



**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito**  
**Decanatura de Ingeniería Civil**

**Caracterización de flujos vehiculares en intersecciones viales de**  
**Bogotá, Colombia**

**Miguel Ángel Cuéllar Sarmiento**  
**Paula Andrea Beltrán Vargas**

**Bogotá, D. C., junio de 2020**



## **Caracterización de flujos vehiculares en intersecciones viales de Bogotá, Colombia**

**Proyecto dirigido presentado como requisito parcial para optar  
al Énfasis de Ingeniería Civil en Tránsito y Transporte**

**Ingeniera Mónica Marcela Suárez Pradilla, PhD.  
Director**

**Grupo de Investigación:  
Centro de estudios de Vías y Transporte**

**Bogotá, D. C., junio de 2020**

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres y mi hermana, por su paciencia y amor incondicional; a mis abuelas por sus oraciones y felicidad transmitida; a mi compañera de vida por contagiarme de pasión y entusiasmo, y a todos aquellos familiares, amigos y profesores que hicieron parte de este proceso integral de formación.

Agradezco a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, que en conjunto con la ingeniera Mónica Marcela Suárez Pradilla hicieron esto posible, por su confianza y atención especial con nosotros; al igual que al ingeniero Juan Nicolás González Sarmiento por su trabajo y disposición a compartir sus conocimientos; y a la ingeniera María Fernanda Ramírez Bernal por motivarme a iniciar este camino de la ingeniería.

En memoria de mis abuelos Mercedes y Ángel, y del ingeniero Wilder Cuéllar.

*Miguel Ángel Cuéllar Sarmiento*

Agradezco inicialmente a la Ingeniera Mónica Marcela Suárez Pradilla, directora del proyecto, quien a lo largo de la elaboración de este, fue un apoyo incondicional y constante, dedicó su tiempo a formarme y a solucionar cada una de nuestras dudas, a corregirnos y alimentar nuestro espíritu investigativo. Agradezco de igual manera al Ingeniero Juan Nicolás González Sarmiento, quien conjuntamente, nos ayudó a desarrollar esta idea con sus amplios conocimientos en la materia, le agradezco por su disposición y orientación en cada paso. Finalmente agradezco a la Escuela Colombiana de Ingeniería y a la facultad de Ingeniería Civil, ya que sin ellos esto no sería posible.

*Paula Andrea Beltrán Vargas*

## Resumen

El diseño de las intersecciones viales representa una parte importante del gasto público de una ciudad para los nuevos proyectos de infraestructura vial. Además, se encuentra dentro de los procesos de planificación y ordenamiento territorial. El objetivo de este documento es caracterizar el flujo vehicular de las intersecciones viales en Bogotá, de acuerdo con su comportamiento de giro. A partir de aforos vehiculares disponibles en bases de datos abiertas, se seleccionaron aleatoriamente 305 intersecciones distribuidas por toda ciudad, de las cuales se extrajo información referente a su identificación, flujo vehicular desagregado y sus características físicas y operativas. Como resultado, se obtuvo las funciones de probabilidad empíricas para cada tipo de intersección clasificadas en función de la distribución de sus accesos y su tipología. Adicionalmente, a partir de análisis estadísticos, se evalúa la heterogeneidad del comportamiento promedio del flujo vehicular en los periodos de máxima demanda en la mañana y en la tarde. La estimación de las probabilidades a priori de funcionamiento de las intersecciones, no solo sirve para su diseño, también puede ser utilizada como parámetro inicial de los diferentes algoritmos de balanceo de redes de transporte.

**Palabras clave:** *intersección vial; movimientos de giro; funciones empíricas de probabilidad; flujo vehicular; tipos de intersecciones*

## Abstract

The design of road intersections represents an important part of a city's public expenditure for new road infrastructure projects. Also, it is a step of the planning and land management processes. The objective of this document is to characterize the vehicle flow of road intersections in Bogotá, according to their turning behavior. Using Volume Vehicle reports available in open databases, 305 intersections distributed throughout the city were randomly selected. From these intersections, information about their identification, disaggregated vehicle flow and their physical and operational characteristics was extracted. As a result, the empirical probability functions were obtained for each type of intersection classified, according to the distribution of their accesses and their typology. Additionally, the heterogeneity of the average behavior of the vehicle flow in the periods of maximum demand in the morning and the afternoon was analyzed. The estimation of the a priori turn flow probabilities of the intersections is not only useful for their design, but it can also be used as an initial parameter of the different balancing algorithms for transport networks.

**Keywords:** *road intersections; turn flow movements; empirically probability functions; traffic flow; types of intersections*

## Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Contenido .....	2
<b>2 Marco Teórico .....</b>	<b>3</b>
2.1 Intersecciones Viales .....	3
2.2 Intercambiadores Viales .....	4
2.3 Elementos de Intersecciones Viales Urbanas .....	5
2.3.1 Número de Ramales .....	5
2.3.2 Canalización de Movimientos Vehiculares .....	8
2.3.3 Elementos de Control de tránsito .....	10
2.4 Otros Tipos de Intersecciones e Intercambiadores .....	11
<b>3 Caso de Estudio - Bogotá .....</b>	<b>20</b>
3.1 Metodología y Fuente de Datos .....	22
3.1.1 Metodología .....	22
3.1.2 Fuente de Datos .....	26
3.2 Resultados .....	31
3.2.1 Análisis exploratorio de intersecciones .....	32
3.2.2 Comportamiento de los Giros en las Intersecciones .....	47
<b>4 Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>60</b>
<b>5 Bibliografía .....</b>	<b>61</b>

## Índice de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Movimientos en intersección tipo Te .....	6
Figura 2 Esquema de intersección tipo Ye .....	6
Figura 3 Esquema y movimientos en intersección de cuatro ramas o tipo Cruz ....	7
Figura 4 Puntos de conflicto en intersección tipo Cruz.....	8
Figura 5 Esquemas de diseño geométrico de intersecciones canalizadas tipo Te, Ye y Cruz .....	9
Figura 6 Intersecciones tipo Te y Cruz controladas por "PARE" .	10
Figura 7 Intersección tipo Cruz semaforizada .....	11
Figura 8 Intersecciones tipo T y tipo Y con "Ceda el paso".....	11
Figura 9 Esquema de diseño de una intersección tipo glorieta .....	13
Figura 10 Glorietas a nivel y desnivel.....	14
Figura 11 Esquema de los elementos de diseño en intercambiador tipo "Trompeta" .....	15
Figura 12 Ejemplos de Intercambiadores tipo "Trompeta" .....	16
Figura 13 Intercambiador tipo "Trébol" combinado .....	17
Figura 14 Esquema de los parámetros de diseño de Intercambiador tipo "Trébol" .....	18
Figura 15 Intersección-Intercambiador tipo "Diamante" .....	19
Figura 16 Estado de la malla vial de la ciudad de Bogotá.....	21
Figura 17 Esquema accesos y giros .....	24

Figura 18 Modelo Metodológico .....	26
Figura 19 Mapa de intersecciones analizadas en las horas de máxima demanda para Bogotá.....	29
Figura 20 Histograma de frecuencias del volumen vehicular mixto para las intersecciones analizadas en Bogotá .....	35
Figura 21 Diagrama de caja del volumen vehicular mixto para las intersecciones analizadas en Bogotá.....	36
Figura 22 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Primaria - Primaria" .....	38
Figura 23 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Primaria - Secundaria".....	39
Figura 24 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Primaria - Local".....	41
Figura 25 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Secundaria - Secundaria".....	42
Figura 26 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Secundaria - Local".....	44
Figura 27 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Local - Local".....	45
Figura 28 Tipos de movimientos por acceso.....	46
Figura 29 Función de distribución empírica por combinación jerárquica de vías para el giro a la derecha.....	49

Figura 30 Función de distribución empírica por combinación jerárquica de vías para el giro a la izquierda .....	50
Figura 31 Función de distribución empírica para automóviles por combinación jerárquica de vías para el giro a la derecha .....	52
Figura 32 Función de distribución empírica para automóviles por combinación jerárquica de vías para el giro a la izquierda.....	53
Figura 33 Función de distribución empírica para motocicletas por combinación jerárquica de vías para el giro a la derecha. ....	55
Figura 34 Función de distribución empírica para motocicletas por combinación jerárquica de vías para el giro a la izquierda.....	55
Figura 35 Test estadístico para comparar las varianzas de los datos de los flujos vehiculares de la mañana y de la tarde en el software RStudio.....	57
Figura 36 Prueba estadística de dos variables independientes con varianzas iguales para valores promedio iguales.....	57
Figura 37 Test estadístico para comparar las varianzas de los datos de los flujos vehiculares de las intersecciones tipo cruz o X y T en el software RStudio.....	58
Figura 38 Prueba estadística de dos variables independientes con varianzas iguales para valores promedio iguales.....	59

## Índice de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Número de viajes de los Bogotanos por medio predominante. Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad. Encuesta de movilidad 2015. ....	21
Tabla 2- Accesos y movimientos de intersección. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Tabla 3. Tipologías Maestras Fuente: Contrato de Consultoría 1268 de 2016 para la SDM .....	27
Tabla 4. Categorías vehiculares. Fuente: SDM.....	28
Tabla 5. Resumen de variables de análisis. Fuente: Elaboración propia. ....	31
Tabla 6. Combinaciones posibles de intersección según la jerarquía de vías. Fuente: elaboración propia.....	32
Tabla 7. Intersección según tipo de movimientos. Fuente: Elaboración propia....	33
Tabla 8. Número de datos recolectados según el tipo de intersección. Fuente: elaboración propia.....	33
Tabla 9. Parámetros estadísticos de los volúmenes vehiculares por tipo de intersección y totales. Fuente: elaboración propia. ....	34
Tabla 10. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Primaria - Primaria". Fuente: elaboración propia. ....	37
Tabla 11. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Primaria - Secundaria". Fuente: elaboración propia.....	39
Tabla 12. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Primaria - Local". Fuente: elaboración propia. ....	40



Tabla 13. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Secundaria - Secundaria". Fuente: elaboración propia.....	42
Tabla 14. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Secundaria - Local". Fuente: elaboración propia. ....	43
Tabla 15. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Local - Local". Fuente: elaboración propia.....	45
Tabla 16. Número de datos por tipo de movimiento por acceso. Fuente: elaboración propia. ....	47
Tabla 17. Matriz de porcentaje de giro de acuerdo al acceso para cada combinación jerárquica de vías en las intersecciones analizadas Fuente: elaboración propia. ....	48
Tabla 18. Matriz de porcentaje de giro de automóvil de acuerdo al acceso para cada combinación jerárquica de vías en las intersecciones analizadas Fuente: elaboración propia.....	51
Tabla 19. Matriz de porcentaje de giro de motocicletas de acuerdo con el acceso para cada combinación jerárquica de vías en las intersecciones analizadas Fuente: elaboración propia.....	54

## 1 Introducción

### 1.1 Motivación

Paulatinamente, la movilidad de la capital colombiana se ha convertido en una problemática de nivel nacional que diariamente afecta a sus millones de habitantes dentro del área metropolitana en continua expansión.

Una de las principales causas de esta problemática recae en el deterioro de la infraestructura vial, no solo en cuestiones de mantenimiento, sino sobre todo del estancamiento en los diseños viales empíricos, que lentamente formaron la mancha urbana que hoy se reconoce fácilmente.

El diseño de cada nodo en la malla vial representa una parte importante del gasto público, y así mismo, un principio angular en los procesos de planeación y ordenamiento territorial que garantizan no solo la accesibilidad sino también la seguridad vial en todos los aspectos, desde la interacción con los actores más vulnerables, hasta evitar las dificultades inminentes que un cruce a desnivel, un repartidor vial o una señalización de prioridad generan.

Por esta razón, el diseño de las intersecciones debe estar precedido por un estudio riguroso de comportamiento del flujo del tránsito, que permita realizar una integración coherente con las capacidades y las necesidades, en vez de trasladar el problema a otra parte de la red vial con soluciones tradicionales (Uribe, 2006).

Este proyecto plantea como objetivo el caracterizar los flujos de tránsito en los movimientos de giro para las intersecciones, con el fin de brindar una herramienta de suma utilidad y satisfacer futuras necesidades para el mejoramiento de la eficiencia de los movimientos direccionales que se realicen (AASHTO, 2001).

## 1.2 Objetivos

El objetivo del documento es caracterizar el flujo vehicular de las intersecciones viales en Bogotá, de acuerdo con su comportamiento de giro. Además, se generan los siguientes objetivos específicos a desarrollar:

- Estudiar las tendencias de flujo vehicular en las intersecciones tipo Cruz y Te para la identificación de las variables de caracterización.
- Modelar las variables representativas de caracterización de las intersecciones tipo Cruz y Te a partir de la construcción de una base de datos que facilite su análisis.

## 1.3 Contenido

El proyecto está conformado por cinco (5) capítulos. El segundo capítulo presenta el marco teórico bajo el cual se describen los principales fundamentos conceptuales a desarrollar en la elaboración del análisis. El Capítulo 3 expone las herramientas y metodologías utilizadas para el caso de estudio específico de Bogotá y los resultados obtenidos a partir de las preguntas de investigación. En el Capítulo 4 se resumen las lecciones aprendidas a partir de las conclusiones del análisis, aplicando los lineamientos a un caso práctico. Finalmente, las referencias bibliográficas base son enlistadas en el Capítulo 5.

## 2 MARCO TEÓRICO

A nivel mundial se ha estudiado la conceptualización, evaluación y diseño de intersecciones vehiculares en vías urbanas. Estas representan un componente de análisis, no solo de la movilidad, sino también del contexto urbanístico ligado a la funcionalidad de los usos del suelo. Mediante el análisis de los movimientos vehiculares y con la recolección de datos de flujo vehicular, se identifican los principales parámetros de funcionamiento y desde allí se proponen mejores soluciones de ingeniería.

Dichos conceptos fundamentales que permiten la evaluación del comportamiento de los flujos vehiculares son presentados a continuación, con el objeto de contextualizar al lector. Para ello, es importante aclarar que para este proyecto se designará el término de “*Intersección vial*” a todo cruce compartido al mismo nivel de elevación, mientras que, si el cruce se realiza a diferentes niveles, se denominará “*Intercambiador vial*” (ICG, 2005).

### 2.1 Intersecciones Viales

En ingeniería de tránsito, una intersección vial es la zona común entre dos o más vías de la red vial. Estas son configuradas como elementos de discontinuidad que permiten cruces, giros o cambios de líneas de flujo sin segregación vertical por parte de los actores viales presentes, es decir, al mismo nivel de servicio (Uribe, 2006).

Este último aspecto particular las convierte en puntos de alta accidentalidad, al permitir la interferencia de líneas de flujo de acuerdo con las reacciones físicas y psicológicas de cada usuario.

En el diseño de intersecciones viales urbanas, el parámetro de seguridad vial es el más influyente para garantizar la vida de los diferentes actores viales, no solo el mínimo de interferencias al tráfico por concepto de accidentalidad. Además, la optimización del diseño, en función de demanda vehicular permite una interacción segura de los usuarios, la cual disminuye la probabilidad de ocurrencia del represamiento vehicular y la congestión.

Para reducir al máximo los siniestros en una intersección vial, también se debe tener en cuenta la señalización tanto horizontal como vertical, dado que permite comunicar de manera anticipada las eventualidades en la vía, regulando y condicionando así los comportamientos de cada uno de los actores viales.

Sin embargo, en cuestiones de diseño, existen distintos tipos de intersecciones que permiten optimizar los flujos vehiculares y garantizar la operación, por ello se presenta a detalle las principales tipologías de intersecciones viales y sus principales parámetros para su diseño, aplicación y operación.

## **2.2 Intercambiadores Viales**

Los intercambiadores viales o intersecciones a desnivel, contrariamente a las intersecciones viales, son definidos como la zona común entre dos o más carreteras de la red vial. Estas son configuradas como elementos de discontinuidad que permiten cruces, giros o cambios de líneas de flujo con segregación vertical por parte de los actores viales presentes, es decir, al distinto nivel de servicio.

Este tipo de cruces minimizan los puntos de conflicto para la operación óptima de los movimientos posibles, y son utilizados generalmente cuando una intersección vial no cumple con la capacidad suficiente para permitir la operación segura de todos los actores. Sin embargo, este tipo de proyectos no tienen la misma viabilidad

económica frente a las intersecciones viales, tanto en su operación como en su mantenimiento, dado que requieren de infraestructura de mayor nivel.

Tal como se mencionó anteriormente, los intercambiadores son realmente útiles cuando los conflictos de incorporación y separación a nivel son numerosos y a la vez complejos, ya que limita los movimientos de forma rigurosa y esto permite controlar los comportamientos de los actores viales desde el diseño, sin ningún tipo de elemento adicional, bien sea tecnológico (semaforización) o de señalización por el cruce propiamente dicho, más allá de los criterios de seguridad vial.

En cuanto al diseño de los intercambiadores, es más sofisticado que en el caso de las intersecciones viales, ya que a pesar de que se simplifican los movimientos y la interacción, el componente de infraestructura tiene mayor protagonismo y, por ende, requiere mayor presupuesto.

### **2.3 Elementos de Intersecciones Viales Urbanas**

Existen diferentes formas de clasificar las intersecciones viales de acuerdo a sus elementos. Estas se pueden dar por el número de ramales de interacción, el manejo de los movimientos vehiculares, o el controlador de tránsito requerido (ICG, 2005). No obstante, el detalle de esta tipificación se resalta a continuación

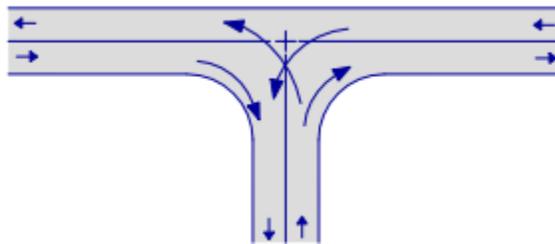
#### **2.3.1 Número de Ramales**

Gran parte de las intersecciones están compuestas por tres o cuatro ramales principales que derivan en los diferentes posibles movimientos. Son el tipo de intersección más sencillo en términos de diseño y también los más utilizados, debido a su baja complejidad, entre las cuales se incluyen las tipo Cruz y *Te*. Sin embargo, es uno de los que presenta mayor índice de accidentalidad, debido a la usual interacción de diversos actores viales, tales como peatón, ciclistas y

automóviles. Su diseño en cuestión de seguridad es notablemente más complejo de lo acostumbrado.

En primer lugar, se encuentran las intersecciones de tres ramales, las cuales están divididas, principalmente, en tipo  $Ye$ , o tipo  $Te$ , según la rapidez de convergencia de la separación o aproximación.

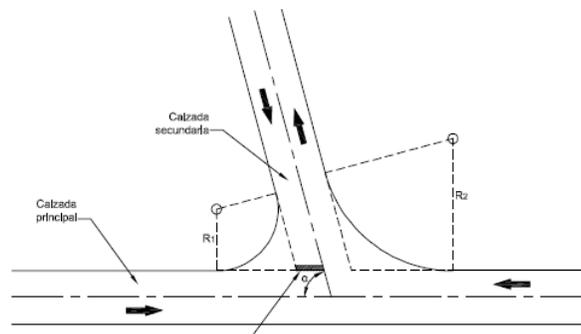
**Figura 1 Movimientos en intersección tipo  $Te$**



*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas del ICG (2005).*

La Figura 1 muestra los posibles movimientos del flujo vehicular en una intersección de tipo  $Te$ , en donde se evidencia conflictos entre los posibles movimientos de los actores viales que hacen uso de esta vía.

**Figura 2 Esquema de intersección tipo  $Ye$**



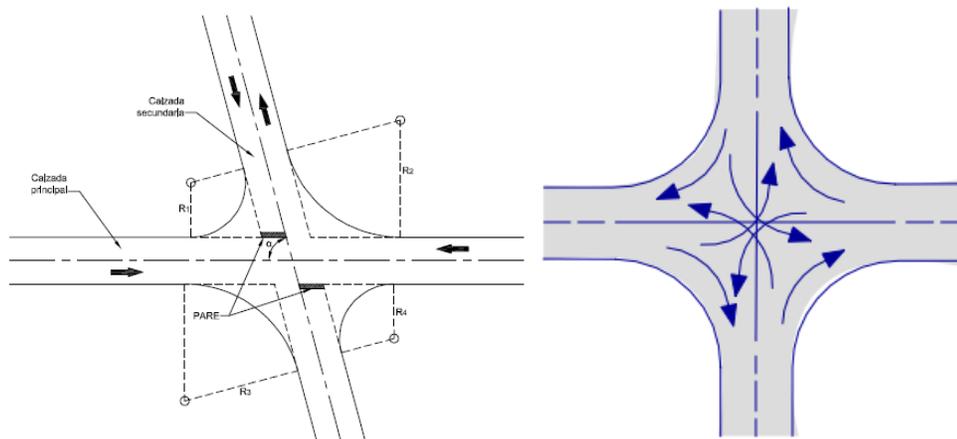
*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008).*

En relación con las intersecciones tipo  $Ye$ , la Figura 2 presenta el funcionamiento de la intersección, la cual se comporta de forma similar a la intersección tipo  $Te$ .

No obstante, la calzada secundaria tiene un ángulo de inclinación que facilita el movimiento secundario.

Por otro lado, en cuanto a las intersecciones de cuatro ramales, tipo Cruz, los movimientos posibles aumentan y, por ende, se incrementa la cantidad de puntos de conflicto entre los actores, tal como muestra la Figura 3, donde por un lado se da cuenta de la geometría básica de diseño, mientras que por el otro de los movimientos de flujo.

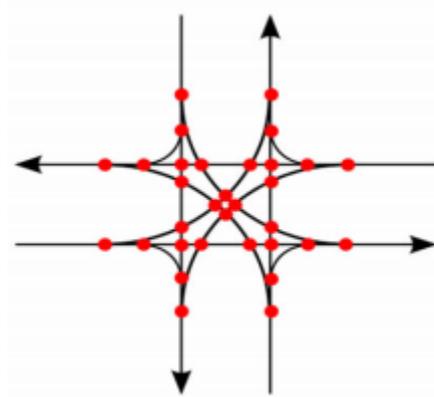
**Figura 3 Esquema y movimientos en intersección de cuatro ramas o tipo Cruz**



*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carretera del INVIAS (2009) y Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas del ICG (2005).*

Por su parte, en el sentido de la generación de puntos de conflicto, la Figura 4, ilustra con puntos de color rojo lo que podría generarse sin una adecuada regulación, no solo de señalización vertical y horizontal, sino también teniendo en cuenta el diseño geométrico con las velocidades de diseño.

**Figura 4 Puntos de conflicto en intersección tipo Cruz**



*Fuente: Análisis y Evaluación de Intersecciones Urbanas (2015).*

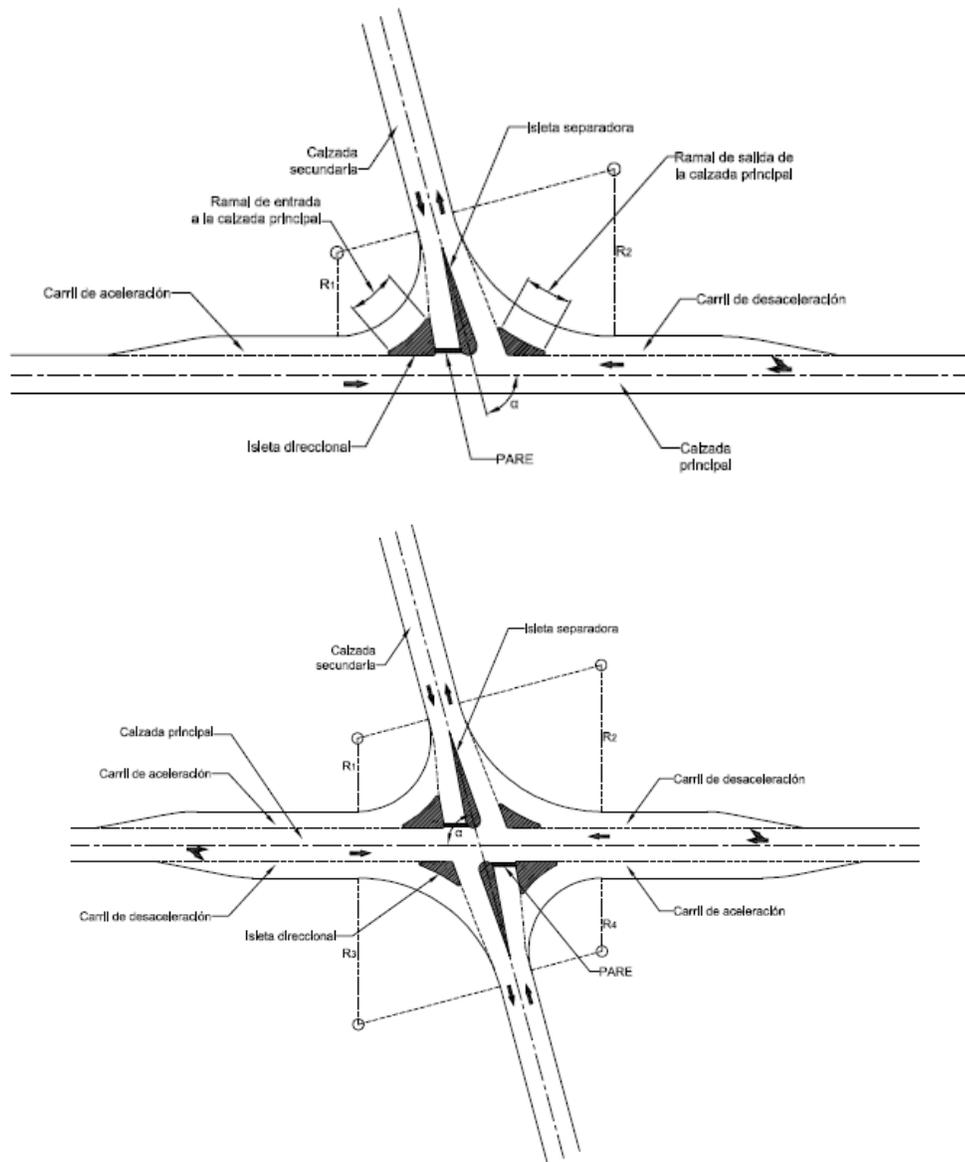
Por último, las intersecciones con más de cuatro ramales son muy poco usuales, debido a que generan aún más inconvenientes de los que solucionan. Aunque en algún momento se acostumbraron para ciudades clásicas, este modelo se reemplazó por los elipsoides, que tampoco son usuales de la ciudad de configuración urbana posmoderna (Miramontes, 2015).

### **2.3.2 Canalización de Movimientos Vehiculares**

Este elemento en las intersecciones son producto de una modificación moderna de las intersecciones tradicionales sencillas, ya que su concepción principal de funcionamiento es la canalización de los flujos que no se encuentran directamente relacionados con la intersección, es decir que, a menudo los giros a la derecha son los que menor repercusión tienen y mejor se pueden excluir en un canal especial, que amortigüe el impacto de la integración de los flujos (ICG, 2005).

Así como se observa en la Figura 5 para intersecciones canalizadas, el diseño geométrico de la vía se adapta a la necesidad de servicio en paralelo de la canalización del movimiento para poder reducir los puntos de conflicto directo.

**Figura 5 Esquemas de diseño geométrico de intersecciones canalizadas tipo Te, Ye y Cruz**



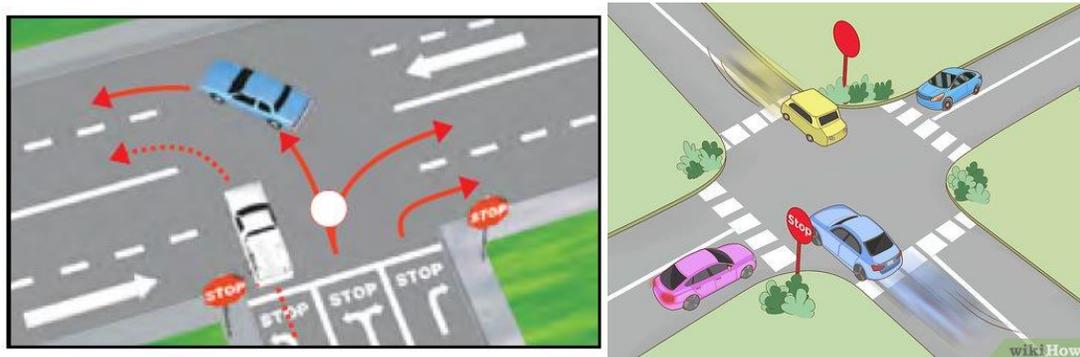
*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008).*

### 2.3.3 Elementos de Control de tránsito

Como su nombre lo indica, las intersecciones requieren de un elemento adicional de intervención de tráfico, en aras de condicionar y regular el comportamiento de los actores viales y así disminuir los conflictos generados por la naturaleza de la intersección (IDU, 2015).

En primer lugar, se pueden encontrar las intersecciones controladas por la señal de “PARE”, donde los usuarios de la vía secundaria están obligados a esperar al momento de usar la arteria principal y, de esta manera, reducir los puntos de conflicto, o al menos regularlos estableciendo una jerarquía para su uso primordial, tal como lo muestra la Figura 6, tanto en la intersección tipo *Te*, como en el tipo *Cruz*, respectivamente.

**Figura 6 Intersecciones tipo *Te* y *Cruz* controladas por “PARE”.**



*Fuente: Department of Motor Vehicles, State of California. (2020).*

Así mismo, cuando el volumen de tránsito vehicular es mayor al de la situación anterior, la responsabilidad de los actores viales se hace más crítica y con el fin de evitar imprudencias y congestiones, ya sea de vehículos, ciclistas o peatones, se opta por la inclusión del elemento electrónico semafórico, como se muestra en la Figura 7 que, a pesar de ser más comunes en intersecciones de tipo *Cruz*, también se pueden llegar a necesitar en intersecciones de tipo *Ye* o *Te*.

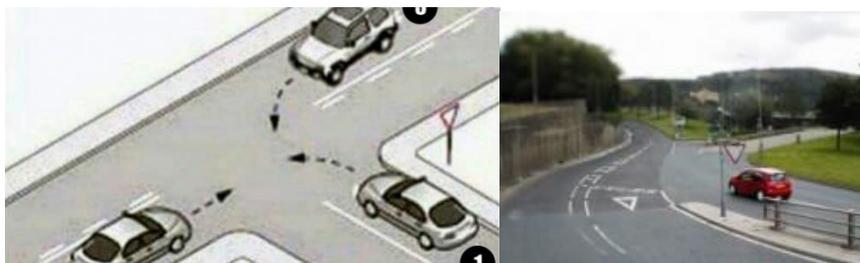
**Figura 7 Intersección tipo Cruz semaforizada**



*Fuente: Ciudades Más Seguras Mediante el Diseño. (2016).*

Por último, también se puede señalar la intersección al proponer una mayor responsabilidad por parte del usuario, como lo hace la señal de "Ceda el paso", más común en intersecciones de tipo Y, por lo cual, se integra la arteria principal con la canalización del carril de aceleración y posterior incorporación (véase Figura 8).

**Figura 8 Intersecciones tipo T y tipo Y con "Ceda el paso".**



*Fuente: El Mundo Today (2017).*

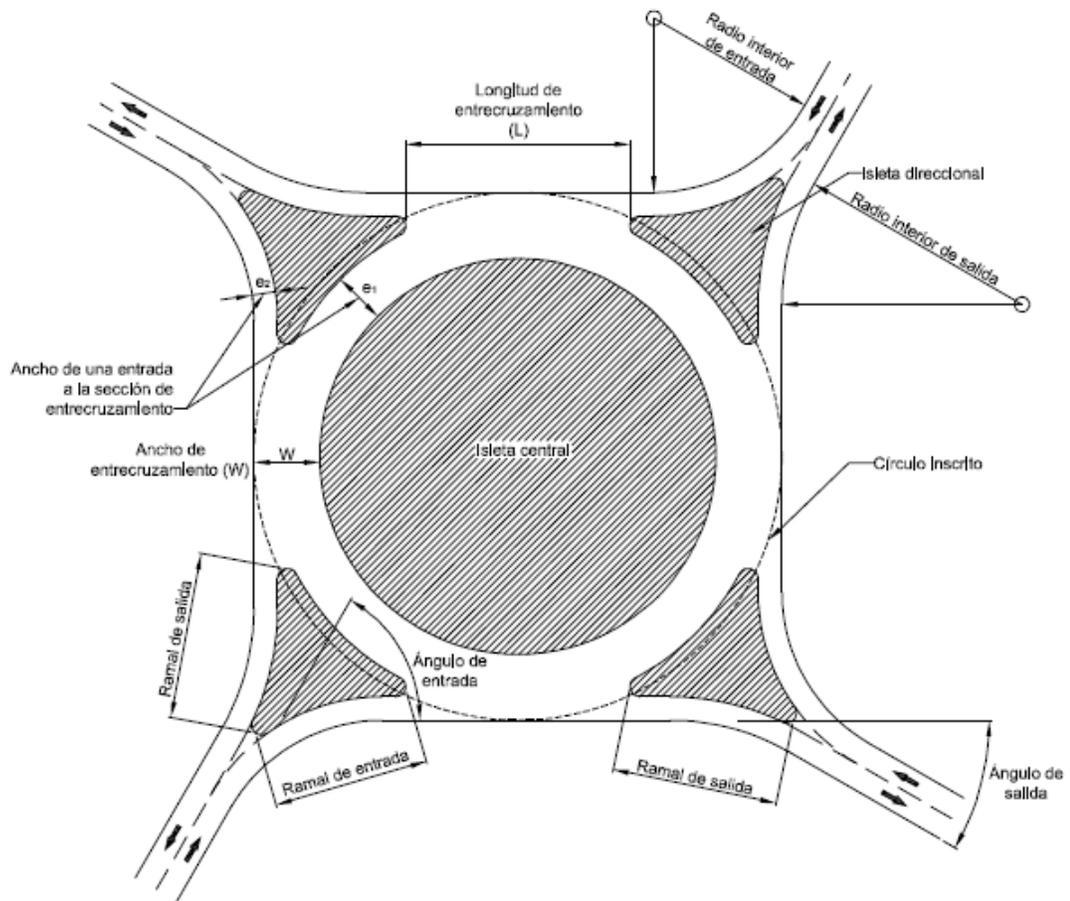
## **2.4 Otros Tipos de Intersecciones e Intercambiadores**

Adicional a los principales tipos de intersecciones, anteriormente expuestos, existe otro tipo de intersecciones que surgen para simplificar uno o más movimientos

mediante la creación de infraestructura específica y así minimizar los puntos de conflicto en cada una de las situaciones.

En primer lugar, una de las más comunes y tradicionales es la glorieta, rotonda o “*Round Point*”; característica de la ciudad monumental moderna, ya que está compuesta de una isla central y una calzada anular que articula tres o más ramales, que, por el principio de continuidad de las líneas de flujo vehicular, permite la circulación ininterrumpida de todos los actores viales bajo la conservación de la jerarquía que prioriza el flujo al interior de la calzada anular frente a los ramales afluentes (IDU, 2015). El diseño geométrico básico, como parte de las intersecciones, es presentado más a detalle en la Figura 9, en donde se resaltan algunos de los parámetros principales de diseño, como los radios de entrada, y los anchos y longitudes de entrecruzamiento; todos estos muy importantes a la hora de garantizar la seguridad para todos los actores que confluyen en los diferentes ramales de esta intersección (INVIAS, 2008).

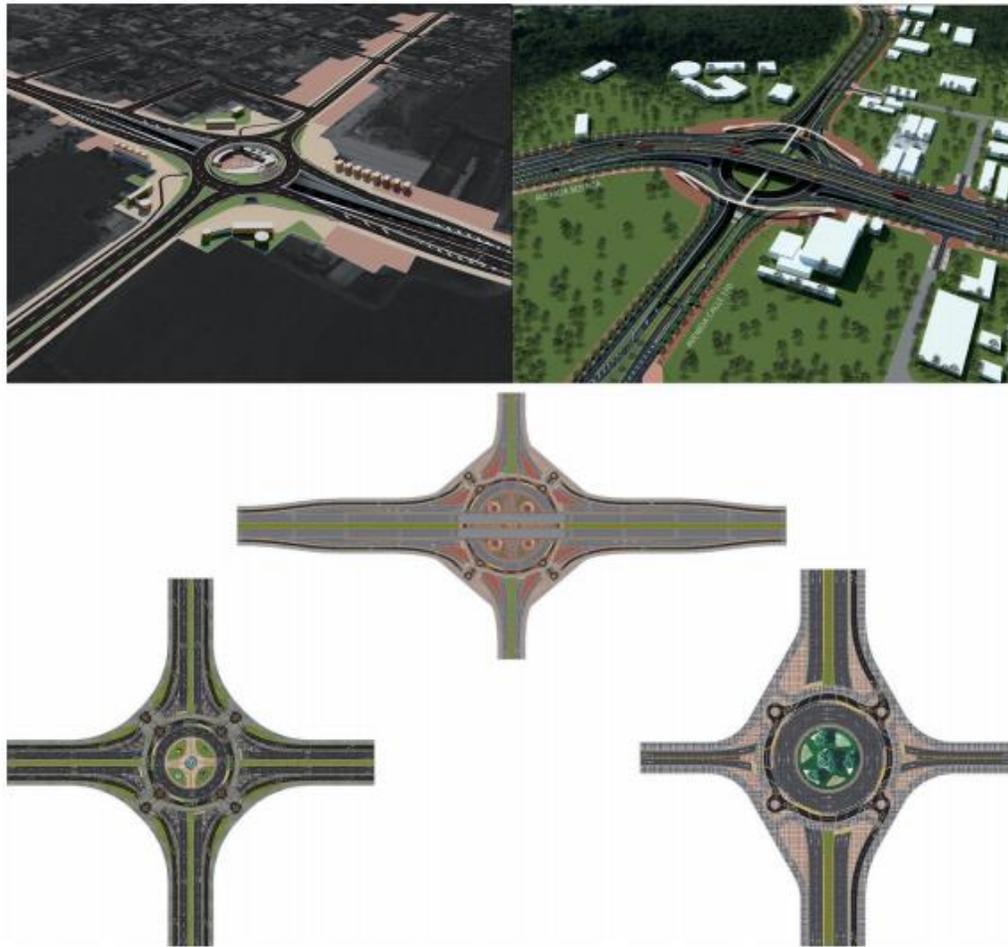
**Figura 9 Esquema de diseño de una intersección tipo glorieta**



*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008).*

Dado que en la glorieta es de especial importancia la prioridad de circulación, descrita en orden descendente desde la calzada anular central hasta la salida de la intersección, se hace fundamental la señalización adecuada y rigurosa que indique la obligatoriedad de paso cedido para evitar conflictos, ya que factores como la velocidad, la visibilidad y la coordinación de cada actor vial son variables muy sensibles ligadas al correcto funcionamiento de la glorieta.

**Figura 10 Glorietas a nivel y desnivel**

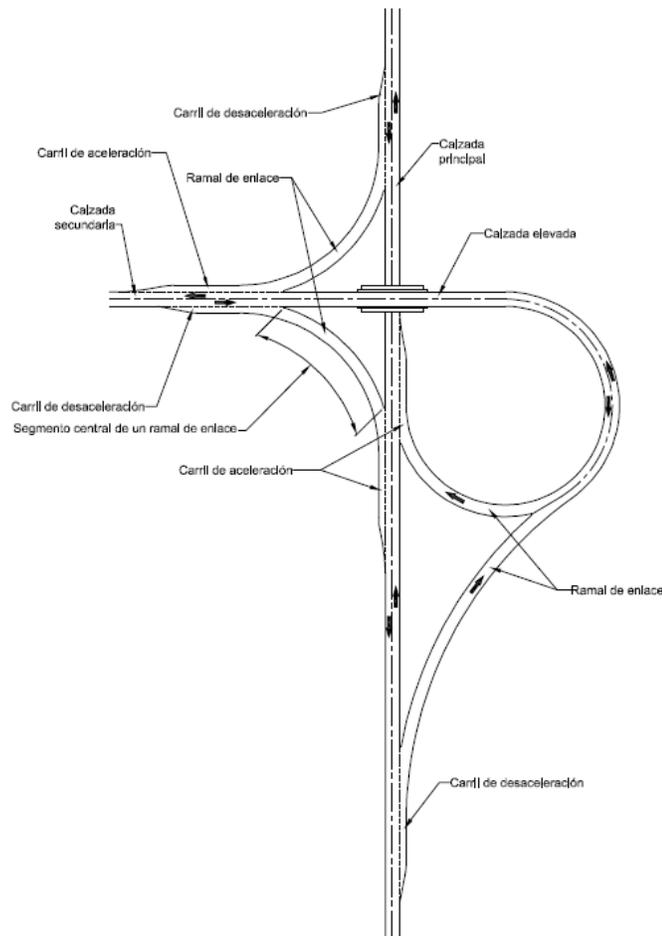


*Fuente: Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá D.C. (2015).*

Si bien es común evidenciar estas glorietas como intersecciones, también se pueden encontrar algunas variaciones o combinaciones que la clasifican como intercambiadores, como lo muestra la Figura 10, en donde no solo pueden estar a desnivel, sino también donde la isla central sea cortada por la calzada principal, o donde se adicionen elementos de conexión con otro tipo de infraestructura para un actor específico.

Además de las glorietas, se encuentra otro tipo de cruces que pueden resultar como intercambiadores, tales como el tipo “*Trompeta*”, en la que se ofrece servicio especialmente para giros izquierdos, en vías donde los volúmenes de tránsito o la topografía exigen continuidad (Herrera, 2017). La Figura 11 permite evidenciar algunos de sus principales usos como intersección.

**Figura 11 Esquema de los elementos de diseño en intercambiador tipo "Trompeta"**

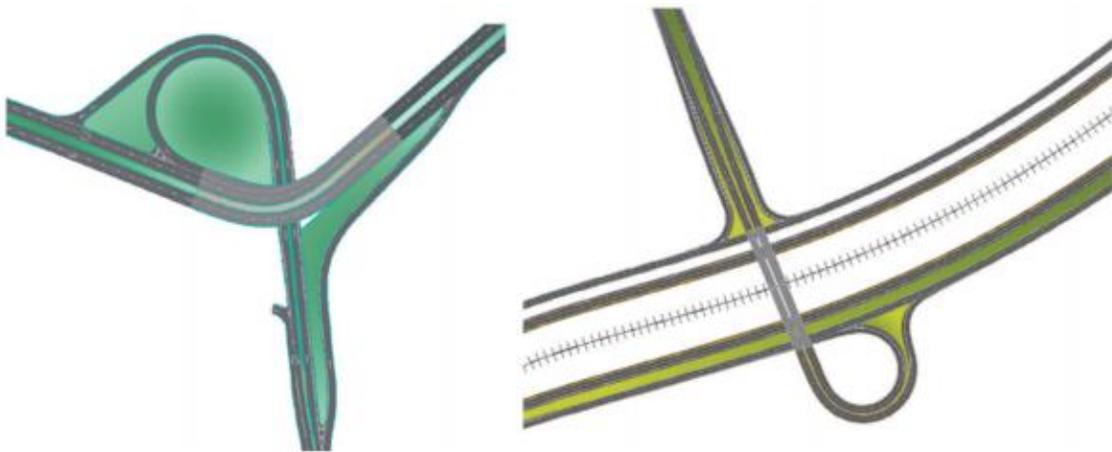


*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008).*

En este punto se hace evidente el funcionamiento tan similar que comprende este punto con las intersecciones de tipo  $T_e$ , únicamente mejorado con la eliminación

de uno de los puntos de conflicto que representa en la mayoría de los casos el giro a la izquierda. Sin embargo, la Figura 12 señala otros casos hipotéticos de aplicación.

**Figura 12 Ejemplos de Intercambiadores tipo "Trompeta"**

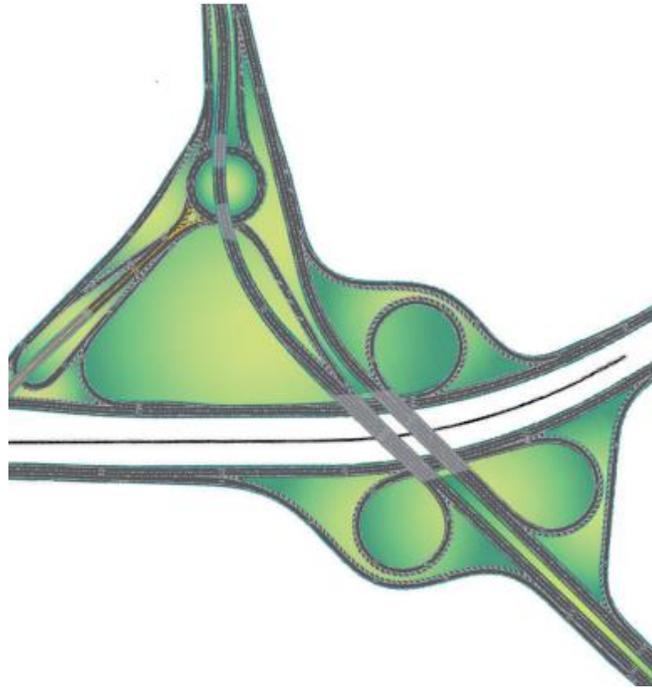


*Fuente: Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá D.C. (2015).*

Consecuentemente, existe una estructura compuesta para este tipo de cruces que incluyen cuatro (4) ramas fundamentales y estas son las que solucionan el intercambiador tipo "Trébol", en donde, por un lado, se aumentan los movimientos posibles, y por otro, se anulan los puntos de conflicto mediante la composición de secuencias de orejas, basados únicamente en los giros derechos en todos los posibles movimientos (Herrera, 2017).

El factor negativo más influyente es el económico, ya que estas infraestructuras requieren de un alto presupuesto comparado con la intersección de cuatro ramas tradicional. Sin embargo, es evidente que la libertad de movimientos y combinaciones posibles es mucho más amplia, como en el ejemplo que ilustra la Figura 13.

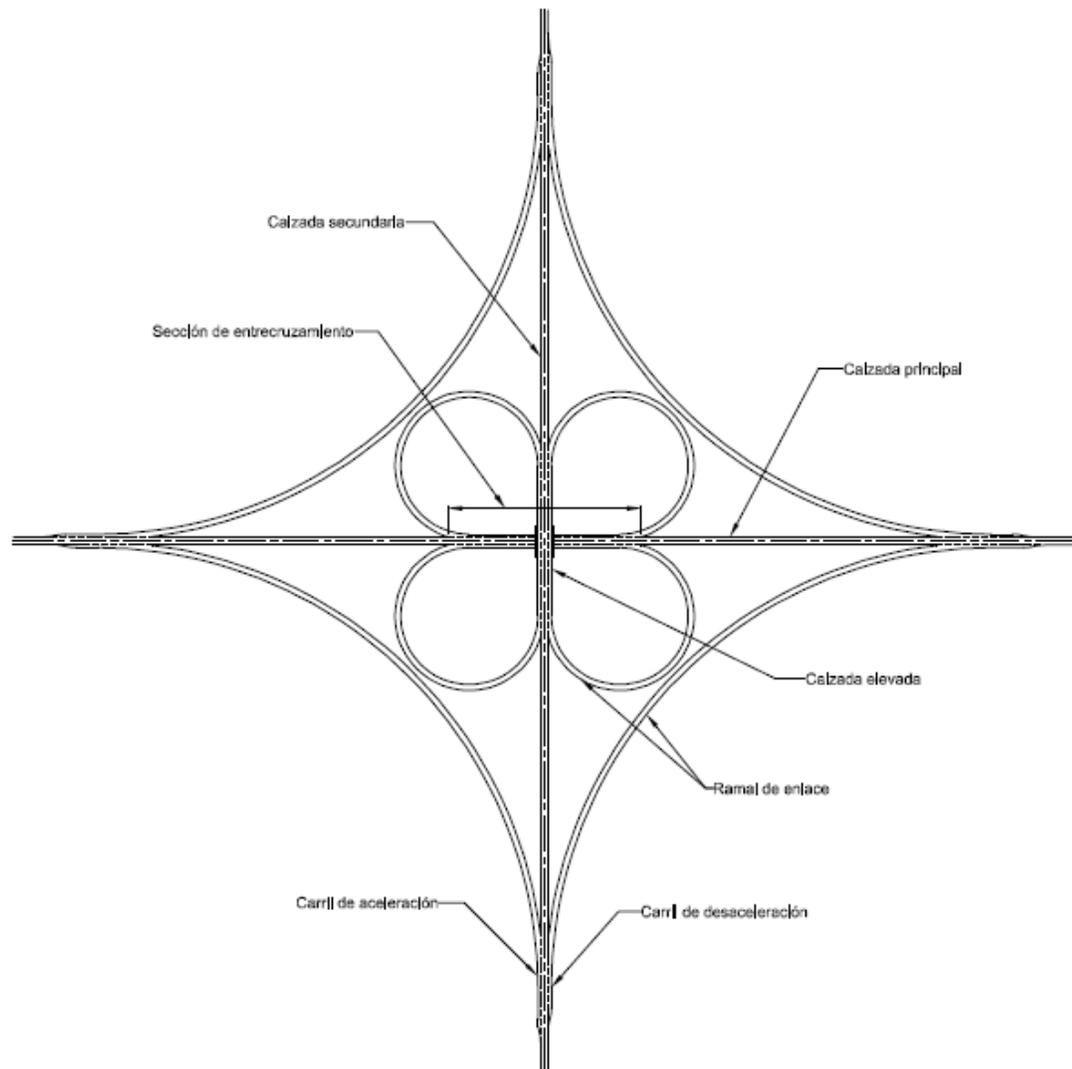
**Figura 13 Intercambiador tipo "Trébol" combinado**



*Fuente: Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá D.C. (2015).*

Como se ilustra en la Figura 14, los principales elementos de diseño geométrico para los intercambiadores de tipo "Trébol" destacan por la relevancia en la sección de entrecruzamiento, las ramas de enlace y los carriles de aceleración y desaceleración que dan entrada al intercambiador principal.

**Figura 14 Esquema de los parámetros de diseño de Intercambiador tipo "Trébol"**

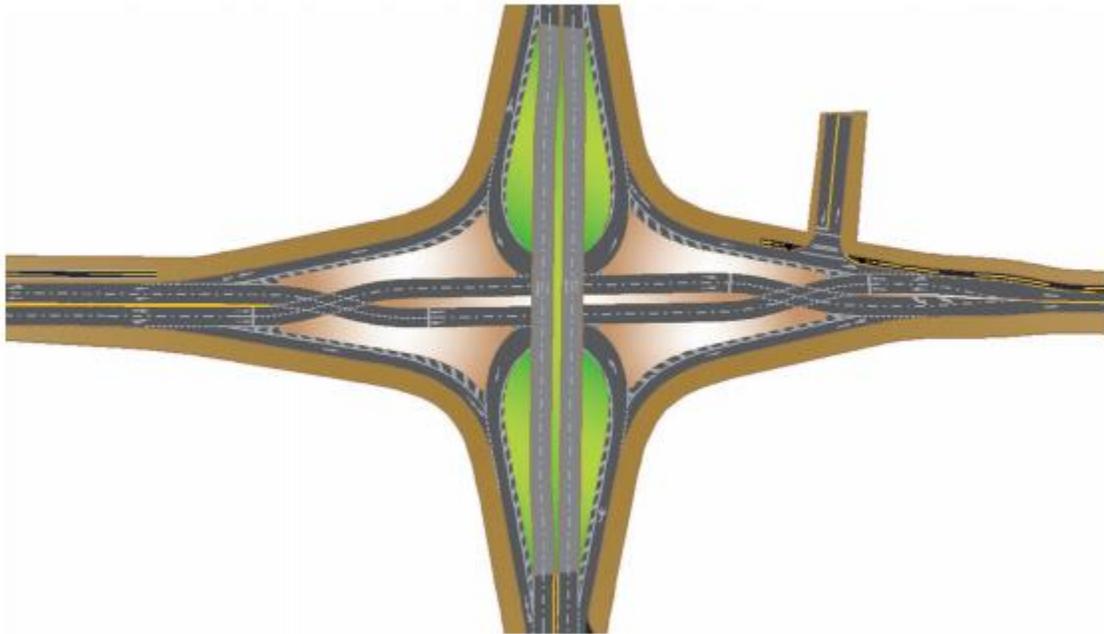


*Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del INVIAS (2008).*

Finalmente, se tiene uno de los diseños más inusuales de cruces y es el de tipo diamante, ya que, como su nombre lo indica, está compuesta por una especie de romboide central que combina las intersecciones con los intercambiadores. Cuenta con un menor costo y una reducción significativa de los puntos de conflicto

principales, si se tiene en cuenta factores como los volúmenes de tránsito moderados y la escasez de espacio físico.

**Figura 15 Intersección-Intercambiador tipo "Diamante"**



*Fuente: Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá D.C. (2015).*

El esquema principal lo enseña la Figura 15, en donde se evidencia que la calzada principal se entrecruza antes y después de la ubicación de la segunda carretera, con el fin de conectar de manera moderada los giros a la izquierda con los retornos bajo el puente principal (Herrera, 2017). Todo esto es posible mediante el prematuro conflicto en los cruces antes y después del puente, ya que, con la anticipación de estos, se disminuyen considerablemente en el punto central, lo cual termina provocando un flujo menos interrumpido que en el caso de una semaforización, y más sencillo y rápido que para un intercambiador de "Trébol".

### **3 Caso de Estudio - Bogotá**

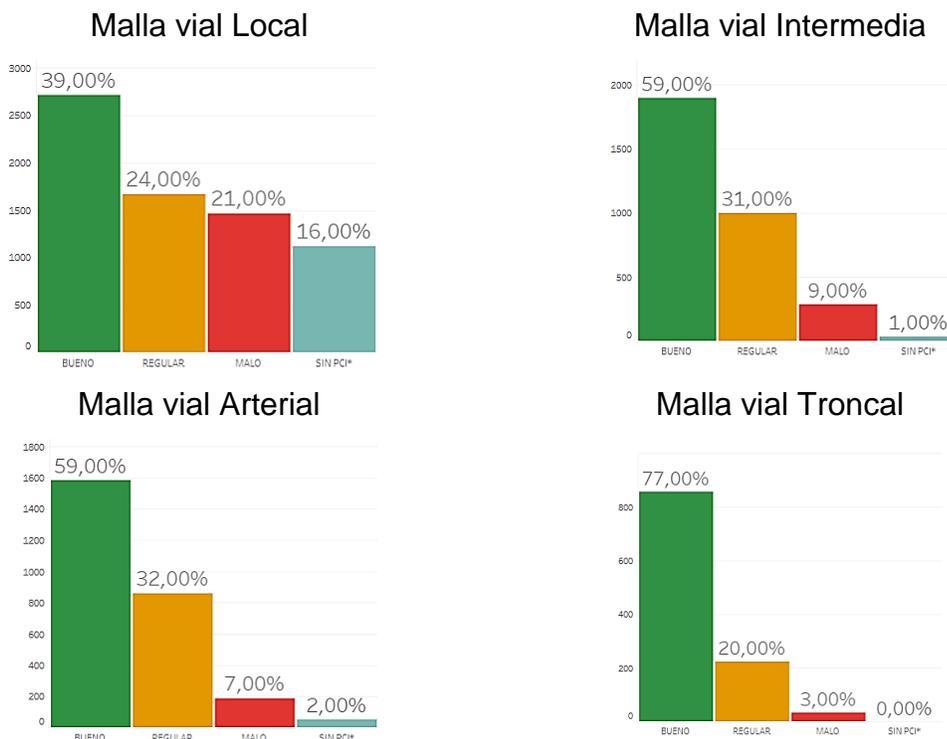
La ciudad de Bogotá, Colombia, cuenta con una malla vial urbana de aproximadamente 13.984 kilómetros por carril, que está compuesta por la malla vial local, intermedia, arterial y troncal. La malla vial local posee aproximadamente 6.996 kilómetros carril, la malla vial intermedia 3.215 kilómetros carril, la malla vial arterial 2.689 kilómetros carril y la malla vial troncal cuenta con alrededor de 1.114 kilómetros por carril. En la Figura 16, se presenta el estado de cada una de las mallas viales.

A través del portal web del IDU se obtuvieron las últimas estadísticas registradas de acuerdo con los estados de las vías de principal jerarquía para la ciudad de Bogotá. Dichas estadísticas, de acuerdo con los parámetros de calidad son de especial relevancia ya que permite obtener una noción general de la oferta vial urbana y de sus mayores deficiencias, entre las cuales se encuentra el regular estado de la malla vial Local, que es la más abundante y más importante para las zonas residenciales, protegiendo a los actores viales más vulnerables, al estar asociado el factor calidad al de seguridad en los últimos reportes de accidentalidad, recordando que la velocidad de diseño es el más importante.

Por otro lado, para efectos del presente proyecto, se considerará la malla vial Intermedia y arterial como una única jerarquía agrupada en vías “Secundarias”, al contar con parámetros similares de calidad con diferencias mínimas entre estas.

Finalmente, para la malla vial primaria o troncal, se encuentran los mejores índices de calidad, ya que solo el 3% es considerado en mal estado y el 20% en un estado regular, lo cual, en comparación con las demás categorías de jerarquías viales, concuerda con un buen estado de las vías principales o troncales, con el protagonismo del Sistema de Transporte Público Masivo de la ciudad.

**Figura 16 Estado de la malla vial de la ciudad de Bogotá**



Fuente: IDU-Estadística de malla vial urbana. Corte: diciembre 2017

Según la Secretaría distrital de Movilidad (SDM), en Bogotá para el año 2015 los ciudadanos se transportaban en los diferentes modos como muestra la Tabla 1.

Medio	Viajeros
A	2.450.998
B	4.275.867
M	711.646
TOTAL	7.438.511

Tabla 1. Número de viajes de los Bogotanos por medio predominante. Fuente: Secretaria Distrital de Movilidad. Encuesta de movilidad 2015.

### 3.1 Metodología y Fuente de Datos

Los aforos vehiculares utilizados para este estudio se obtuvieron del portal del SIMUR. Se identificó que Bogotá cuenta con 1.455 intersecciones viales, de las cuales para efectos de este análisis se seleccionaron 305 de la muestra total, de las que se estudiarán las intersecciones tipo Cruz y Te.

Dicho número de muestra es producto del cálculo asumiendo como tamaño del universo las 1.455 intersecciones viales semaforizada en Bogotá registradas en el SIMUR, que a un nivel de confianza del 95% y margen de error de 5% a partir de la fórmula dada por:

$$n = \frac{N * K^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + K^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

*n*: número de muestra

*N*: tamaño de universo

*K*: nivel de confianza

*p*: probabilidad de éxito o proporción esperada

*q*: probabilidad de fracaso

*e*: error máximo admisible

Se considera un factor de homogeneidad del 50 %, dado que se obtiene un total de 305 muestras aproximando al entero superior más cercano.

#### 3.1.1 Metodología

En este estudio se tuvieron en cuenta los siguientes modos de transporte motorizados: Automóviles (*A*), Buses (*B*), Camiones (*C*) y Motocicletas (*M*).

La elaboración del proyecto se desarrolló siguiendo una metodología direccionada al cumplimiento efectivo de cada uno de los objetivos planteados, en donde se

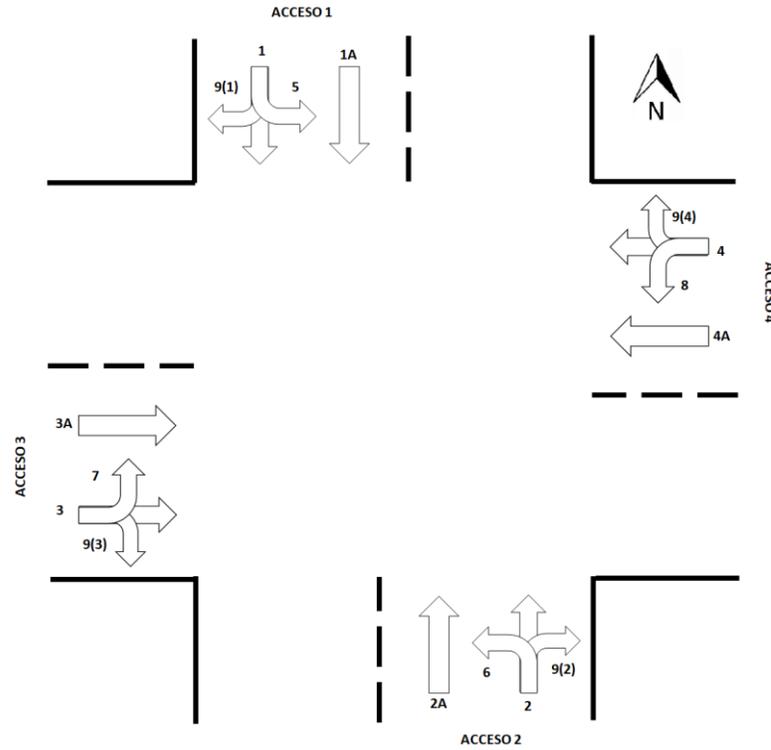
identificaron y caracterizaron cada una de las problemáticas halladas, con el fin de tipificar las intersecciones que contuvieran el mismo tipo de características, facilitando el diagnóstico y análisis de las mismas, para finalmente poder estudiar las tendencias de flujo vehicular en las intersecciones especificadas para la identificación de las variables en la caracterización.

Inicialmente se elaboró una base de datos que contiene la información de los flujos vehiculares de las intersecciones seleccionadas aleatoriamente a lo largo de la ciudad para el caso de estudio. En esta, se registra, su localización, tipo de vía del movimiento principal y secundario, número de carriles por acceso, Hora de Máxima Demanda (HMD), entre otros. Lo anterior sirve como insumo para contestar las diferentes hipótesis de estudio que se crean pertinentes para analizar. En la Tabla 2, se presenta los accesos y sus respectivos movimientos codificados. Además, en Figura 17, se muestra su representación gráfica.

<b>Acceso</b>	<b>Movimiento</b>	<b>Código</b>
Norte (1)	Directo	1
	Directo carril rápido	1A
	Giro a la izquierda	5
	Giro a la derecha	9(1)
Sur (2)	Directo	2
	Directo carril rápido	2A
	Giro a la izquierda	6
	Giro a la derecha	9(2)
Occidental (3)	Directo	3
	Directo carril rápido	3A
	Giro a la izquierda	7
	Giro a la derecha	9(3)
Oriental (4)	Directo	4
	Directo carril rápido	4A
	Giro a la izquierda	8
	Giro a la derecha	9(4)

*Tabla 2- Accesos y movimientos de intersección. Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 17 Esquema accesos y giros**



*Fuente: Elaboración propia.*

A partir de la información obtenida en los datos que suministra el SIMUR, se procede a la selección de los volúmenes vehiculares para la hora de máxima demanda, de cada una de las intersecciones, correspondiente a los diferentes modos y accesos que tenga esta. Los resultados de este proyecto definen los diferentes volúmenes de tránsito clasificados por modos y accesos, permitiendo el estudio de los diferentes comportamientos.

Para la recolección de datos se realizó la siguiente secuencia de actividades e investigaciones respectivas, para así abordar el problema desde diferentes puntos.

A. Metodología de Bogotá

- Búsqueda de información sobre la metodología utilizada actualmente.
- Entrevista con fuentes de información clave.

B. Comparación y búsqueda de variables faltantes

- Selección de metodologías aplicadas a ciudades con características similares a Bogotá.
- Comparación entre las metodologías seleccionadas y la aplicada en Bogotá.
- Selección de variables faltantes en la metodología para Bogotá.

C. Aplicación de variables seleccionadas

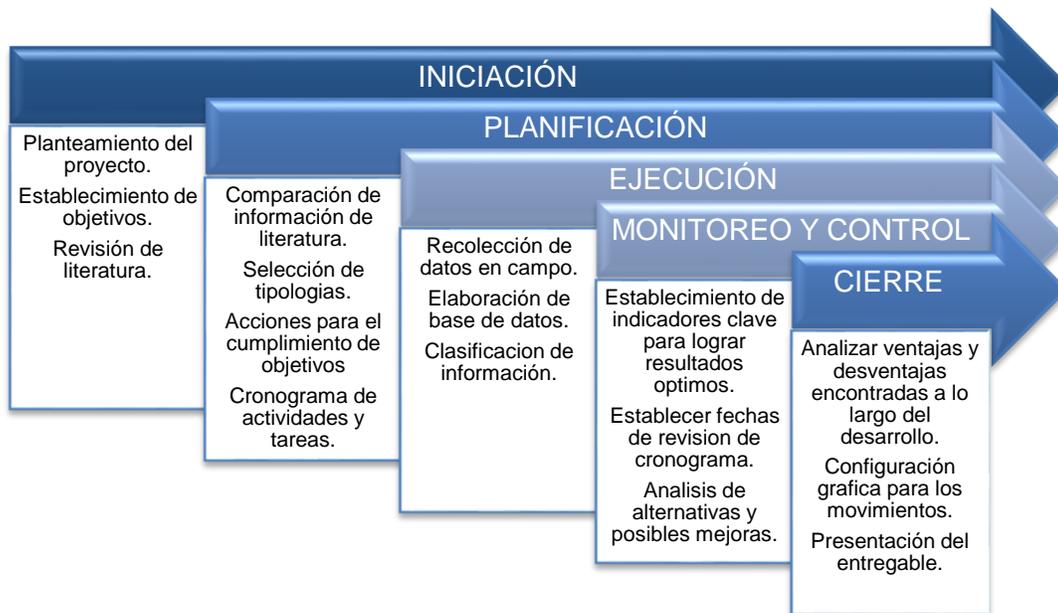
- Selección de las intersecciones de estudio para la aplicación de las variables seleccionadas.
- Aplicación de variables seleccionadas en la intersección de estudio.

D. Análisis de resultados.

E. Conclusiones y recomendaciones

- Presentación de las ventajas y desventajas de la aplicación de las variables seleccionadas a la metodología para Bogotá y posible recomendaciones a futuros estudios.

**Figura 18 Modelo Metodológico**



*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.1.2 Fuente de Datos**

Los datos utilizados se obtuvieron de los siguientes contratos de monitoreo vehiculares y peatonales de la ciudad de Bogotá por parte de la SDM: **a.** Contrato 20171748, **b.** Contrato 20161268, **c.** Contrato 20151212 y **d.** Contrato 20141453.

A continuación, se hace la descripción de la información de los anteriores contratos, tomado textualmente de la página del portal de la SDM SIMUR.

Estos comprenden la toma de información de volúmenes vehiculares por accesos en movimientos directos, para un período de 18 horas seguidas iniciando a las 5:00 am hasta las 23:00 de la noche, en días típicos (martes, miércoles o jueves). (Incluye todos los tipos de vehículo, no peatones).

Debido a la dinámica y necesidad de la ciudad en materia de movilidad, año a año la tipología se ha venido reduciendo; a las principales categorías presentadas en la Tabla 3.

<b>Tipología asociada</b>	<b>Tipología vehicular</b>	<b>Nombre corto</b>
Livianos	Particulares, Taxis, ambulancias, chanas hasta 7 pasajeros, camionetas de menos de 1 tonelada	L
Buses	Colectivos: Vehículos de transporte público de 1 puerta, incluye colectivos, especiales.  Busetas/Busetones: 2 puertas, incluye buses cortos provisionales, busetas especiales.  Buses: Largos, Duales, Incluye buses de 3 puertas	B
Servicio Troncales	Articulado corrientes Transmilenio.  Biarticulado	T
Intermunicipales	Aquellos vehículos que prestan el servicio de Intermunicipales, independiente de las características del vehículo.	I
Camiones de 3 ejes	Camiones de tres ejes	C3
Camiones $\geq 4$ ejes	Camiones de cuatro ejes, Camiones de cinco ejes, Camiones de más de cinco ejes	$\geq C4$
Ciclo sin Motor	Bicicletas	CSM
Ciclo con Motor	Motos	CCM

*Tabla 3. Tipologías Maestras Fuente: Contrato de Consultoría 1268 de 2016 para la SDM*

Este es el seguimiento que realiza la entidad al comportamiento de volúmenes vehiculares y peatonales en intersecciones semafóricas en la ciudad, con el fin de que esta información sea un insumo dentro del planeamiento semafórico. La

periodicidad de la toma de la información en las intersecciones dependerá de la necesidad de la SDM.

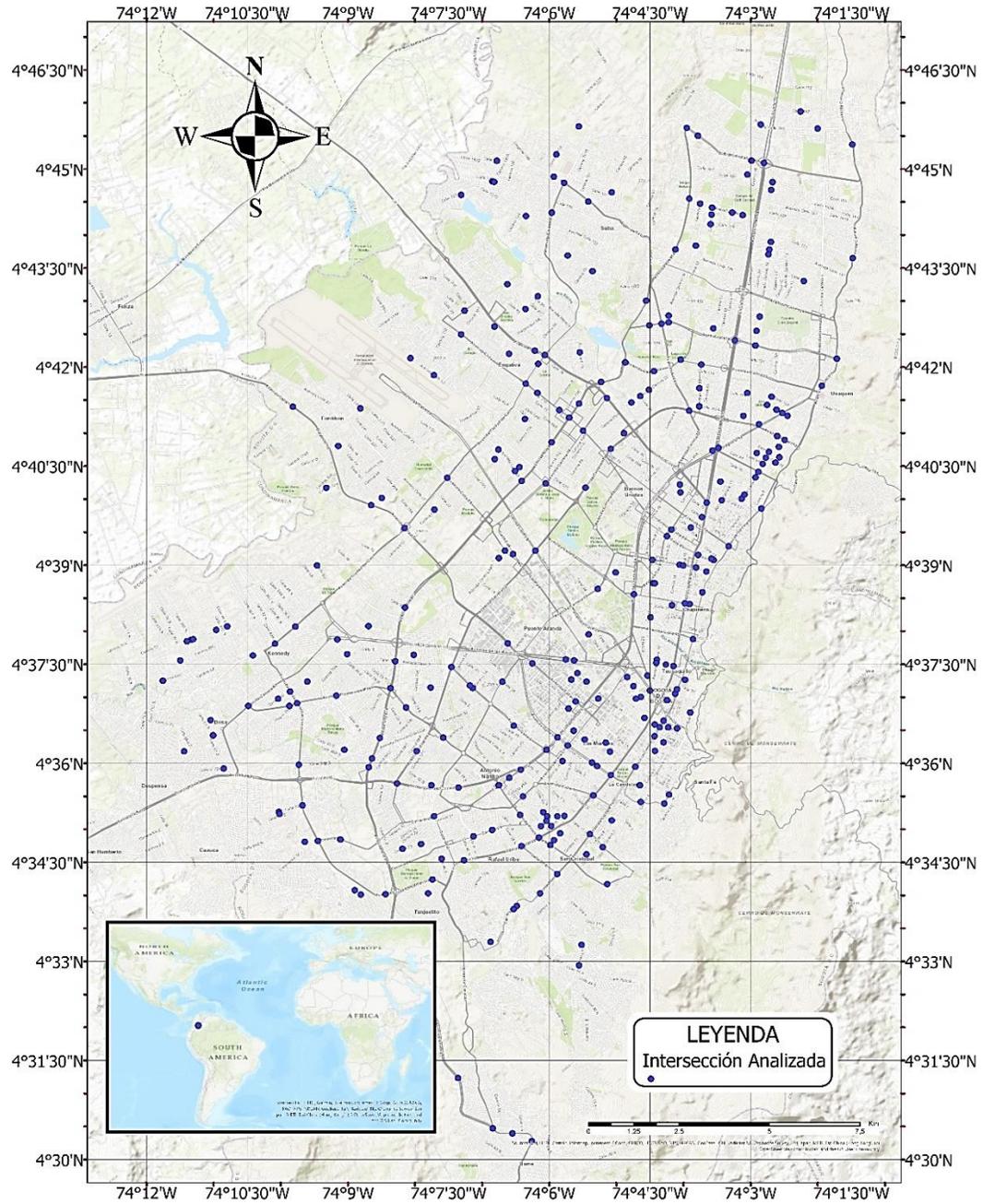
Tal como lo describe la Tabla 4, la información se discrimina en autos, buses, camiones y motos de acuerdo con los formatos y metodologías establecidos, para lo cual se realiza la descripción de la variación de los movimientos direccionales durante un periodo de 14 horas.

<b>Tipología asociada</b>	<b>Tipología vehicular</b>
Automóviles	Livianos
Buses y Transmilenio	Incluye todo el transporte público
Camiones	Todos los ejes
Motocicletas	Motos y Bicicletas

*Tabla 4. Categorías vehiculares. Fuente: SDM*

Como producto de los datos proporcionados por los contratos frente a los volúmenes vehiculares en las intersecciones, se consolidó dicha información en una base de datos que facilitara su procesamiento y depuración. Las intersecciones viales analizadas se ilustran en la Figura 19, donde se evidencia la amplia cobertura y distribución aleatoria uniforme de dicha información, con el fin de tener un panorama más amplio del comportamiento de los giros en la ciudad y proporcionar mejores análisis a partir de estos.

**Figura 19 Mapa de intersecciones analizadas en las horas de máxima demanda para Bogotá.**



Fuente: Elaboración propia.

Variable	Tipología	Resumen	Unidades	%
Tipo de vía del acceso principal Road_Type_1	Categoría	Local	2469	16,85
		Primaria	6384	43,59
		Secundaria	5792	39,55
Tipo de vía del acceso secundario Road_Type_2	Categoría	Local	8028	54,81
		Primaria	1795	12,26
		Secundaria	4822	32,93
Número de carriles del acceso principal Lane_1	Continua	Media	2,781	
		Mediana	3	
		Max	6	
		Min	1	
Número de carriles del acceso secundario Lane_2	Continua	Media	1,88	
		Mediana	2	
		Max	5	
		Min	1	
Tipo de Intersección Int_Type	Categoría	Semaforizada	1	
		Señalización de Prioridad	2	
Tipo Hora de Máxima Demanda Hour_Type	Categoría	Mañana (M)	7652	52,25
		Tarde (T)	6993	47,75
Número total de vehículos mixtos TOT_MIX	Continua	Media	4866	
		Mediana	3369	
		Max	29961	
		Min	162	
Tipos de Movimientos MOV	Categoría	Movimiento 1	1529	10,44
		Movimiento 2	1531	10,45
		Movimiento 3	1454	9,93
		Movimiento 4	1420	9,69
		Movimiento 1A	380	2,59
		Movimiento 2A	347	2,37
		Movimiento 3A	253	1,73
		Movimiento 4A	232	1,58
		Movimiento 5	733	5,01
Movimiento 6	777	5,31		

		Movimiento 7	817	5,58
		Movimiento 8	699	4,77
		Movimiento 9(1)	1125	7,68
		Movimiento 9(2)	1082	7,39
		Movimiento 9(3)	1146	7,83
		Movimiento 9(4)	1120	7,65
Modo de Transporte MODE	Categoría	Automóvil (A)	3822	26,09
		Bus (B)	3442	23,50
		Camión (C)	3542	24,18
		Moto (M)	3796	25,92
Volúmenes vehiculares para la Hora de Máxima Demanda VOLUME	Continua	Media	175,6	
		Mediana	56	
		Max	9420	
		Min	0	
Clasificación de tipo de intersección Type_int	Categoría	Cruz	12252	83,66
		Te	2393	16,34
Combinación jerárquica de vías Type_approach	Categoría	Local – Local	2469	16,86
		Primaria – Local	1689	11,53
		Primaria – Primaria	1795	12,26
		Primaria – Secundaria	2900	19,80
		Secundaria – Local	3870	26,43
		Secundaria - Secundaria	1922	13,12

*Tabla 5. Resumen de variables de análisis. Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2 Resultados

Partiendo de la construcción de la base de datos, ésta se depuró con el objeto de facilitar el análisis estadístico general de las intersecciones a analizar. Posterior a la caracterización estadística de los datos de entrada, se planteó un análisis más productivo, incluyendo diversas respuestas a la pregunta de investigación general, referente al comportamiento de los volúmenes vehiculares en diferentes giros dentro de las intersecciones tipo *Cruz* y *Te*.

### 3.2.1 Análisis exploratorio de intersecciones

En primer lugar, se solicitó un resumen general de los datos proporcionados con sentido de la verificación de los mismos, lo cual evidenció la correcta lectura de los 14.645 datos independientes asociadas a las 305 intersecciones analizadas y, además, se recopiló una primera estadística de acuerdo a las posibles combinaciones de tipo de vía de acceso, tal como se evidencia en la Tabla 6 donde se asigna a cada combinación el número de datos asociados respectivamente.

Primaria - Primaria	1795
Primaria - Secundaria	2900
Primaria - Local	1689
Secundaria - Secundaria	1922
Secundaria - Local	3870
Local - Local	2469

Tabla 6. Combinaciones posibles de intersección según la jerarquía de vías. Fuente: elaboración propia.

Considerando la gran cantidad de datos independientes y las variables para cada intersección y, por ende, para cada tipo de vía, es posible concluir que los datos presentan una homogeneidad considerable, que abarca una muestra apta para analizar. Cabe aclarar que, si las mediciones en intersecciones que implican a vías secundarias y locales son mayores, es debido justamente a que hay más posibles movimientos en dichas intersecciones y por ende mayor cantidad de datos por intersección de este tipo.

Ya que para este estudio solo se tendrán en cuenta las intersecciones tipo *Cruz* y *Te*. Se hace la siguiente clasificación para facilitar la identificación de estas y el estudio de los datos mediante la Tabla 7.

5	1	9(1)	6	2	9(2)	7	3	9(3)	8	4	9(4)	X/T
	X			X			X			X		X
	X			X			X					X
	X			X						X		X
				X			X			X		X
	X						X			X		X
	X					X		X				T
	X			X					X		X	T
X		X					X			X		T
			X		X		X			X		T

Tabla 7. Intersección según tipo de movimientos. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para establecer un recuento general de los datos que hacen referencia a intersecciones de tipo *Cruz* y *Te* donde se obtuvo que aproximadamente el 84% de los datos registrados corresponden a la intersección tipo *Cruz*, y el restante 16% a tipo *T*, así como se recopila en la Tabla 8, se puede concluir que, aproximadamente, de cada 6 intersecciones analizadas en Bogotá, 5 corresponden a intersecciones tipo *Cruz*.

<b>Tipo de intersección</b>	
Cruz	12252
Te	2393

Tabla 8. Número de datos recolectados según el tipo de intersección. Fuente: elaboración propia.

A nivel general, aunque insuficiente, es importante realizar este análisis de los datos recolectados y su comportamiento con el fin de ofrecer un panorama amplio que permita construir y depurar los factores fundamentales de comportamiento del volumen vehicular, ligados a las condiciones de infraestructura que componen parte de la movilidad de la ciudad.

Sin embargo, en el tratamiento estadístico lo fundamental es tener en cuenta los parámetros de comportamiento de los datos, no solo a nivel total del flujo vehicular mixto, sino también de acuerdo con el tipo de intersección a analizar para identificar

las principales medidas de tendencia. Por ello, la Tabla 9 expone las características generales sujetas a consideración primordial.

Parámetro	Total	Intersección	
		Cruz	Te
Mínimo	319	484	319
Máximo	29961	29961	16676
Promedio	4941	5028	4651
Desviación estándar	4228	4454	3371

Tabla 9. Parámetros estadísticos de los volúmenes vehiculares por tipo de intersección y totales.

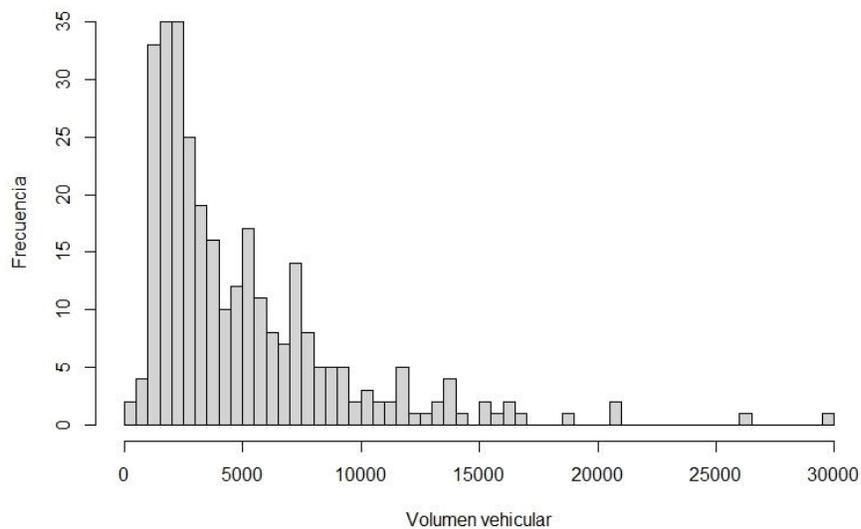
Fuente: elaboración propia.

Esencialmente, los parámetros estadísticos de los flujos vehiculares mixtos totales describen un amplio rango de variación, donde el valor máximo es aproximadamente 95 veces el valor mínimo, y como consecuencia, la desviación estándar es muy cercana al promedio de flujo vehicular en las intersecciones analizadas, es decir que hay una dispersión considerable en los valores de los volúmenes vehiculares ubicados en el rango total.

De la misma forma, las intersecciones de tipo *Cruz*, al tener un gran porcentaje de los valores de volúmenes vehiculares totales mixtos, muestra parámetros similares a los anteriormente descritos y, de igual manera, para las intersecciones tipo *Te*, a pesar de tener un rango de datos mucho menor, está caracterizada por una desviación estándar próxima al promedio de los valores, aunque no proporcionalmente a los dos anteriores casos.

En cuanto a los volúmenes vehiculares mixtos de las intersecciones, la Figura 20 y la Figura 21 representan gráficamente el comportamiento de los datos para las intersecciones analizadas mediante el histograma de frecuencias y el diagrama de caja, respectivamente.

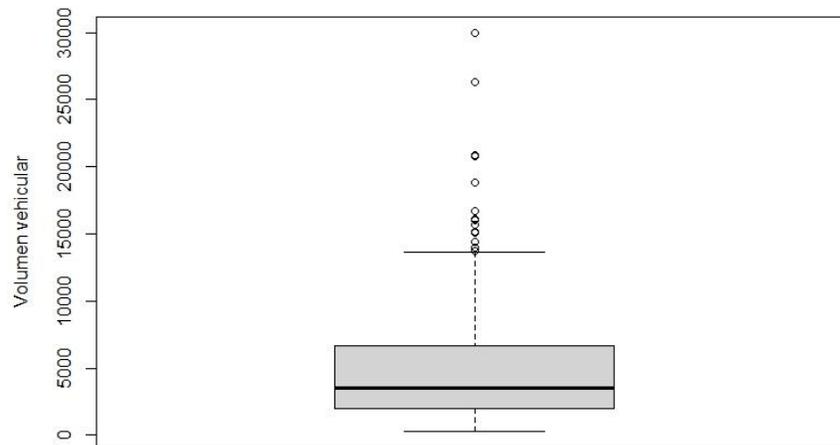
**Figura 20 Histograma de frecuencias del volumen vehicular mixto para las intersecciones analizadas en Bogotá**



*Fuente: elaboración propia.*

Principalmente, el Histograma de frecuencias ilustra de manera explícita la medida de dispersión de los datos procesados, en donde se evidencia que no corresponde a un comportamiento normal o estándar, pero si cuenta con características notorias de sesgo que la clasifican de tipo asimétrica positiva y así mismo, con una concentración de datos generadora de curtosis positiva, clasificándola como leptocúrtica.

**Figura 21 Diagrama de caja del volumen vehicular mixto para las intersecciones analizadas en Bogotá.**



*Fuente: elaboración propia.*

Así mismo, el diagrama de caja, también como medida de dispersión de datos, permitiendo ilustrar la concentración de los volúmenes vehiculares, que concuerda con lo evidenciado en el histograma, pero que adicionalmente representa que el 75% de los datos son iguales o menores a aproximadamente 7.000 vehículos en las intersecciones para la hora de máxima demanda.

Por último, ambas figuras ilustran datos totalmente aislados de la concentración principal de volúmenes vehiculares, y, por tanto, pueden ser excluidos de la esencia de las ilustraciones, aunque no propiamente del análisis ya que dichos casos extremos hacen parte importante del mismo estudio al permitir abordar de forma amplia en los posteriores análisis y caracterizaciones, de acuerdo con las condiciones de oferta y demanda vial. Dichos datos de comportamiento aislado son presentados al costado derecho y en la parte superior del histograma y el diagrama de caja, respectivamente.

Volviendo a la clasificación respecto a la combinación jerárquica según el tipo de vía en las intersecciones analizadas, se obtuvieron los diagramas de medidas de

dispersión anteriormente presentados para los volúmenes vehiculares totales. Estos diagramas son parte fundamental en el diagnóstico exploratorio de los datos, ya que permite la generación de nueva información en función de la caracterización.

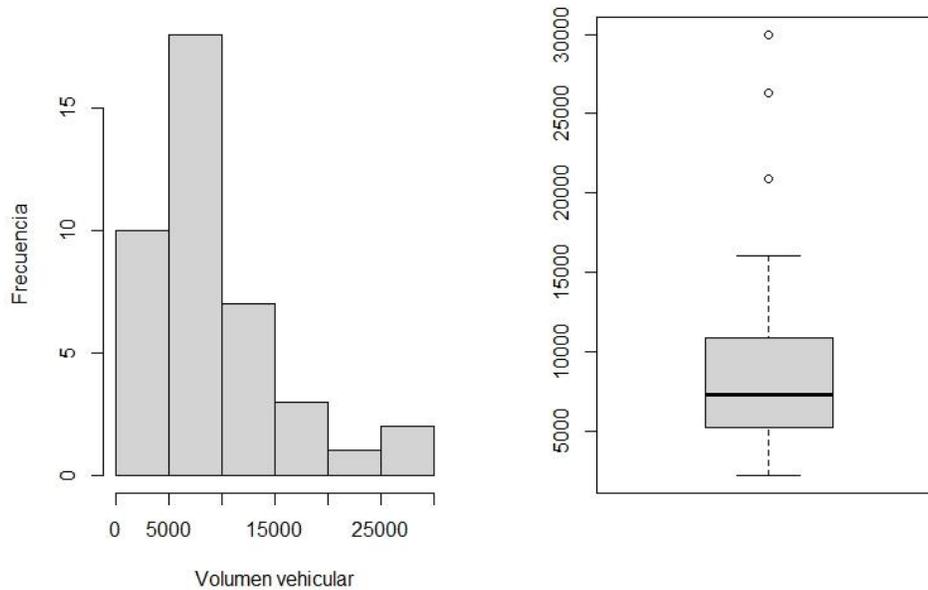
En primer lugar, en la escala jerárquica de vías urbanas, se encuentran las intersecciones cuyas ambas vías hacen referencia a corredores principales o vías urbanas. Por lo tanto, se puede deducir que registran los mayores volúmenes vehiculares a nivel urbano y es así como se evidencia en la Figura 22. Cabe resaltar que, para la nomenclatura de toda la jerarquización de las intersecciones, se conservará la utilizada anteriormente y también en la Tabla 10, donde el flujo principal está antepuesto del flujo secundario, configurando para este caso la clase “Primaria – Primaria”.

<b>Primaria - Primaria</b>	
Mínimo	2229
Máximo	29961
Promedio	9011
Desviación estándar	6132

*Tabla 10. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Primaria - Primaria". Fuente: elaboración propia.*

De las estadísticas presentadas en la Tabla 10 se evidencia que es en esta principal clase de combinación de vías jerárquicas donde se presenta el valor máximo de volumen vehicular para una hora de máxima demanda de todos los datos de intersecciones recolectadas, y así mismo, presenta una desviación estándar no tan cercana al promedio como el análisis general de datos, pero si considerablemente mayor que ésta, debido justamente a los valores extremos que se ilustran mejor en la Figura 22.

**Figura 22 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Primaria -  
Primaria"**



*Fuente: elaboración propia.*

Por un lado, el histograma de frecuencias ilustra un comportamiento similar respecto a los datos totales en cuanto al sesgo; sin embargo, en el ámbito de curtosis no es tan prominente, debido a los altos volúmenes vehiculares que se presentan específicamente para este tipo de intersecciones entre vías primarias. Por otro, el diagrama de caja ilustra de mejor manera, no solo la desconcentración de los datos respecto al diagrama total, sino también de los tres datos aislados que no se acoplan directamente al comportamiento general para la categoría.

A continuación, la clase siguiente de la escala jerárquica corresponde a las intersecciones compuestas por un flujo principal mediante una vía primaria y, como flujo secundario o complementario, una vía secundaria, configurando la clase denominada "Primaria – Secundaria", para efectos de nomenclatura con características estadísticas presentadas en la Tabla 11 y representadas mediante

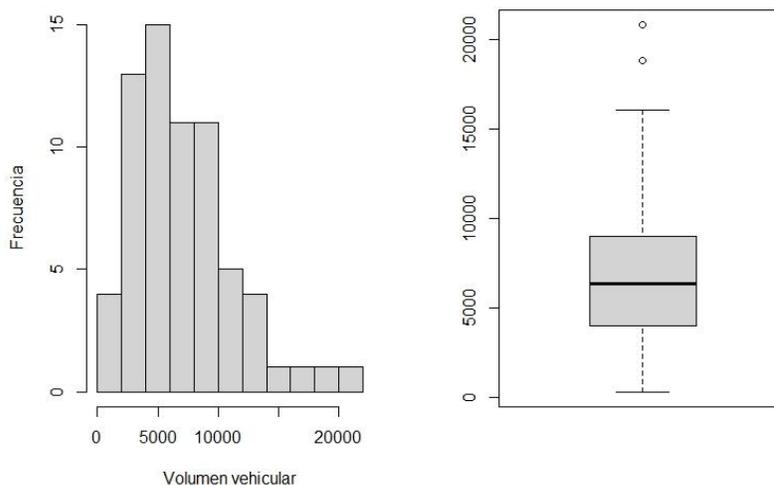
la Figura 23, permitiendo hacer un análisis introductorio a la segunda categoría con mayor número de datos de registros por movimiento.

<b>Primaria - Secundaria</b>	
Mínimo	319
Máximo	20824
Promedio	7087
Desviación estándar	4201

Tabla 11. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Primaria - Secundaria". Fuente: elaboración propia.

A partir de la Tabla 11 es importante resaltar que, si, en la categoría "Primaria – Primaria" se presentaba el dato de mayor volumen vehicular, esta clase comprende el dato de menor valor de todo el registro de datos en las intersecciones analizadas. Adicionalmente, los valores de promedio y desviación estándar de los datos son menores a la anterior categoría analizada, a pesar que su proporción aumenta, debido a los valores extremos que se presentan.

Figura 23 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Primaria - Secundaria"



Fuente: elaboración propia.

La Figura 23 ilustra lo anteriormente expuesto, es decir, una desconcentración de los datos de volúmenes vehiculares al aumentar las subdivisiones del histograma, por lo tanto, los datos son menos escarpados y más bien uniformes respecto a los datos en general.

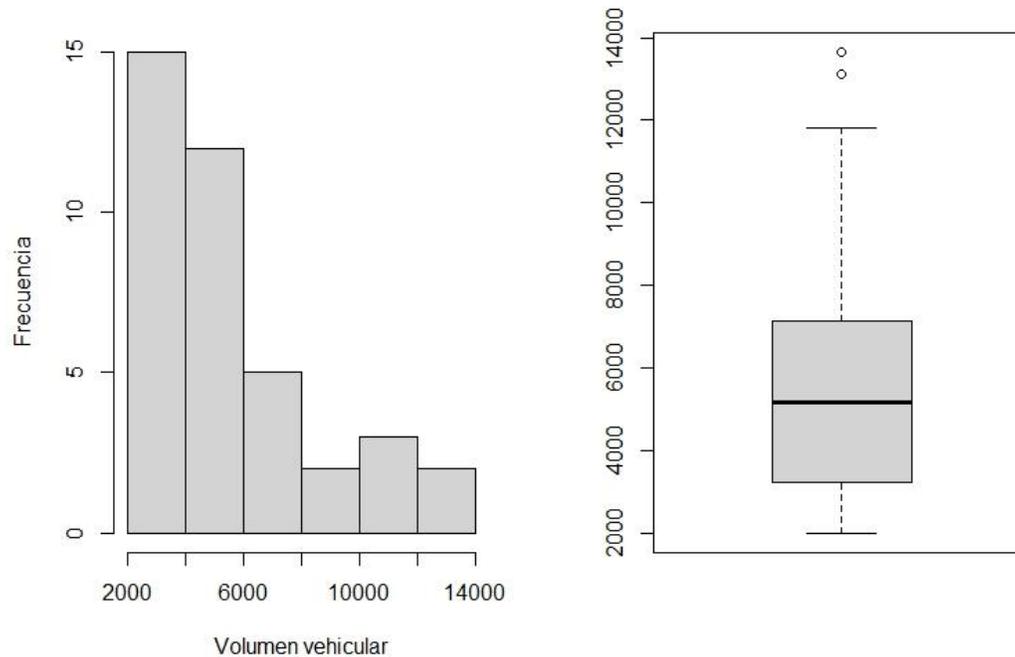
Continuando con la categorización de las combinaciones de vías en intersecciones, se tiene que los datos producto de toma de registros entre una vía primaria y una vía local o barrial será denominada “Primaria – Local”, para efectos de nomenclatura, tratados a partir de los datos estadísticos por la Tabla 12 y la Figura 24, en cuanto a la representación de las medidas de dispersión a partir del histograma de frecuencias y el diagrama de caja.

<b>Primaria - Local</b>	
Mínimo	2016
Máximo	13646
Promedio	5660,667
Desviación estándar	3191,867

*Tabla 12. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Primaria - Local". Fuente: elaboración propia.*

En un primer momento, se evidencia que el intervalo de dispersión de datos es más reducido en comparación con las categorías relativas mayores y adicionalmente, un promedio de valores de volúmenes vehiculares proporcional al visto en la categoría “Primaria-Primaria” pero aproximándose mejor a los valores de dispersión general.

**Figura 24 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Primaria - Local".**



*Fuente: elaboración propia.*

Sin embargo, la Figura 24 ilustra de forma clara que el histograma presenta un sesgo casi total hacia la izquierda, donde se ubica su punto más alto de concentración, mientras que, el diagrama de caja evidencia que el valor de la mediana es muy cercano a el promedio para esta categoría jerárquica a pesar de contar con dos datos puntuales excluidos del análisis parcial de la muestra.

Pasando ahora a la categoría de todas las intersecciones donde tanto el flujo principal como el complementario está localizado en corredores secundarios o arteriales, se denominará una combinación jerárquica vial "Secundaria – Secundaria" con las condiciones estadísticas expuestas en la Tabla 13 e ilustradas en la Figura 25, de acuerdo con las medidas de dispersión presentadas para los

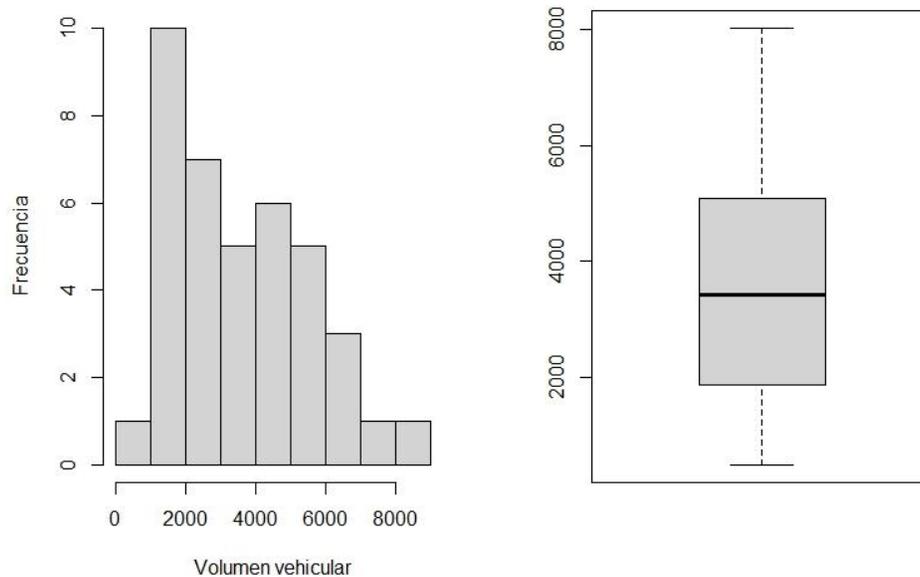
volúmenes vehiculares de las intersecciones analizadas para Bogotá en la hora de máxima demanda.

<b>Secundaria - Secundaria</b>	
Mínimo	484
Máximo	8023
Promedio	3635,821
Desviación estándar	1934,185

Tabla 13. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Secundaria - Secundaria". Fuente: elaboración propia.

Si bien el rango de valores de los volúmenes vehiculares para este tipo de intersecciones es menor a los que involucran vías primarias, la desviación estándar es considerable respecto al promedio y este último está por debajo del general del comportamiento total.

Figura 25 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Secundaria - Secundaria".



Fuente: elaboración propia.

Dicha compensación se representa mejor de acuerdo con la Figura 25, en donde se evidencia que el diagrama de caja tiene una distribución proporcionada entre el primer y tercer cuartil, representando la uniformidad parcial que se aprecia en el histograma de frecuencias, generando así lo más cercano que pueden llegar a estar los datos de los volúmenes vehiculares a la tendencia central normal o estándar, a pesar del sesgo inminente a la izquierda por el comportamiento general de los datos ya descrito.

En cuanto a la categoría de jerarquización de combinaciones viales con mayor número de datos de volúmenes vehiculares en las intersecciones analizadas para Bogotá en la hora de máxima demanda, se ubicaron las intersecciones cuya geometría y funcionalidad implicara principalmente una vía arterial junto con una vía local o barrial, denominada “Secundaria – Local” tanto en el resumen estadístico de la Tabla 14, como en el análisis de medidas de dispersión partiendo de la Figura 26.

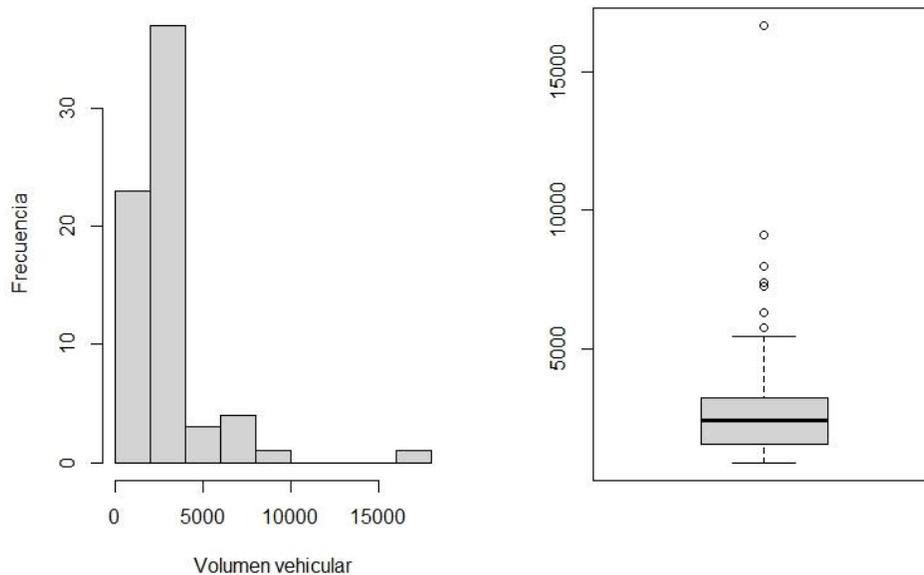
<b>Secundaria - Local</b>	
Mínimo	868
Máximo	16676
Promedio	2938.391
Desviación estándar	2388.209

*Tabla 14. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Secundaria - Local". Fuente: elaboración propia.*

En primer lugar, la Tabla 14 evidencia que, a pesar del amplio rango de datos de volúmenes vehiculares, dicha agrupación de datos representa el promedio más bajo en términos cuantitativos y la desviación estándar más cercana a dicho promedio. Esto debido a que, al contener la mayor cantidad de datos respecto a las demás categorías surgidas de la combinación jerárquica vial, representa mejor

la muestra total de datos y por lo tanto cuenta con mejores aproximaciones de la tendencia general de datos.

**Figura 26 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Secundaria - Local"**



*Fuente: elaboración propia.*

En segundo lugar, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 26, es evidente el sesgo a la izquierda de dicha distribución de datos de volúmenes vehiculares, con una alta concentración agrupada mayoritariamente en dos clases principales en el histograma de frecuencias, pero también un número considerable de datos excluidos al no seguir los mismos patrones de comportamiento del resto de la muestra.

En tercer lugar, la más baja categoría de la jerarquización de combinaciones viales principales para las intersecciones analizadas, agrupa a las compuestas únicamente por dos vías locales protagonistas de la intersección vial,

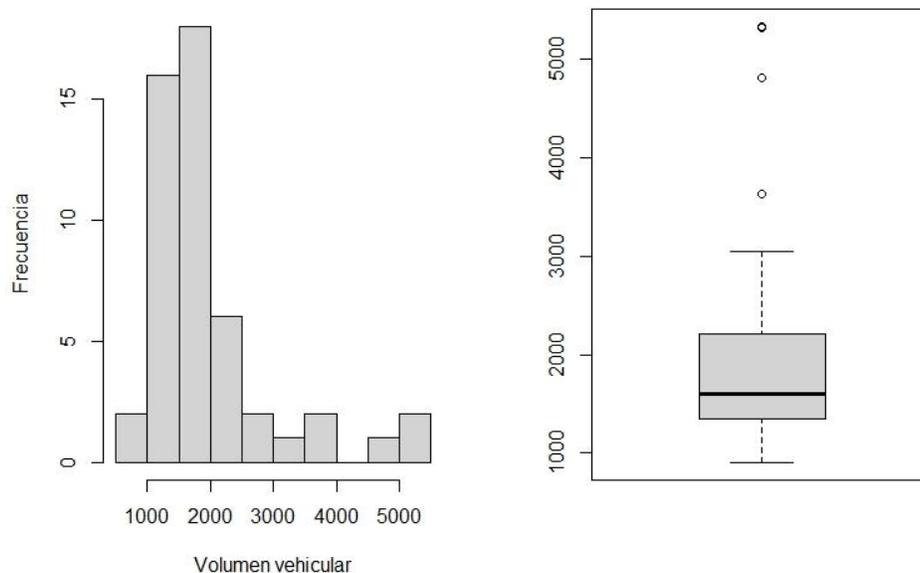
denominándola de tipo “Local – Local” en la Tabla 15 y la Figura 27 con el objetivo de realizar los análisis respectivos.

<b>Local - Local</b>	
Mínimo	908
Máximo	5326
Promedio	1951,48
Desviación estándar	1024,05

Tabla 15. Resumen estadístico de volúmenes vehiculares en intersecciones de combinación "Local - Local". Fuente: elaboración propia.

Respecto al resumen estadístico, es la categoría que tiene el más bajo rango de dispersión de datos de volúmenes vehiculares, pero, a pesar de ello, la proporción de variabilidad es incluso mayor a la de la categoría anterior “Secundaria – Local”, respondiendo a posibles variaciones sustanciales de los datos en las respectivas intersecciones, al ser las menos controladas electrónicamente.

Figura 27 Diagramas de medidas de dispersión para intersecciones tipo "Local - Local".

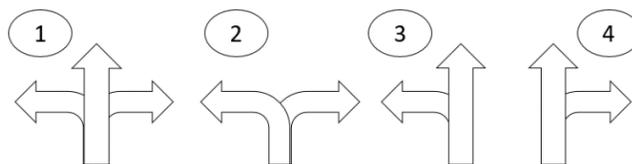


Fuente: elaboración propia.

A pesar que la Figura 27 permite visualizar un histograma de frecuencias con comportamiento general muy similar al del total de datos, el diagrama de caja evidencia un número considerable de datos excluidos muy cercano a los valores del promedio total de los datos de volúmenes vehiculares.

Finalmente, para la facilidad del análisis de datos se seleccionaron 4 tipos de movimientos por acceso. Para el primer grupo de movimientos se tienen los giros directo, giro a la derecha, giro a la izquierda; para el segundo grupo, giro a la izquierda y giro a la derecha; para el tercer grupo, directo y giro a la izquierda; y para el cuarto grupo, directo y giro a la derecha. También existe un último tipo de movimiento referente al directo excluyente, pero ya que el estudio se basa principalmente en el comportamiento del flujo vehicular en los giros de las intersecciones, se excluirá del análisis los datos que contengan este tipo de movimiento por acceso, por lo tanto, quedarían definidos tal como lo ilustra la Figura 28.

**Figura 28 Tipos de movimientos por acceso**



*Fuente: Elaboración propia.*

La Tabla 16 presenta la cantidad de datos depurados por tipo de movimiento y por acceso en las 305 intersecciones analizadas.

<b>Acceso</b>	
1	344
2	50
3	96
4	300
5	207

Tabla 16. Número de datos por tipo de movimiento por acceso. Fuente: elaboración propia.

Se excluyen los 207 datos correspondientes al movimiento directo de cada acceso, ya que está fuera del alcance del estudio, como ya se había aclarado anteriormente, para iniciar con las pruebas de hipótesis que conduzcan a la respuesta de cada una de las preguntas de investigación referente al comportamiento de los giros.

### **3.2.2 Comportamiento de los Giros en las Intersecciones**

Una vez se depuraron los datos atípicos, se procedió a la programación de las estadísticas centrales del comportamiento de los flujos vehiculares de giro para que, de esta manera, se obtuviera un resumen claro y específico para cada combinación jerárquica vial, según lo evidenciado en el análisis exploratorio general de las intersecciones analizadas en primer lugar.

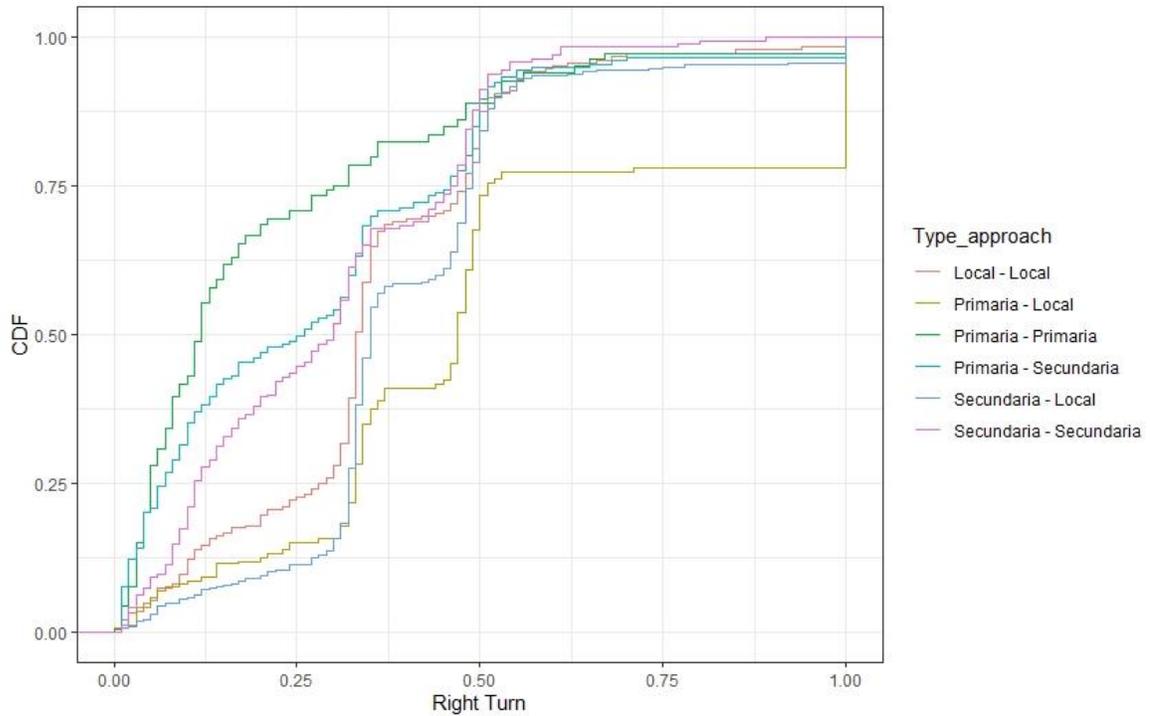
La Tabla 17 presenta de forma detallada la matriz de los porcentajes de giro, clasificados por combinación jerárquica vial y diferentes accesos, junto con el número de datos sobre los cuales se han basado dichos porcentajes de giro.

Categoría de combinación vial	Acc_mov	Derecha	Directo	Izquierda	Número de datos
Primaria - Primaria	1	0,17	0,49	0,34	33
	2	0,49	0	0,51	6
	3	0	0,73	0,27	15
	4	0,17	0,83	0	26
Primaria - Secundaria	1	0,2	0,53	0,27	51
	2	0,45	0	0,55	11
	3	0	0,66	0,34	21
	4	0,33	0,67	0	72
Primaria - Local	1	0,3	0,4	0,31	29
	2	0,44	0	0,56	10
	3	0	0,64	0,36	9
	4	0,54	0,46	0	54
Secundaria - Secundaria	1	0,22	0,52	0,27	58
	2	0,47	0	0,53	8
	3	0	0,65	0,35	12
	4	0,36	0,64	0	40
Secundaria - Local	1	0,31	0,4	0,29	108
	2	0,53	0	0,47	12
	3	0	0,54	0,46	16
	4	0,47	0,53	0	77
Local - Local	1	0,29	0,44	0,27	74
	2	0,49	0	0,51	4
	3	0	0,57	0,43	24
	4	0,41	0,59	0	38

*Tabla 17. Matriz de porcentaje de giro de acuerdo al acceso para cada combinación jerárquica de vías en las intersecciones analizadas Fuente: elaboración propia.*

Si bien los datos son explícitos y precisos, la Figura 29 representa dichos datos en una función de distribución empírica para cada clase de combinación jerárquica vial para el giro a la derecha y, de la misma manera, la Figura 30 representa los datos, pero respecto al giro a la izquierda a nivel del flujo vehicular total mixto para la hora de máxima demanda en las intersecciones analizadas en Bogotá.

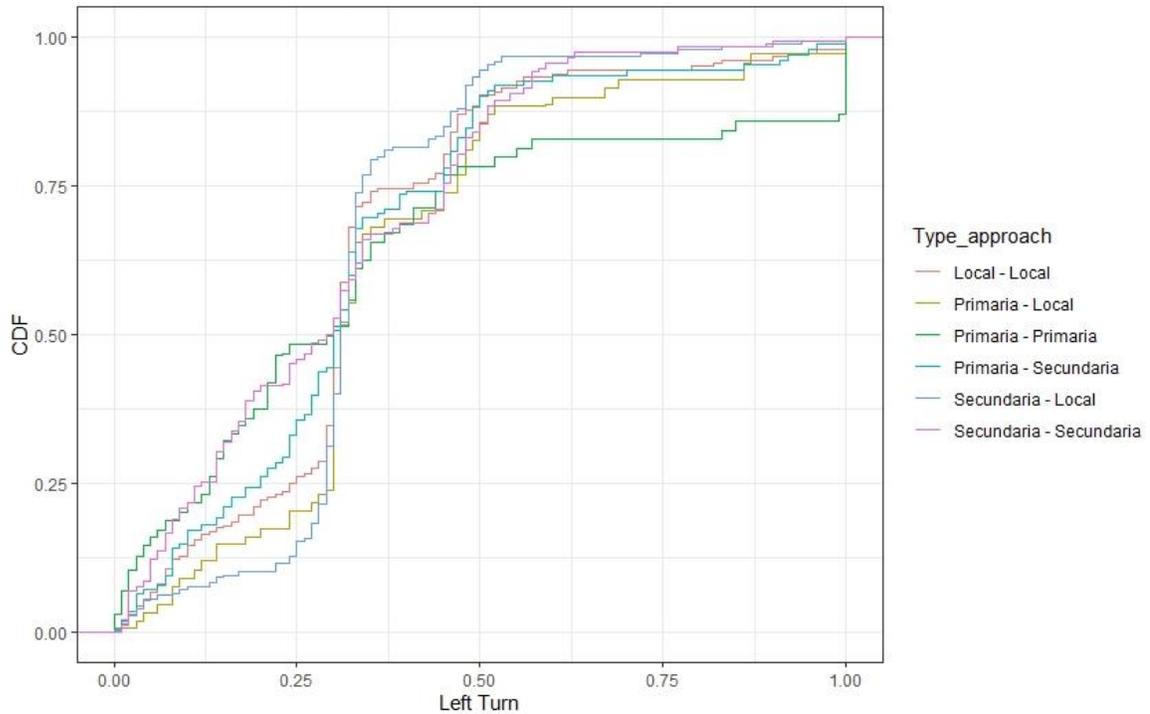
**Figura 29 Función de distribución empírica por combinación jerárquica de vías para el giro a la derecha**



*Fuente: elaboración propia.*

Para los giros a la derecha se evidencia una holgura considerable y apreciable entre las diferentes curvas de acuerdo con las categorías de las combinaciones jerárquicas viales, en donde, por ejemplo, en promedio el 50% para la combinación “Primaria – Primaria” giran a la derecha alrededor del 12%

**Figura 30 Función de distribución empírica por combinación jerárquica de vías para el giro a la izquierda**



*Fuente: elaboración propia.*

Sin embargo, para los giros a la izquierda, las curvas convergen más entre si y además de eso tienen un comportamiento creciente más proporcional y uniforme a cada combinación, como lo ilustra a modo comparativo la Figura 30.

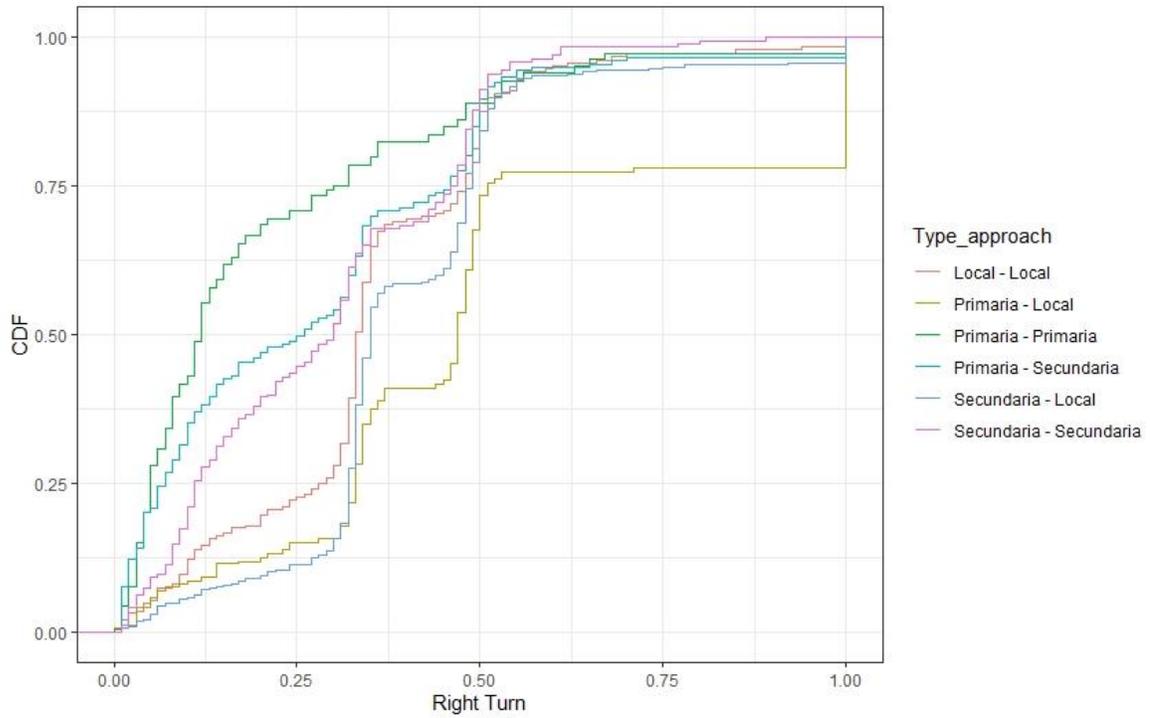
Por otro lado, para este mismo análisis, pero respecto a los autos y vehículos livianos en general, las características son muy similares al igual que los porcentajes en general, donde no se evidencia mayor variación en la tabla de atributos (Tabla 18), clasificados por categoría y por tipo de movimientos dentro de los accesos.

Categoría de combinación vial	Acc_mov	Derecha	Directo	Izquierda	Número de datos
Primaria - Primaria	1	0,18	0,49	0,33	33
	2	0,47	0	0,53	6
	3	0	0,77	0,23	15
	4	0,16	0,84	0	26
Primaria - Secundaria	1	0,19	0,54	0,27	51
	2	0,44	0	0,56	11
	3	0	0,65	0,35	21
	4	0,31	0,69	0	72
Primaria - Local	1	0,29	0,4	0,31	29
	2	0,45	0	0,55	9
	3	0	0,65	0,35	9
	4	0,54	0,46	0	54
Secundaria - Secundaria	1	0,21	0,53	0,26	58
	2	0,46	0	0,54	8
	3	0	0,65	0,35	12
	4	0,35	0,65	0	40
Secundaria - Local	1	0,31	0,41	0,28	108
	2	0,53	0	0,47	12
	3	0	0,56	0,44	16
	4	0,47	0,53	0	77
Local - Local	1	0,29	0,45	0,27	74
	2	0,48	0	0,52	4
	3	0	0,57	0,43	24
	4	0,4	0,6	0	37

*Tabla 18. Matriz de porcentaje de giro de automóvil de acuerdo al acceso para cada combinación jerárquica de vías en las intersecciones analizadas Fuente: elaboración propia.*

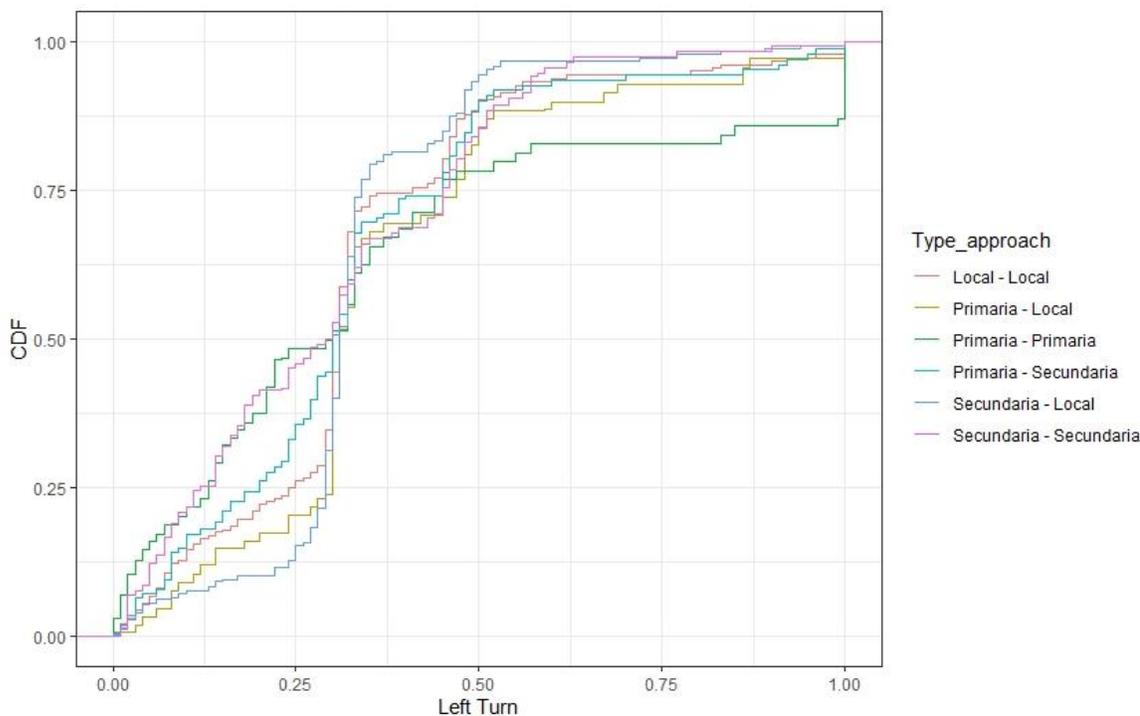
Ahora bien, se hace mucho más explícito el analizarlo mediante los gráficos, en donde las formas iniciales de las curvas respectivas de combinaciones jerárquicas viales se comportan de forma muy similar y presenta imperceptibles diferencias respecto al evaluado del volumen vehicular total mixto.

**Figura 31 Función de distribución empírica para automóviles por combinación jerárquica de vías para el giro a la derecha**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 32 Función de distribución empírica para automóviles por combinación jerárquica de vías para el giro a la izquierda.**



Fuente: elaboración propia.

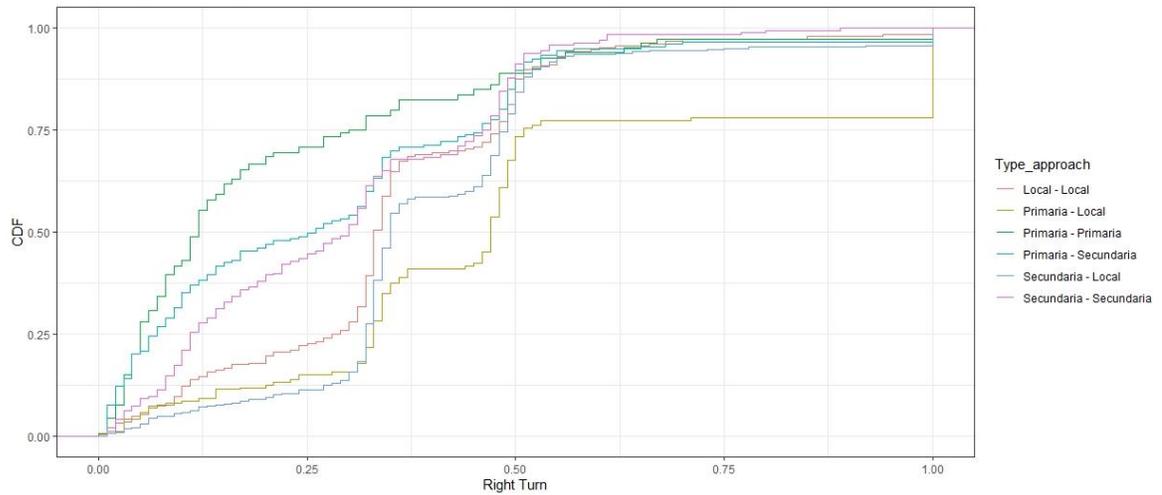
De la misma forma, la Tabla 19 presenta el reporte de datos y el porcentaje de giro en motocicletas discriminado por categoría de combinación vial y, con base en esta, las funciones empíricas de probabilidad ilustradas en la Figura 33 y en la Figura 34, las cuales representan el comportamiento para giro a la derecha y a la izquierda, respectivamente.

Categoría de combinación vial	Acc_mov	Derecha	Directo	Izquierda	Número de datos
	1	0,29	0,44	0,27	74
Primaria - Primaria	2	0,48	0	0,52	4
	3	0	0,59	0,41	24
	4	0,4	0,6	0	37
Primaria - Secundaria	1	0,29	0,4	0,31	29

Categoría de combinación vial	Acc_mov	Derecha	Directo	Izquierda	Número de datos
	2	0,45	0	0,55	9
	3	0	0,65	0,35	9
	4	0,54	0,46	0	54
Primaria - Local	1	0,16	0,5	0,34	32
	2	0,46	0	0,54	6
	3	0	0,75	0,25	15
	4	0,16	0,84	0	26
Secundaria - Secundaria	1	0,19	0,54	0,27	51
	2	0,44	0	0,56	11
	3	0	0,65	0,35	21
	4	0,31	0,69	0	72
Secundaria - Local	1	0,31	0,41	0,28	107
	2	0,53	0	0,47	12
	3	0	0,55	0,45	16
	4	0,47	0,53	0	77
Local - Local	1	0,21	0,53	0,26	58
	2	0,49	0	0,51	8
	3	0	0,65	0,35	12
	4	0,35	0,65	0	40

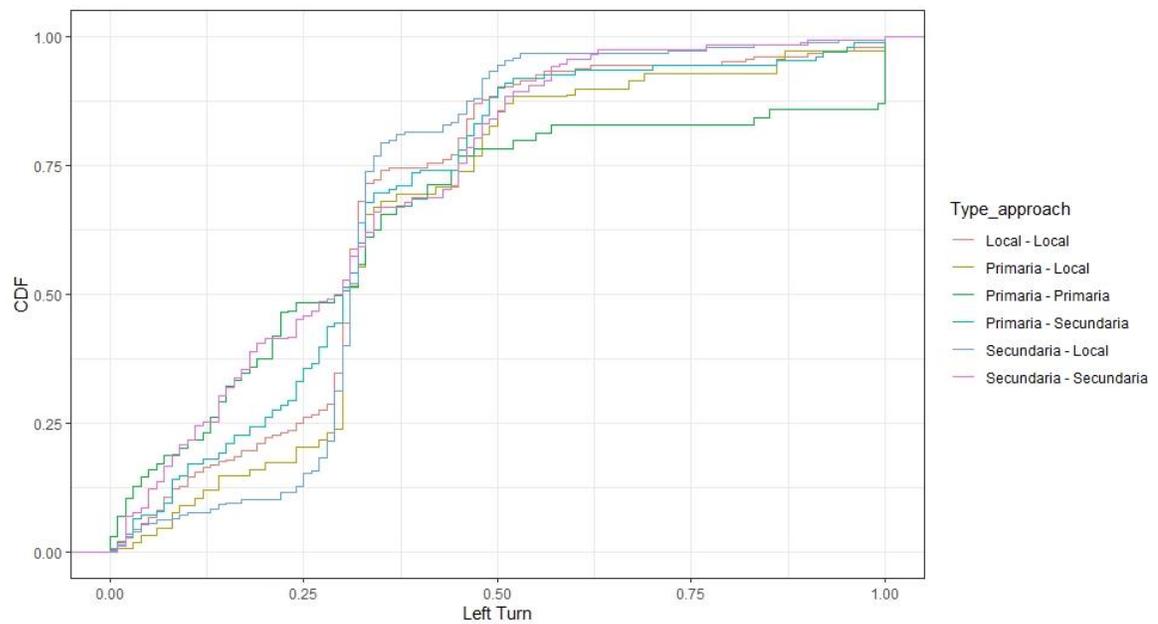
*Tabla 19. Matriz de porcentaje de giro de motocicletas de acuerdo con el acceso para cada combinación jerárquica de vías en las intersecciones analizadas Fuente: elaboración propia.*

**Figura 33 Función de distribución empírica para motocicletas por combinación jerárquica de vías para el giro a la derecha.**



*Fuente: elaboración propia.*

**Figura 34 Función de distribución empírica para motocicletas por combinación jerárquica de vías para el giro a la izquierda**



*Fuente: elaboración propia.*

Naturalmente, no tendría sentido extender esta prueba a los demás modos como los buses y camiones, ya que si bien estos dos modos no son tan representativos o dominantes como los vehículos livianos, motocicletas y bicicletas, no se encontrarían parámetros representativos del flujo en los giros, ya que en estos modos los flujos se comportan de manera distinta; es decir, que por un lado los buses tienen rutas definidas por las vías principales en la mayor parte del recorrido (más aún si se trata del Transporte Público Masivo de la ciudad), y así mismo los camiones no suele transitar y realizar movimientos de interés para este estudio, ya que la mayoría de sus trayectos son uniformes y rectilíneos.

Así pues, resultaría más conveniente para este caso realizar las pruebas estadísticas, que evalúen diferentes parámetros de comportamiento, mucho más amplios y con rasgos generales.

Para ello, se quiere verificar mediante pruebas de hipótesis, la homogeneidad del comportamiento promedio del flujo vehicular en giros para las horas de máxima demanda en las intersecciones analizadas, en la mañana y en la tarde, mediante la programación del software RStudio.

Inicialmente, se ha de comprobar si para la prueba de hipótesis las varianzas de dichas variables son iguales o no. Por ello, se establece como hipótesis nula que el cociente entre ambas varianzas sea igual a la unidad, ya que, a un nivel de confianza del 95%, en caso de que el p-valor sea menor al nivel de significancia, se podría rechazar la hipótesis nula.

Ahora, aplicando la prueba correspondiente, se evidencia que el p-valor es mayor a la significancia de 0.05 y por lo tanto no es posible rechazar la hipótesis nula de que las varianzas sean iguales para el promedio de los datos de flujo vehicular de giro en las intersecciones analizadas, según lo muestra el resultado de la consola de operación de la Figura 35.

**Figura 35 Test estadístico para comparar las varianzas de los datos de los flujos vehiculares de la mañana y de la tarde en el software RStudio.**

```

F test to compare two variances

data: TOT_MIX by Hour_Type
F = 0.97435, num df = 6647, denom df = 6023, p-value = 0.3014
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.9274386 1.0235731
sample estimates:
ratio of variances
 0.9743504

```

Fuente: elaboración propia.

Una vez suponiendo que las varianzas de las variables de interés son iguales, ya que no se pudo rechazar dicha hipótesis, se procede a aplicar la prueba estadística que permita establecer si el comportamiento de los flujos vehiculares es igual en la mañana que en la tarde. Esta premisa sería justamente la hipótesis nula, donde la resta de ambos promedios debería ser igual a cero en caso de que el p-valor sea menor al valor de significancia que no cambiará para las pruebas que realicen en este estudio.

Como parte de la evidencia que ilustra la Figura 36, el p-valor es menor al valor de significancia y por lo tanto es posible rechazar la hipótesis nula.

**Figura 36 Prueba estadística de dos variables independientes con varianzas iguales para valores promedio iguales**

```

Two sample t-test

data: TOT_MIX by Hour_Type
t = 4.878, df = 12670, p-value = 0.000001084
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 173.9311 407.6149
sample estimates:
mean in group M mean in group T
 4333.280          4042.507

```

Fuente: elaboración propia.

A manera de conclusión, dada la prueba estadística realizada, a un nivel de confianza del 95% es posible afirmar que los comportamientos de flujo vehicular especialmente en los giros de las intersecciones analizadas para Bogotá son diferentes en las horas de máxima demanda de la mañana y de la tarde.

Por otro lado, para el caso de las hipótesis relacionadas con el flujo vehicular según el tipo de intersección *Cruz* o *Te*, es necesario antes que nada establecer la igualdad de varianzas, igual que en la prueba estadística anterior, entre las variables que clasifican a las intersecciones tipo *Cruz* y *Te*.

Partiendo de este concepto se procede a verificar con la prueba ilustrada en la Figura 37 si el cociente entre las varianzas es igual a la unidad, como hipótesis nula, para proceder a la comparación respecto al p-valor.

**Figura 37 Test estadístico para comparar las varianzas de los datos de los flujos vehiculares de las intersecciones tipo cruz o X y T en el software RStudio.**

```
F test to compare two variances

data: TOT_MIX by Type_int
F = 0.95774, num df = 10766, denom df = 1904, p-value = 0.2141
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.8931998 1.0252235
sample estimates:
ratio of variances
 0.9577436
```

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, dado que el p-valor es mayor al valor de significancia, no es posible rechazar la hipótesis nula y, consecuentemente, es válido suponer la igualdad entre las varianzas de los flujos vehiculares en las intersecciones tipo *Cruz* y *Te*.

Ahora bien, dado que el objetivo es responder a la pregunta de investigación que establece la diferencia entre ambos tipos de intersecciones, se sabe desde el análisis exploratorio de los datos generales que las intersecciones tipo *Cruz* son mucho mayores en la muestra total que las de tipo *Te*; sin embargo, esta prueba está enfocada al comportamiento, más no a la proporción de ambos tipos de intersecciones, y es justamente este punto fundamental lo que válida el procedimiento a continuación descrito.

Primeramente, estableciendo la igualdad de ambos valores promedio como hipótesis nula, se realiza la prueba estadística que permita hallar el p-valor como se procede en la Figura 38.

**Figura 38 Prueba estadística de dos variables independientes con varianzas iguales para valores promedio iguales.**

```
Two Sample t-test
data: TOT_MIX by Type_int
t = -3.0882, df = 12670, p-value = 0.002018
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -420.72082 -94.00825
sample estimates:
mean in group Cruz    mean in group Te
    4156.362           4413.727
```

*Fuente: elaboración propia.*

Finalmente, dado que el p-valor es menor al valor de significancia, se procede a rechazar la hipótesis nula que establece igualdad entre los promedios de flujos de tránsito y, *ergo*, el promedio de los flujos vehiculares en los giros de las intersecciones tipo *Cruz* y *Te* es diferente entre ellos, ligado a un parámetro de proporcionalidad que es necesario mantener en cuenta para posteriores estudios que pretendan analizar las capacidades viales o incluso factores de seguridad.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta caracterización es el resultado de sumar todos los datos necesarios para lograr cada uno de los objetivos propuestos, con el adecuado uso de la información suministrada por la SDM.

La metodología empleada permitió realizar un estudio exhaustivo de la información obtenida de los diferentes aforos vehiculares y así filtrar los resultados y optimizar tiempos para garantizar la validez de los datos para este estudio.

A través de este proyecto, se pretende hacer una evaluación de los posibles comportamientos de los giros del flujo vehicular por modos, frente a los accesos de las intersecciones estudiadas.

La realización de una base de datos completa facilitó el análisis de estos y con la ayuda del programa estadístico se logró cuantificar toda la información, para finalmente plasmar los correspondientes resultados.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, F. (2014). ¿Cómo cruzar una ruta y no perder la vida en el intento? Córdoba, Alta Gracia, Argentina.
- Buehler, M. (1983). Forecasting Intersection Traffic Volumes. In Journal of Transportation Engineering (4th ed., pp. 519-533). Libertyville: ASCE.
- Hauer, E., Pagitsas, E., & Shin, B. (1980). Estimation of Turning Flows from Automatic Counts. In Transportation Research Record 795. Washington D. C.: Consejo Nacional de Investigación de EE. UU.
- Lee, S., Wong, S., Cheon Pang, C., & Choi, K. (2015). Real-Time Estimation of Lane-to-Lane Turning Flows at Isolated Signalized Junctions. In IEEE Transactions ON Intelligent Transportation Systems (3rd ed., pp. 1549-1558). Berlin.
- Schaefer, M. (1988). Estimation of Intersection Turning Movements from Approach Counts. In ITE Journal (pp. 41-46). Washington D. C.: Institute of Transportation Engineers.
- Maher, M. (1983). Inferences on Trip Matrices from Observations on Link Volumes: A Bayesian Statistical Approach. In Transpn Res-B (6th ed., pp. 435-447). Sheffield: Department of Probability and Statistics of Sheffield University.
- Welle, B., Liu, Q., Li, W., King, R., Adriazola-Steil, C., Sarmiento, C. y Obelherio, M. (2016) Ciudades Más Seguras Mediante El Diseño. 1st ed. Washington, DC: World Resources Institute, pp.41-52.
- Miramontes García, E., Viñada, D. y Rodríguez, M. (2015). Análisis Y Evaluación De Intersecciones Urbanas. Ciudad de Juárez, pp.53

- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R., Cárdenas Grisales, J. and Radelat Egües, G. (2007). Ingeniería De Tránsito. 8th ed. México: Alfaomega.
- AASHTO. (2001). Capítulo 9. Intersections. En AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (pp. 559-745). Washington, D.C.: AASHTO.
- Uribe Celis, S. (2006). Manual de Diseño Geométrico para Vías e Intersecciones Urbanas. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2005) Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas (p. Capítulo 11). Lima, Perú: VCHI S.A.
- IDU. (2015) Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá DC (pp. 225-388). Bogotá DC: CAF.