente: Propia

Se calcula el factor de vehículos pesados (Fhv) para cada nivel de servicio teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$F_{hv} = \frac{1}{(1 + P * (E - 1) + P * (E - 1) + P * (E - 1))}$$

Tabla 42. Factor de vehículos para cada nivel de servicio, sentido Sur - Norte

Fhv (Nivel A) =	.008419635
Fhv (Nivel B) =	.006749597
Fhv (Nivel C) =	.006749597
Fhv (Nivel D) =	.01627498
Fhv (Nivel E) =	.01627498

Fuente: Propia

Finalmente, el volumen de servicio para el nivel de servicio será:

Tabla 43. Análisis del nivel de servicio basado en la metodología del manual de capacidad de las carreteras (1994) vs el volumen equivalente en la hora pico.

Nivel A (Vh/Hora) =	1.782	
Nivel B(Vh/Hora) =	2.858	
Nivel C (Vh/Hora) =	4.643	
Nivel D (Vh/Hora) =	17.800	10.163 vh/h
Nivel E (Vh/Hora) =	36.091	

Fuente: Propia

Como se observa en la Tabla 43. Análisis del nivel de servicio basado en la metodología del manual de capacidad de las carreteras (1994) vs el volumen equivalente en la hora pico. En donde el volumen de servicio es equivalente a un nivel D menos (-) ya que 10.136 v/h está un poco alejado del nivel D, siendo este (10.163).

8. CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos de este estudio se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Se identificó la hora pico en la glorieta ubicada en la calle 63 con carrera 50 en Bogotá D.C mediante la realización de aforos durante dos días, en donde se obtuvo que la mayor concentración de vehículos se encuentra desde las 5:30pm a 6:30pm.
- Se estableció que los métodos no convencionales como francés, Danés y Setur no son recomendables para el estudio de la glorieta debido a que dichos métodos no están diseñados para el análisis de la capacidad de intersección con alto flujo vehicular.
- El mayor flujo vehicular se presenta sobre la avenida calle 63 con sentido oriente a occidente con una cantidad de 2448 debido a concentración de zonas estudiantiles e industriales.
- La capacidad de la glorieta en estudio estuvo dada bajo condiciones prevalentes de la vía como las características geométricas, dimensiones del carril, factores de ajustes por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos, composición vehicular etc.
- Se analizó la capacidad vehicular de la glorieta en estudio la cual es mala en relación con los volúmenes de transito que se registraron, en especial en horas de máxima demanda donde se encontró un exceso de vehículos que superan la capacidad de la glorieta, trabajando a más de un 300% por cada acceso debido a la alta demanda.
- Se determinó que la capacidad vehicular de la glorieta por métodos no convencionales en función a su geometría y trafico circulante se encuentra en un estado de saturación, especialmente el ramal de la avenida calle 63 sentido oriente a occidente con una demanda de 3488 usuarios vs una capacidad de 936 usuarios.

- El nivel de servicio de la glorieta en estudio se encuentra en la parte inferior del rango establecido, según lo estipulado en el Manual de Capacidad INVIAS (1996).
- El nivel de servicio que presenta la glorieta se encuentra en un nivel D por ende es frecuente que haya formación de colas en puntos localizados, condiciones inestables de circulación y velocidad reducida.

9. RECOMENDACIONES

- No se recomienda establecer diseños geométricos en la glorieta debido al poco espacio que presenta el lugar en estudio.
- la evaluación de la capacidad de la glorieta por el método danés y francés no difiere en mucho lo que da cabida a poder emplear alguno de estos dos métodos con seguridad para determinar la capacidad.
- Se recomienda no usar el método Setur ya que este presenta datos atípicos y poco coherentes a diferencia de los otros dos métodos en la glorieta en estudio.
- Se recomienda realizar campañas de capacitación del uso correcto de este tipo de intersecciones ya que mediante observación se evidencio que muchos de los conductores realizan maniobras que entorpecen el flujo vehicular, por ejemplo, entrecruzamientos erróneos lo que impide el paso de los vehículos de los demás carriles generando estancamientos.
- Se recomienda implementar un sistema de transporte masivo amigable con el medio ambiente a lo largo de la calle 63, por ejemplo: sistema de metro, sistema de buses con motor eléctrico o tranvía, que unido al sistema actual de transporte logre desincentivar el uso del vehículo particular, reduciendo así en gran medida todos los problemas que dieron origen a la presente investigación.
- Se recomienda el uso de la bicicleta, ya que este medio de transporte alternativo debe estimularse con el objetivo de disminuir el número de vehículos que van ocupados por una sola persona, evitando así largas colas, estancamientos, contaminación ambiental y ruido, entre otros.
- Se recomienda realizar restricciones de movilización en esta zona a vehículos ocupados por una sola persona e incentivar su uso compartido.
- Se recomienda la disposición de policías de tránsito en esta glorieta en las horas de máxima demanda, con el fin de mejorar el desplazamiento de los usuarios evitando estancamientos y accidentes.

10. BIBLIOGRAFIA

Capítulo o partes de un libro

- BAÑON, Luis. Tráfico en vías urbanas. Tráfico. Bogotá. (s.f.).

Trabajo de grado. Monografía o tesis

- GALARRAGA, HERZ Y ALBRIEU. Capacidad y nivel de servicio en calles urbanas. Córdoba: Maestría en ciencias de la ingeniería con mención de transporte. Sf.

Trabajo de grado. Monografía o tesis

- GRANADOS, Francisco. *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD: Capacidad y nivel de servicio*. México, 2012. Tesis. Universidad Nacional Autónoma De México Ingeniería Civil

Normas Técnicas

- INSTRUCCIONES DE CONSTRUCCIÓN. Recomendaciones sobre glorietas. Madrid: Ministerio de fomento. Centro de publicaciones, 1999. 6 p.: il. (Series normativas. Instrucciones de construcción.

Trabajo de grado. Monografía o tesis

- KANG, Nan and NAKAMURA, Hideki. An analysis of heavy vehicle impact on roundabout entry capacity in Japan. Japan: Volumen 15. P. 308-318

Normas técnicas

- Manual: Actualización del Manual de Capacidad y NDS de Colombia – 2015. En: Manual de capacidad y nivel de servicio 2015 (En boletín) <https://sites.google.com/site/hcmcol2015/manual>. Sf.

Trabajo de grado. Monografía o tesis

- MARTIN, Marilo et al. Capacity and operational improvements of metering roundabouts in Spain. Garcia A, Moreno A, Llorca C. España: Universidad politécnica de Madrid, Spain. Volumen 15, 2016, P. 307.

Trabajo de grado. Monografía o tesis

- MARTIN, Dolores. *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de las glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante micro simulación de tráfico. Geometría de la intersección*. 1^{ra} Ed Julio 2012. Catedra Abertis, 592 h. Proyecto. Universidad Politécnica de Valencia. Ingenieros de Caminos y de puertos.

Trabajo de grado. Monografía o tesis

- NARANJO HERRERA, Víctor. Análisis de la capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales. Manizales, 2008, 121 h. Especialización en vías y transporte. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura

11. ANEXOS

- ANEXO A (PLANO INVENTIARIO VIAL)
- ANEXO B (PLANO DE SEÑALIZACION H Y V)
- ANEXO C (FORMATO DE CAMPO 01)
- ANEXO D (TABLAS DE AFOROS)
- ANEXO E (FORMATO DE CAMPO 02)
- ANEXO F (AFOROS VEHICULARES EN HORA PICO)