

Análisis por micro simulación del acceso vial al aeropuerto de Bogotá - El Dorado

Presentado por:

Daniel Felipe Gómez Aldana

Jhon Sebastián Niño Martínez

Trabajo para optar al título de:

Ingeniero Civil

Par académico:

Nelson Darío Moreno Matiz

Director:

Ing. Oscar Eduardo Díaz Olariaga

Universidad Santo Tomás

División De Ingenierías

Facultad De Ingeniería Civil

Bogotá

2019

## **RESUMEN**

El estudio que a continuación se presenta, es un análisis del acceso al BOG, a través de un modelo que represente las características reales de la zona de estudio, este análisis consiste en entender el comportamiento del flujo vehicular en la Avenida el dorado que es el único acceso al BOG, conocer que volúmenes de tránsito se generan y que nivel de servicio brindando en el acceso vial al Aeropuerto el Dorado.

Debido al crecimiento en el transporte aéreo en los últimos años, se ha originado un alto índice de congestión y de accidentalidad, generando incomodidad y demora en el tiempo de circulación, esta situación se presenta por lo general en las grandes ciudades como Bogotá, por esto mismo que uno de los retos del Aeropuerto el Dorado es brindar una buena accesibilidad (terrestre).

Es por esto que el proyecto consiste en una micro-simulación para caracterizar y modelar las dinámicas de acceso al aeropuerto, analizando en cada punto el comportamiento del flujo vehicular, basado en los datos obtenidos en el modelo para el análisis de los mismos y así establecer el nivel de servicio.

**ABSTRACT**

The study that follows is an analysis of access to the BOG, through a model that represents the real characteristics of the study area, this analysis consists of understanding the behavior of the vehicular flow in the Dorado Avenue which is the only access to the BOG, knowing that transit volumes are generated and what level of service provided in the road access to the Dorado Airport.

Due to the growth in air transport in recent years, there has been a high rate of congestion and accidents, generating discomfort and delay in the time of circulation, this situation usually occurs in large cities such as Bogotá, for this reason same that one of the challenges of El Dorado Airport is to provide good accessibility (land).

That is why the project consists of a micro simulation to characterize and model the dynamics of airport access, analyzing at each point the behavior of the vehicle flow, based on the data obtained in the model for the analysis of the same and thus establish the service level.

## Contenido

Introducción .....	9
1. Objetivos .....	11
1.1. General .....	11
1.2. Específicos .....	11
2. Definición del problema.....	11
2.1. Descripción .....	11
2.2. Formulación .....	12
2.3. Justificación.....	13
3. Marco conceptual .....	14
3.1. Base de datos.....	14
3.2. Micro simulación de transito.....	14
3.3. Procesos de construcción de modelos .....	16
3.4. Principios del modelado de flujo de transito .....	18
3.5. Calibración y validación de modelos de simulación de transito .....	18
3.6. Parámetros de micro simulación .....	25
3.6.1. Organización Y Alcance .....	25
3.6.2. Recopilación Y Preparación De Datos .....	25
3.6.3. Desarrollo Del Modelo Base .....	26
3.6.4. Análisis De Alternativas.....	26
3.7. Micro simulación en Vissim .....	27
3.8. Variables de capacidad y nivel de servicio .....	28
3.8.1. Capacidad.....	28
3.8.2. Nivel de servicio.....	28
4. Diseño metodológico.....	31
4.1. Metodología .....	32
4.1.1. Fase 1 .....	32
4.1.2. Fase 2 .....	32
4.1.3. Fase 3 .....	32
4.1.4. Fase 4 .....	33

4.1.5.	Fase 5 .....	33
5.	Caso de estudio .....	33
5.1.	Localización y descripción de la zona de estudio .....	33
5.1.1.	Localización .....	33
5.1.2.	Descripción de la zona .....	35
5.2.	Modo de transporte.....	39
5.3.	Transporte en Bogotá .....	39
5.3.1.	Transporte público.....	39
6.	Análisis de información secundaria y bases de datos.....	40
6.1.	Análisis de volúmenes.....	40
6.2.	Análisis de velocidades de recorrido.....	47
6.3.	Transporte disponible para movilizarse al Aeropuerto el Dorado.....	50
5.0.1.	SITP y aeropuerto El Dorado .....	51
7.	Modelación en el software Vissim .....	52
7.1.	Guía para la modelación en Vissim.....	52
8.	Resultados .....	70
8.1.	Generación de resultados micro modelo .....	70
8.1.1.	Nodos .....	70
8.1.2.	Tiempos <i>de viaje</i> .....	71
9.	Calibración .....	73
10.	Análisis de capacidad y nivel de servicio.....	78
10.1.	Capacidad .....	78
10.2.	Nivel de servicio.....	81
11.	Conclusiones .....	82
12.	Bibliografía .....	84
13.	Anexos digitales .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

**Lista de tablas**

Tabla 1. Características vía.....	35
Tabla 2. Intersecciones .....	41
Tabla 3. Velocidades .....	48
Tabla 4 Velocidades .....	49
Tabla 5. Paraderos SITP .....	51
Tabla 6 Inicio-Fin .....	71
Tabla 7 Tiempos de viajes .....	73
Tabla 8 Volúmenes vehiculares.....	74
Tabla 9 Resultados mínimos cuadrados .....	75
Tabla 10 Parámetros GEH.....	76
Tabla 11 Resultados GEH .....	77
Tabla 12 Resultados RMSE.....	78
Tabla 13 Nivel de servicio para carreteras de dos carriles .....	79
Tabla 14 Factores de ajuste por distribución direccional del tránsito en carreteras de dos carriles .....	80
Tabla 15 Factores de ajuste por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos, carretera de dos carriles .....	80
Tabla 16 Factor de vehículo pesado .....	80
Tabla 17 Nivel de servicio.....	81

## Lista de figuras

Figura 1 Esquema metodológico para la validación de modelos de simulación .....	21
Figura 2 Niveles de servicio .....	31
Figura 3 Localización geográfica Bogotá-Colombia.....	34
Figura 4 Tramo de estudio.....	34
Figura 5. Avenida Carrera 86 .....	35
Figura 6. Avenida Boyacá .....	36
Figura 7. Carrera 70.....	36
Figura 8. Carrera 68.....	37
Figura 9. Avenida Carrera 50 .....	37
Figura 10. Avenida Carrera 30 .....	38
Figura 11. Avenida Caracas .....	38
Figura 12 Distribución Vehicular horaria Avenida Caracas con Calle 26 .....	42
Figura 13 Composición vehicular Avenida Caracas con Calle 26 .....	42
Figura 14 Distribución vehicular avenida 68 con calle 26 .....	43
Figura 15 Composición vehicular avenida caracas con calle 26 .....	44
Figura 16 Distribución vehicular avenida 72 con calle 26 .....	44
Figura 17 Composición vehicular avenida 72 con calle 26.....	45
Figura 18 Distribución vehicular retorno calle 26.....	46
Figura 19 Composición vehicular avenida 72 con calle 26.....	47
Figura 20 Esquema zona de estudio .....	50
Figura 21 Imagen satelital .....	53
Figura 22 Infraestructura vial .....	53

Figura 23 Herramientas Software.....	54
Figura 24 Links.....	55
Figura 25 Creación de links.....	56
Figura 26 Link .....	57
Figura 27 Sentido y carriles del link.....	57
Figura 28 Conectores.....	58
Figura 29 Sistema de parada.....	59
Figura 30 Configuración sistema de parada .....	60
Figura 31 Volumen vehicular .....	61
Figura 32 Volúmenes en links .....	62
Figura 33 Zonas de conflicto .....	63
Figura 34 Ruta de transporte publico .....	64
Figura 35 Paradas de transporte publico.....	65
Figura 36 Activación de paradas .....	66
Figura 37 Tiempos de viaje .....	67
Figura 38 Configuración de modelo.....	68
Figura 39 Parámetros.....	69
Figura 40 Resultados .....	69
Figura 41 Nodos .....	70

## **Introducción**

El presente trabajo se refiere a la necesidad de un análisis de movilidad en el único acceso que tiene el aeropuerto internacional el Dorado. Este análisis de movilidad dicho anteriormente se puede definir como un examen detallado de la zona de estudio para conocer sus características, o cualidades, o su estado, y extraer conclusiones que se realiza separando o considerando por separado las partes que la constituye. El aeropuerto el Dorado (BOG), conocido como el principal aeropuerto del país, obtuvo como resultado en la última década una creciente demanda de pasajeros que obligo la restructuración de sus instalaciones, y ha generado un alto flujo vehicular trayendo congestionamiento vehicular que afecta el desplazamiento de los usuarios hacia el aeropuerto y por lo tanto obliga replantearse sobre el nivel de servicio que ofrece la avenida el dorado respecto a su movilidad, su adecuada infraestructura vial tanto público como privado.

Para analizar la problemática de movilidad en esta zona es necesario analizar sus causas, una de ellas es el flujo de vehículos generado por la Ampliación que tuvo este aeropuerto, al tener un mayor volumen fue empeorando la movilidad en la zona. Otra de las causas es la necesidad de otro acceso vial ya que para la ciudad de Bogotá es insuficiente el tener solo un acceso hacia el aeropuerto.

El análisis de esta problemática consiste en el interés de dar mejoras de movilidad en esta zona de estudio (Avenida el dorado) mejorar indicadores como el nivel de servicio que puede brindar este acceso para comodidad de las personas que se transportan por dicha zona.

Como metodología investigativa se consultaron estudios realizados anteriormente como el de la secretaria de movilidad y con la firma consultora Duarte Guterman & cia., del cual

realizo un estudio de formulación denominado plan maestro de movilidad para Bogotá D.C Movilidad y Desarrollo sostenible con el propósito de propiciar una movilidad eficiente a partir de ítems como jerarquización vial, transporte individual, transporte colectivo y gestión del transporte público. Se plantea la necesidad de adelantar la revisión de estudios ya hechos como el de la secretaria de movilidad para así tener un esquema modelado de la situación en esta zona de evaluación. Se recopilaron bases de datos de aforos de tránsito vehicular que se hicieron en la zona para el análisis y procesamiento para de esta forma convertirlos en resultados que sirvan para analizar y concluir mejoras en el sistema. Para dar respuesta a esta problemática se realizará análisis por medio de modelos que se construyeron a partir de los aforos de tránsito los cuales nos permite representar la realidad y actualidad en la Avenida Calle 26, a través de micro simulación, gracias al uso como herramienta de apoyo del software especializado para interpretar la problemática, en este caso se utilizará el software Vissim, y por medio de una micro simulación se pretende mejorar la movilidad para el acceso vial hacia el Aeropuerto el Dorado.

## **1. Objetivos**

### **1.1. General**

- Analizar y evaluar la accesibilidad vial al Aeropuerto de Bogotá-El Dorado (BOG).

### **1.2. Específicos**

- Identificar zona de estudio en la red de acceso vial al Aeropuerto el Dorado (BOG).
- Identificar las problemáticas de acceso vial a BOG.
- Analizar y evaluar, vía simulación microscópica de tránsito, el acceso vial al (BOG).

## **2. Definición del problema**

### **2.1. Descripción**

La ciudad de Bogotá tiene el desafío de ofrecer una buena accesibilidad al Aeropuerto Internacional el Dorado, ya que no cuenta con un sistema de acceso férreo como línea de metro, trenes de cercanías o tranvías; si no únicamente cuenta con una avenida vial como acceso, lo cual limita la capacidad del aeropuerto para conectarse de manera eficiente con la ciudad. Por otro lado, solo cuenta con escasos medios de transporte, además del privado (vehículo particular), taxis, y servicios especiales de hoteles, existe un sistema de transporte público de pasajeros estándar (buses de línea). Sin embargo, no existe un sistema de buses lanzaderas (especiales para pasajeros aéreos con maletas) desde diferentes puntos estratégicos de la ciudad, como en otras ciudades del mundo. Muchas de las personas que provienen de diferentes partes de la ciudad hacia al aeropuerto realizan traslados de un bus articulado a un bus Padrón, o a un bus alimentador para poder llegar, finalmente, al

aeropuerto. Y viceversa cuando el usuario abandona el aeropuerto para dirigirse a cualquier otro punto la ciudad.

## **2.2. Formulación**

Ante el dinámico crecimiento de tráfico hacia el Aeropuerto el Dorado que gestionó 30 millones de pasajeros en el año 2017, el aumento de personal directo e indirecto que este tuvo (cerca de 25.000 en total), y el aumento del número de trabajadores en las empresas próximas o del entorno de BOG, se vuelve imprescindible conocer, analizar y evaluar el comportamiento del acceso vial a la ciudad, considerando que la avenida el dorado es el único medio de acceso para llegar y abandonar el aeropuerto. Es por esta razón, que este análisis debe incluir el acceso tanto de transporte público como privado.

Es importante conocer la composición vehicular ya que por medio de esa información estableceremos los flujos de tránsito en el área de estudio, y podremos determinar diferentes problemáticas que tiene la Avenida Calle 26 respecto a su capacidad y demanda, al igual que su nivel de servicio. Respecto a los a estos parámetros podremos formular el problema y hacer un análisis el fin de mejorar el acceso al Aeropuerto el Dorado y llevar a cabo el descongestionamiento de las principales calles de Bogotá, lo que mejoraría la movilidad.

En ocasiones las soluciones involucran más de un elemento en particular o requieren rigurosos análisis para encontrar una solución, que ante un cambio en las condiciones de operación exigen recalcular todo el planteamiento de manera integrada. Por ello, la aplicación de modelos de micro simulación a las condiciones del tránsito ofrece un amplio

campo de análisis a posibles soluciones las cuales en ocasiones dependen solamente de una modificación geométrica, permitiendo resultados de manera rápida.

Un aspecto relevante del proyecto es su amplia aplicabilidad del modelo de micro simulación; como los accesos viales al Aeropuerto el Dorado - en especial las conexiones que alimentan la Avenida Calle 26 y que se presentan en las horas pico y la alta movilidad de vehículos; lo que convierte esta situación en una problemática y por lo que surge la necesidad de desarrollar un modelo de micro simulación de tráfico, en el tramo seleccionado de la Avenida Calle 26 desde la Avenida Caracas hasta el Aeropuerto el Dorado.

### **2.3. Justificación**

La avenida el Dorado siendo una arteria principal de comunicación de oriente a occidente y viceversa y el único acceso que posee el principal aeropuerto del país, es por esto que se tiene la necesidad de realizar un análisis en esta zona y evaluar cómo es la movilidad de esta avenida. Al ser una vía principal y la única que permite conectarse para realizar viajes aéreos a otras ciudades, se convierte en clave para empresarios, familias y personas las cuales se movilizan a diario. De acuerdo con los datos suministrados en el último informe de Estudios Sectoriales de la Aeronáutica Civil sobre el tráfico aéreo de pasajeros movilizadas en Colombia en 2017, la demanda creció en un 4,8 %. Tras analizar e identificar el aumento de pasajeros movilizándose por el acceso vial al Aeropuerto de El Dorado y considerando todos los medios de transporte (bus, BRT, taxi / Uber, vehículo particular y motos); se reitera importante un análisis por medio de una micro simulación, el cual permitirá identificar escenarios reales de congestión de este acceso vial al aeropuerto.

### **3. Marco conceptual**

#### **3.1. Base de datos**

Una base de datos es una colección de información organizada de forma que un programa de ordenador pueda seleccionar rápidamente los fragmentos de datos que necesite.

Para estos análisis también se tomarán en cuenta las bases de datos. Con esta base de datos se analizarán variables consideradas como herramientas fundamentales para la estimación del tránsito en la calle 26, teniendo como datos los volúmenes de tránsito vehiculares, velocidades de recorrido y sistemas de transporte público tantas rutas y sus respectivos paraderos con el fin de tener una base de datos consolidada para hacer un correcto modelo en vissim.

#### **3.2. Micro simulación de tránsito**

La micro simulación es la modelización de los movimientos de vehículos individuales en una segunda base o subseguido con el fin de evaluar el rendimiento del tráfico de los sistemas de autopistas y calles, el tránsito y los peatones. En los últimos años se ha observado una rápida evolución en la sofisticación de los modelos de micro simulación y una importante expansión de su uso en la ingeniería del transporte y las prácticas de planificación. Estas pautas brindan a los profesionales orientación sobre la aplicación adecuada de modelos de micro simulación a los problemas de análisis del tráfico, con un enfoque general en el análisis de alternativas existentes y futuras.

El uso de estas pautas ayudará en la aplicación consistente y reproducible de los modelos de micro simulación y respaldará aún más la credibilidad de las herramientas de hoy y de mañana. Como resultado, los profesionales y los responsables de la toma de decisiones estarán equipados para tomar decisiones informadas que den cuenta de la tecnología actual y en evolución. Dependiendo del propósito, la necesidad y el alcance específicos del proyecto, los elementos del proceso descritos en estas pautas se pueden mejorar o adaptar para respaldar al analista y al equipo del proyecto. Se recomienda encarecidamente que las partes interesadas y los socios respectivos consulten antes y durante la aplicación de cualquier modelo de micro simulación. Esto respalda aún más la credibilidad de los resultados, las recomendaciones y las conclusiones, y minimiza el potencial de tareas innecesarias o imprevistas. (Dowling & Skabardonis, 2004)

Los modelos de micro simulación representan en la actualidad una valiosa herramienta para el desarrollo de una gran diversidad de estudios de tránsito y son clave en el proceso de planeación y ajuste en la infraestructura vial y de transporte. Con el paso del tiempo y con el consecuente avance tecnológico, se han convertido en un elemento fundamental para la evaluación tanto de las propuestas de solución de problemas de tránsito existentes, como para la correcta formulación de nuevos proyectos de infraestructura vial.

Micro simular una correcta interacción entre cualquier modo de transporte, sea motorizado, tal como motos, autos, buses, camiones, tráileres, trenes, tranvías, entre otros, o no motorizado, tal como bicicletas, peatones, corredores, etc.

Micro simular prácticamente cualquier tipo de vía de comunicación e intersección, tal como calles, avenidas, autopistas, viaductos, túneles, distribuidores, andadores, entre otros;

con cualquier tipo de control, tal como semáforos (fijos, semi actuados, actuados), reglas de prioridad, casetas de cobro, reductores de velocidad, etc.

Micro simular estacionamientos de manera integral: rampas, pasillos de circulación accesos y salidas vehiculares entre otras

Obtener la más amplia gama de indicadores de desempeño, los cuales van desde los comúnmente obtenidos como niveles de servicio por demoras, densidades, velocidades, longitudes de cola, hasta las más recientemente solicitadas como cantidades de emisiones

Desarrollar videos de simulación de tránsito en 2 y 3 dimensiones (2D y 3D) (Mayor, s.f.)

### **3.3. Procesos de construcción de modelos**

El proceso de construcción del modelo generalmente comienza por el análisis de sistemas, un proceso de adquisición de conocimiento que también puede interpretarse en términos de una abstracción de la realidad, que consiste en la conceptualización de la situación. Según Daellenbach (1995), este paso tiene tres componentes principales:

1. Elementos de la estructura: aspectos o componentes de la situación que son estables o cambian solo muy lentamente en el marco de tiempo implicado en la situación: estructuras físicas, edificios, equipos, pero también aspectos estructurales funcionales, como propiedades físicas o lógicas componentes, etc.
2. Elementos del proceso: Aspectos de la situación que experimentan cambios o están en un estado de cambio, como las actividades en curso dentro de la estructura, el flujo y el procesamiento de material o información, y la toma de decisiones en curso.

3. Relaciones entre estructura y proceso y entre procesos: ¿Cómo afecta la estructura o condiciona los procesos? ¿Qué cosas o aspectos son resultados directos o indirectos de tales relaciones?

Una descripción del sistema identifica y caracteriza todos los componentes relevantes o entidades del sistema, incluidas las relaciones estructurales y de proceso entre ellos y cómo determinan o están determinados por los objetivos del sistema. Esta descripción constituirá la base de una representación formal o modelo de sistema, que se estudiará y utilizará para manipular problemas que sean de interés para el analista. Una descripción del sistema consiste en especificar lo siguiente:

1. El o los procesos de transformación o actividades del sistema
2. Los límites del sistema
3. Los componentes y subsistemas y las relaciones estables entre ellos o la estructura
4. Las entradas al sistema desde el entorno
5. Las salidas del sistema

Es deber del análisis de sistemas proporcionar los elementos para la descripción del sistema, es decir, identificar los componentes o entidades del sistema y caracterizarlos en términos de sus atributos; identificar las interacciones y las relaciones entre las entidades; y especifique los objetivos del sistema. El objetivo final del análisis de sistemas es adquirir conocimientos suficientes sobre el sistema para poder formular hipótesis sobre cómo funciona el sistema (modelar hipótesis) y caracterizar las interacciones y relaciones de las

entidades (en términos de atributos siempre que sea posible). (Barceló, Fundamentals of Traffic Simulation, 2010).

### **3.4. Principios del modelado de flujo de tránsito**

Modelar la dinámica de los flujos de tráfico para simular su propagación temporal a través de las redes de tráfico es también una buena ilustración de la afirmación de Minsky de que un sistema se puede modelar de diferentes maneras según diversos enfoques que dependen de los propósitos del modelador. Los flujos de tráfico se pueden modelar macroscópicamente desde un punto de vista agregado basado en una analogía hidrodinámica al considerar los flujos de tráfico como un proceso de fluido particular cuyo estado se caracteriza por variables macroscópicas agregadas: densidad, volumen y velocidad. Pero también pueden ser modelados microscópicamente, es decir, desde un punto de vista completamente desagregado, dirigido a describir el proceso de fluidos a partir de la dinámica de las partículas individuales (los vehículos) que lo componen. Ver, por ejemplo, los capítulos 6 y 7 de Gerlough y Huber (1975). Los modelos mesoscópicos representan una tercera alternativa de modelado intermedio basada en una simplificación de la dinámica vehicular. (Barceló, 2010, pág. 15)

### **3.5. Calibración y validación de modelos de simulación de tránsito**

La simulación es una técnica que puede verse como un experimento de muestreo en un sistema real dinámico a través de un modelo de computadora que lo representa formalmente. La simulación supone que la evolución del modelo del sistema a lo largo del tiempo imita correctamente la evolución del sistema modelado a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se recopilan muestras de las variables de interés de observación. A partir de estas

muestras, las conclusiones sobre el comportamiento del sistema se pueden extraer mediante el uso de técnicas de análisis estadístico. Para utilizar el modelo como un sustituto experimental del sistema real, la confiabilidad de este proceso de toma de decisiones depende de la capacidad de producir un modelo de simulación que represente el comportamiento del sistema lo suficientemente cerca (Barceló y Casas, 2004; Dowling et al., 2004; FHWA, 2004). El proceso de determinar si el modelo de simulación es lo suficientemente cercano al sistema real generalmente se logra a través de la validación del modelo y el conocimiento adquirido, con el fin de mejorar el modelo hasta que la precisión se considere aceptable. La validación del modelo es un proceso iterativo que calibra los parámetros del modelo, compara el modelo con el comportamiento real del sistema y utiliza las discrepancias entre los dos y la percepción adquirida para mejorar el modelo hasta que la precisión se considere aceptable. Por lo tanto, la validación se refiere a determinar si el modelo de simulación es una representación precisa del sistema en estudio. El proceso de calibración tiene el objetivo de encontrar los valores de estos parámetros que producirán un modelo válido. Los parámetros del modelo se deben suministrar con valores. La calibración es el proceso de obtención de dichos valores a partir de datos de campo en una configuración particular.

La cuestión de si un modelo es válido o no se puede formular en términos de si los resultados del modelo representan fielmente la realidad, una pregunta para la cual las técnicas estadísticas proporcionan una respuesta cuantificada. La cuantificación, de acuerdo con Rouphail y Sacks (2003), puede formularse formalmente en los siguientes términos: la probabilidad de que la diferencia entre la "realidad" y la salida simulada sea menor que una diferencia tolerable especificada dentro de un nivel de significancia dado:

$$P \{ | \text{"realidad"} - \text{resultado simulado} | \leq d \} > \alpha$$

Donde  $d$  es el umbral de diferencia tolerable que indica qué tan cerca está el modelo de la realidad, y  $\alpha$  es el nivel de significancia que indica la certeza del resultado. En este marco, la percepción del analista de la realidad se basa en la información reunida a través de la recopilación de datos y el posterior procesamiento de los datos a fin de dar cuenta de las incertidumbres. Los datos disponibles y sus incertidumbres determinarán qué se puede decir sobre  $d$  y  $\alpha$ . Sorprendentemente, la última afirmación recibió poca atención. En casi todas las discusiones y enfoques metodológicos para la calibración y validación de modelos de simulación de tráfico, la atención se ha centrado en la capacidad de los procesos para estimar con precisión los parámetros del modelo y en los métodos estadísticos para evaluar la validez del modelo; mientras tanto, la suposición implícita ha sido que los datos disponibles para la comparación eran lo suficientemente confiables.

Figura 1 Esquema metodológico para la validación de modelos de simulación

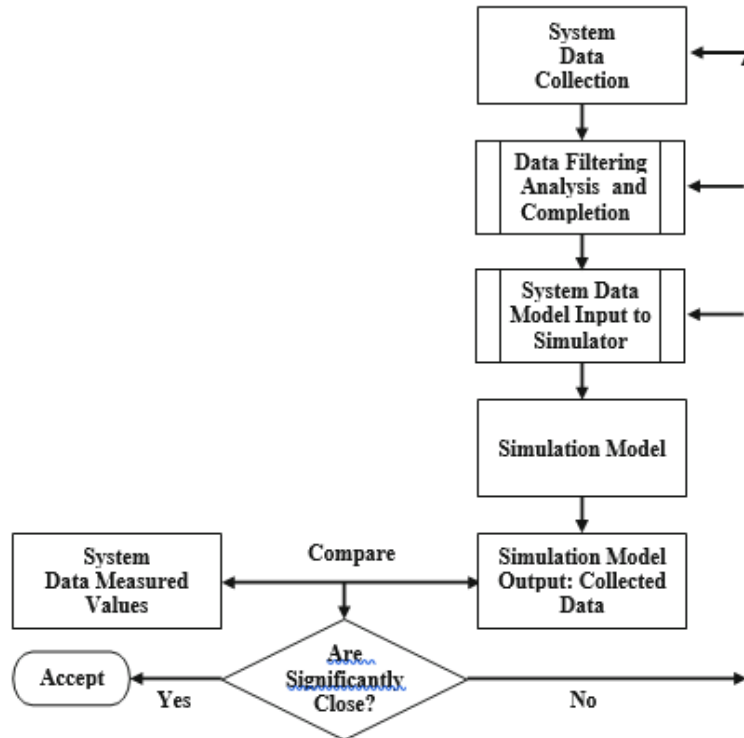


Figura 1: Fuente, Jaume Barceló, 2010.

Esta metodología supone implícitamente la capacidad de modelar que, somos capaces de modelar correctamente los datos de entrada y el conjunto de datos medidos para comparar con los resultados de la simulación es confiable o, en otras palabras, se asume que están libres de errores.

Para entender mejor este proceso de entrada de los datos veremos que las entradas de datos a los modelos de tráfico se pueden clasificar en dos categorías:

Datos directamente observables, es decir, mediciones de variables de tráfico afectadas por errores (flujos, velocidades, ocupaciones, tiempos de viaje, etc.), que se basan en tecnologías disponibles y que deben ser adecuadamente filtradas y procesadas antes de usarlas en las aplicaciones. (Bayarri, Berger, Molina, Rouphail, & Sacks, 2004)

Los datos no son directamente observables, como la demanda de transporte modelada en términos de tiempo dividido en matrices de origen-destino. Este proceso de entrada solicita procedimientos de estimación sonora e indirecta para generar las entradas adecuadas.

El enfoque metodológico también asume que después de procesar adecuadamente los datos recogidos del sistema, filtrar las mediciones no confiables y completar los datos faltantes, hay disponible un conjunto de datos para la entrada directa a los modelos de simulación (por ejemplo, cuando los datos la entrada al modelo de simulación se basa en flujos de entrada y proporciones de giro como se mencionó anteriormente) o para construir un modelo de datos de entrada apropiado para el modelo de simulación (por ejemplo, cuando la entrada de datos de simulación consiste en una matriz de origen-destino). En esencia, el proceso de validación consiste en recopilar los datos simulados y compararlos con los datos medidos del sistema, en función de los métodos de análisis estadístico, para determinar si las muestras de datos observados y simulados son lo suficientemente parecidas, como se indicó anteriormente. En el caso de una respuesta positiva, el modelo de simulación se acepta como válido; de lo contrario, se rechaza y el proceso de validación debe ser revisado. Esto implica un procedimiento iterativo en el cual, dependiendo de la

situación, se deben recopilar más o tal vez nuevos datos; el procesamiento de datos debe ser revisado; o el modelo de los datos de entrada debe ser cambiado o refinado.

La calibración y validación de modelos de simulación sigue siendo un desafío importante en el uso de la simulación para fines prácticos, es decir, en el caso de los modelos de simulación de tráfico microscópico que combinan el alto nivel de incertidumbre del sistema modelado con un gran número de parámetros. Algunos de ellos explican aspectos de comportamiento del sistema de controlador de vehículo. En consecuencia, la calibración y validación ha atraído la atención de muchos investigadores en los últimos años y el uso creciente de la simulación de tráfico microscópica para el análisis del tráfico ha impulsado algunas iniciativas de los investigadores (Yoshii, 1999; Bayarri et al., 2002; Dowling et al., 2004. ; Ciuffo et al., 2007; Hollander y Ronghui, 2008) y agencias gubernamentales (FHWA, 2004) para desarrollar pautas metodológicas para la calibración y validación de modelos de simulación microscópica. En general, todas las pautas metodológicas coinciden en recomendar la descomposición del principal problema de calibración en sub-problemas para resolverlo de manera más eficiente, teniendo en cuenta la naturaleza diferente de los parámetros a calibrar. Algunos son locales, mientras que otros son globales. Sin embargo, como se analizará más adelante en esta sección, la disponibilidad de técnicas computacionales más potentes hace que recurrir a procedimientos simultáneos sea más atractivo (Hollander y Liu, 2008). Sin embargo, en la mayoría de los casos aún se recomienda encarecidamente descomponer el problema en sub-problemas más simples antes de aplicar un procedimiento simultáneo. Esta práctica suele ser de gran ayuda para determinar los intervalos probables de la variabilidad de los parámetros y constituye un insumo útil para los procedimientos simultáneos. De acuerdo

con estas recomendaciones, las pautas de FHWA (2004) estructuran el proceso en cuatro etapas:

1. Comprobación de errores: la red codificada de transporte y los datos de demanda se revisan en busca de errores. Este paso es necesario para eliminar los errores de codificación antes de continuar con la calibración.
2. Calibración de la capacidad: se realiza una calibración inicial para identificar los valores de los parámetros de ajuste de capacidad que hacen que el modelo reproduzca mejor las capacidades de tráfico observadas en el campo. Primero se realiza una calibración global, seguida de un ajuste fino específico del enlace. El manual de capacidad de la autopista se puede usar como una fuente alternativa de valores objetivo de capacidad si las mediciones de campo no son factibles.
3. Calibración de elección de ruta: si el modelo de micro simulación incluye calles paralelas, la elección de ruta será importante. En este caso, se realiza un segundo proceso de calibración, pero esta vez con los parámetros de elección de ruta. Primero se realiza una calibración global, seguida de un ajuste fino específico del enlace.
4. Validación del desempeño: Finalmente, las estimaciones generales del modelo de rendimiento del sistema (tiempos de viaje y colas) se comparan con las mediciones de campo de los tiempos de viaje y las colas. Se realizan ajustes de ajuste para permitir que el modelo se ajuste mejor a las mediciones de campo. (Barceló, 2010)

### **3.6. Parámetros de micro simulación**

Por medio de la micro-simulación se puede suministrar gran cantidad de información, en algunos casos puede ser un proceso lento y de recursos intensivos, el esfuerzo de la micro simulación para garantizar un resultado rentable para el estudio depende de los componentes principales las cuales se describirán a continuación:

#### **3.6.1. Organización Y Alcance**

Es de gran importancia evaluar exactamente que se quiere hacer, identificar el estudio, objetivos y herramientas apropiadas para obtener un enfoque analítico los objetivos del estudio. Una vez que se han identificado los objetivos del estudio, el próximo paso es identificar el alcance o amplitud del análisis.

#### **3.6.2. Recopilación Y Preparación De Datos**

Genera cierto tipo de orden sobre la identificación, recopilación y preparación de los conjuntos de datos necesarios para desarrollar un modelo de micro simulación para un específico análisis del proyecto, y los datos necesarios para evaluar la calibración y fidelidad del modelo al mundo real.

Generalmente se presentan condiciones en el área de estudio en el análisis del proyecto, en las cuales sirven las técnicas y orientaciones específicas de la agencia documentos que se centran en la recopilación de datos, que se debe usar para apoyar las necesidades específicas del proyecto.

### **3.6.3. Desarrollo Del Modelo Base**

Para desarrollar un modelo de micro simulación, se puede hacer por diferentes programas de software para realizar esta tarea y cada uno tiene su propia codificación única y metodología.

El desarrollo de un modelo de simulación exitosa depende del orden en que debe comenzar con un plano (el enlace diagrama) y luego se procede a construir el modelo en los enlaces de secuencia de codificación y nodos, completando las geometrías del enlace, agregando datos de control de tráfico en los nodos apropiados, codificar datos de demanda de viaje, agregar datos de comportamiento del viajero y finalmente seleccionar el modelo ejecutar los parámetros de control. (Barceló, 2010, pág. 30)

### **3.6.4. Análisis De Alternativas**

Para el proceso de análisis de micro simulación se debe tener en cuenta las alternativas del proyecto, una vez terminado el desarrollo del modelo, el análisis de las alternativas del proyecto implica la previsión de la demanda futura para el caso de las bases y sus posibles alternativas para poder mejorar la demanda. El analista debe ejecutar el modelo varias veces, a su vez debe revisar el resultado, verificar las estadísticas y si es necesario corregir los sesgos en los resultados extraiga, estos análisis pueden incluir pruebas de hipótesis, cálculo de intervalos de confianza y análisis de sensibilidad para respaldar aún más las conclusiones de análisis. (Barceló, 2010, pág. 42).

- El análisis de alternativas consta de varios pasos los cuales son:
- Desarrollo de pronósticos de demanda base.
- Generación de alternativas de proyecto para análisis.

- Selección de medidas de efectividad.
- Aplicación de modelo (ejecuciones).
- Tabulación de resultados.
- Evaluación de alternativas

### **3.7. Micro simulación en Vissim**

Vissim es una herramienta de modelación de tráfico discreta y microscópica basado en tiempo y comportamiento, la cual representa parte esencial de las operaciones de tráfico urbano, este software está basado en varios modelos matemáticos, este puede ser empelado para investigaciones del transporte tanto privado como público, a su vez en movimientos peatonales particulares. (Fellendorf, 2010). Es un programa que puede analizar la operación del transporte público y privado bajo condiciones como configuración de carriles, composición vehicular, semáforos, paradas TP, etc., convirtiéndose así en una herramienta útil para la evaluación de diferentes alternativas basadas en ingeniería de transporte y planeación de indicadores de desempeño. (Logustics, 2012). Los ingenieros y planificadores de transporte son los encargados de reunir información para obtener objetos y datos apropiados con el fin de adecuarlos a la hora de simular los flujos de tráfico multimodales, las características técnicas de los peatones, ciclistas, motocicletas, automóviles, camiones, autobuses, tranvías, luces (LRT) y pesado carril se proporcionan con opciones de personalización para mejores resultados en la simulación. (Teodorovic & Janic, 2017). Vissim ofrece una simulación de tráfico multipropósito basada en comportamiento microscópico para analizar y optimizar los flujos de tráfico. Ofrece una amplia variedad de aplicaciones urbanas y de carreteras, integrando transporte público y privado. Las condiciones de tráfico complejas se visualizan con un alto nivel de detalle

respaldado por modelos de tráfico realistas, en el cual se pueden realizar aplicaciones típicas teniendo siempre en cuenta los principios de modelado que presenta la arquitectura general del simulador. (Logustics, 2012).

### **3.8. Variables de capacidad y nivel de servicio**

#### **3.8.1. Capacidad**

Hasta ahora se ha hablado del volumen máximo posible, es decir, el mayor número posible de vehículos que puede pasar por un punto de una calzada, carril o carriles, en ciertas condiciones y en un momento dado. Su valor es muy variable, pues numerosos factores que inciden en él pueden cambiar inesperadamente. Este volumen, aunque es apropiado para hacer análisis de circulación, no se presta muy bien para el diseño de vías, debido a su extrema variabilidad. Para el diseño se ha creado el concepto de capacidad vial, empleado también en el análisis de circulación y en la planeación. Su definición más empleada en la actualidad, que aparece en el Manual de capacidad para carreteras, HCM-2000, (Transportation Research Board, 2000, p. 5-2), es como sigue: “Capacidad es el máximo número de peatones o vehículos que de manera razonable se pueda esperar pasen por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período de tiempo dado, en condiciones imperantes o prevalecientes de vía, tránsito y control”.

#### **3.8.2. Nivel de servicio**

El concepto de nivel de servicio se utiliza para evaluar la calidad del flujo. Es “una medida cualitativa que descubre las condiciones de operación de un flujo de vehículos y/o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros”. Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de

maniobra, las interrupciones a la circulación, la comodidad, las conveniencias y la seguridad vial. Para cada tipo de infraestructura se definen 6 niveles de servicio, para los cuales se disponen de procedimientos de análisis, se les otorga una letra desde la A hasta la F siendo el nivel de servicio (NS) A el que representa las mejores condiciones operativas, y el NS F, las peores (Escobar, 2007).

Las condiciones de operación de estos niveles, para sistemas de flujo ininterrumpido son las siguientes:

- **Nivel de Servicio A**

El nivel general es de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación a flujo libre, la velocidad de los vehículos es la que elige libremente cada conductor, cuando un vehículo alcanza a otro más lento puede adelantarse sin sufrir demoras.

- **Nivel de servicio B**

El nivel de servicio está dentro de un rango de flujo libre, la velocidad de los vehículos más rápidos se ve influenciada por otros vehículos, se generan pequeñas demoras en ciertos tramos, aunque sin llegar a formarse colas, la libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobrar.

- **Nivel de Servicio C**

Pertenece al rango de flujo estable, la selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros y la libertad de maniobra comienza a ser restringida, formación de colas poco consistentes.

- **Nivel de Servicio D**

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable, velocidad reducida y regulada en función de los vehículos precedentes, formación de colas en puntos localizados, dificultad para efectuar adelantamientos, condiciones inestables de circulación.

- **Nivel de Servicio E**

El funcionamiento está en él o cerca del límite de su Capacidad, los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, velocidad reducida y uniforme para todos los vehículos del orden de 40-50 km/h, la libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, imposible efectuar adelantamientos, define la capacidad de una carretera, se generan frustraciones de los conductores.

- **Nivel de Servicio F**

Representa condiciones de flujo forzado, se produce cuando la cantidad de tránsito se acerca a un punto y este excede la cantidad que puede pasar por él, formación de largas y densas colas, circulación intermitente mediante frenada y arrancada sucesiva, esta operación se caracteriza por ser los típicos “cuellos de botella”. (Highway capacity manual (HCM), 2010).

Figura 2 Niveles de servicio

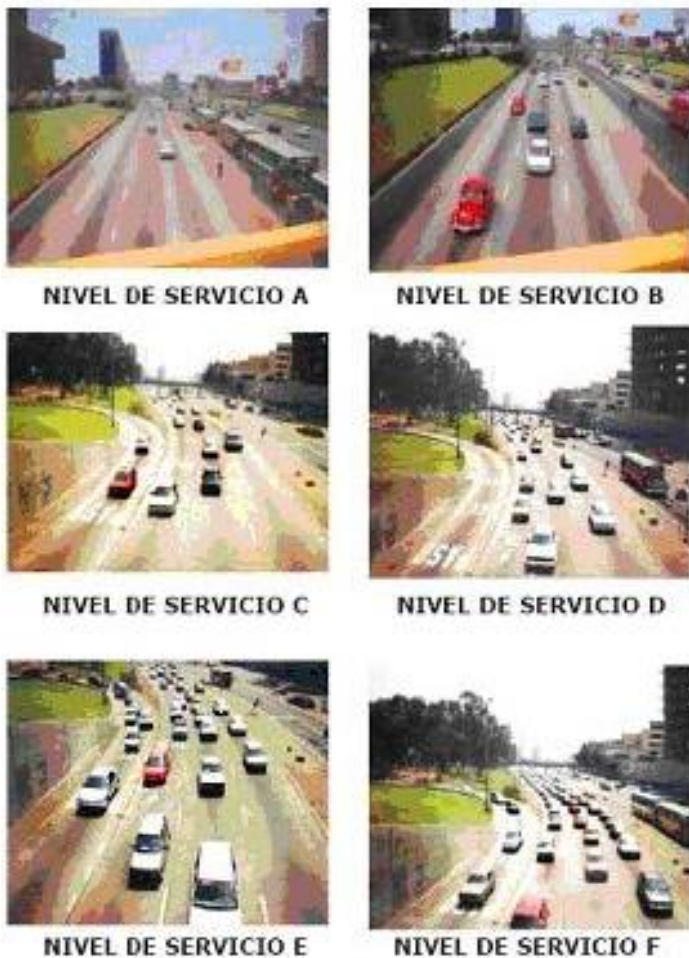


Figura 2: Fuente. Manual 2005 VCHI de Diseño Geométrico de Vías

#### 4. Diseño metodológico

En el diseño metodológico de la Avenida Calle 26 escogida para realizar el análisis por micro simulación se encuentra en la ciudad de Bogotá, desde la Avenida Caracas hasta el aeropuerto, con una longitud aproximada de 11 KM. Se necesitará de diferentes técnicas de recopilación de información relacionada con la movilidad en la zona. Una de dichas técnicas que utilizaremos son los aforos o recopilación de los mismos que consiste en el

conteo de los distintos vehículos que transcurren en determinado tiempo este aforo se hace en el rango de días en el que se quiera abordar dicho estudio. También con la recopilación de datos estadísticos de movilidad (SDM) o Transmilenio nos basaremos en estos para análisis posteriores y alimentación del modelo en Vissim.

#### **4.1. Metodología**

Para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto, se proponen 5 fases en la metodología descrita a continuación:

##### **4.1.1. Fase 1**

Se recopilará la información dicha anterior mente con los datos de aforos de Transmilenio y de la secretaria distrital de movilidad se consolidarán y depurarán dichos datos para el procesamiento en el software Vissim

##### **4.1.2. Fase 2**

Ya depurados estos datos se volverá a verificar la utilidad de los mismos analizando si realmente son coherentes los datos obtenidos con lo que representa la actualidad en estas zonas de flujo vehicular

##### **4.1.3. Fase 3**

Se organizarán los datos respecto a su calle de correspondencia y todo esto se hará en Excel para un correcto control de la información.

#### **4.1.4. Fase 4**

Ya como últimas instancias se procederá al ingreso de los datos al software Vissim con el que se podrá construir un modelo adecuado que represente la actualidad sobre el flujo vehicular hacia el acceso al BOG con haciendo énfasis en el análisis e la calle 26.

#### **4.1.5. Fase 5**

Como etapa final de este proceso metodológico se proceden a cuantificar los datos en el software vissim para que el programa muestre un modelo dinámico y arroje datos de respuesta y con esto mismo se podrá analizar los diferentes problemas que tiene la movilidad en la zona y así dar posibles soluciones a cada una de ellas.

### **5. Caso de estudio**

#### **5.1. Localización y descripción de la zona de estudio**

##### **5.1.1. Localización**

La Avenida Calle 26 (Avenida El Dorado) se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá Colombia. Posee una extensión aproximada de 11 KM, partiendo de una zona de estudio desde la Avenida Caracas hasta el ingreso al BOG, teniendo como arterias principales la Avenida Caracas, NQS, Avenida Carrera 50, Carrera 68, Carrera 70, Avenida Boyacá, Avenida Carrera 86 y la Carrera 100, escogido este tramo para realizar el análisis por micro simulación.

En las figuras 1 y 2, se encuentran las imágenes de georreferenciación del área donde se realizó el respectivo estudio

Figura 3 Localización geográfica Bogotá-Colombia



Figura 3: Fuente. Imágenes tomadas de Google Maps

Figura 4 Tramo de estudio

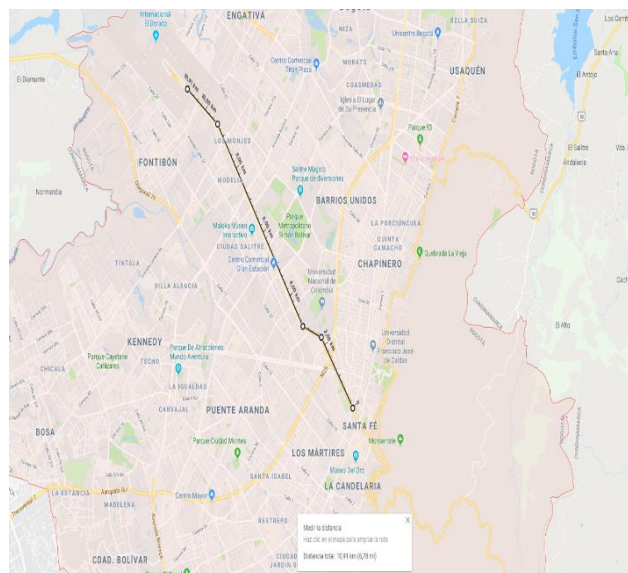


Figura 4: Fuente. Imágenes tomadas de Google Maps

### 5.1.2. Descripción de la zona

La geometría que presenta el área de estudio se describe de la siguiente forma:

*Tabla 1. Características vía*

	Tipo de vía	Sentido	Tipo de Calzada	N. carriles	Carriles transmilenio
Avenida Calle 26	Bidireccional	Este-Oeste	Multicalzada	5	Presenta (Terminando la Avenida Carrera 86 se encuentra el Portal el Dorado)
Avenida Caracas	Bidireccional	Norte-Sur	Doble calzada	4	Presenta
NQS	Bidireccional	Norte-Sur	Multicalzada	8	Presenta
Avenida Carrera 50	Bidireccional	Norte-Sur	Multicalzada	4	No presenta
Carrera 68	Bidireccional	Norte-Sur	Multicalzada	6	No presenta
Carrera 70	Bidireccional	Norte-Sur	Multicalzada	6	No presenta
Avenida Boyaca	Bidireccional	Norte-Sur	Multicalzada	10	No presenta
Avenida Carrera 86	Bidireccional	Norte-Sur	Multicalzada	6	No presenta
Carrera 100	Bidireccional	Norte-Sur	Doble calzada	2	No presenta

Nota: Se identifican los puntos de acceso al aeropuerto, como se observa, el tráfico se distribuye en 5 carriles, dos carriles rápidos, dos carriles lentos y un carril de Transmilenio, los cuales distribuyen los vehículos particulares, taxis, buses y camiones. Elaboración Propia.

Figura 5. Avenida Calle 26



Figura 5: Fuente, Google Maps de la Avenida Calle 26 acceso directo al BOG.

Figura 6. Avenida Boyacá



*Figura 6: Fuente. Google Maps de la avenida de Boyacá con intersección a la avenida calle 26, tomando este como punto referente de ingreso vehicular hacia el acceso vial el dorado esta avenida tiene 2 calzadas por sentido de 3 carriles.*

Figura 7. Carrera 70



*Figura 7: Carrera 70 con calle 26. Esta carrera tiene 2 calzadas 1 por sentido y cada calzada de 3 carriles. Fuente. Google Maps*

Figura 8. Carrera 68



Figura 8 Avenida Carrera 68 en el punto de intersección con la calle 26. La carrera 68 tiene 5 carriles y una calzada, una por sentido. Fuente Google Maps

Figura 9. Avenida Carrera 50



Figura 9: avenida carrera 50 a la altura de la intersección con la 26 tiene 3 carriles por cada calzada y 1 calzada por sentido. Fuente. Google Maps

Figura 10. Avenida Carrera 30



*Figura 10 avenida carrera 30 es de las principales avenidas que alimentan la calle 26 con 6 carriles por calzada con dos calzadas 1 por sentido además dos carriles exclusivos de Transmilenio por cada sentido. Fuente. Google Maps*

Figura 11. Avenida Caracas



*Figura 11: imagen de la avenida caracas. Esta esta compuestas por dos calzadas de dos carriles y dos calzadas exclusivas de Transmilenio 1 calzada por sentido. Fuente. Google Maps Av. Caracas*

## **5.2. Modo de transporte**

Esta entendido como el desplazamiento de objetos o personas de un lugar (punto de origen) a otro (punto de destino) en un vehículo (medio o sistema de transporte) que utiliza una determinada infraestructura (red de desplazamiento). Estos se pueden clasificar como: aéreo, fluvial, terrestre y férreo.

Para lograr comprender la movilidad hacia el Aeropuerto el Dorado se ampliarán los modos de transporte que se encuentran en Bogotá:

- **Terrestre**

Se define como la movilización de personas u objetos a un destino específico que se comprende por medio de por vías, carreteras, autovías, caminos veredales utilizando para este fin ruedas. Los medios de transporte son automóviles, buses, camiones y tractocamión.

## **5.3. Transporte en Bogotá**

### **5.3.1. Transporte público**

El transporte público es aquel transporte que opera con rutas fijas y horarios predeterminados que pueden ser utilizados por cualquier persona a cambio del pago de una tarifa que ya ha sido establecida.

- **Transmilenio**

Transmilenio es una empresa de Transporte del Tercer Milenio, siendo el ente gestor del sistema de transporte público masivo intermodal de pasajeros de la ciudad de Bogotá.

- **SITP**

SITP, definido como Sistema Integrado de Transporte Público que se estableció mediante el Decreto 309 de 2009, se encuentra organizado de tal manera que ofrece al usuario

todos los servicios que necesite combinar para llegar a su lugar de destino incluyendo urbano, especial, complementario, troncal y alimentador.

- **Taxis**

Este servicio es un sistema de transporte que se brinda a cambio de una tarifa proporcionada por una empresa generalmente provista de un taxímetro de tal manera que se ajustan al deseo de la movilidad del usuario.

- **Intermunicipal**

Se define como transporte intermunicipal el que se presta para viajar como su nombre lo indica entre municipios.

- **Bus Satélite**

El bus satélite es un medio de transporte brindado por el aeropuerto para movilizarse de manera gratuita entre las terminales y cuenta con paradas a lo largo de la zona aeroportuaria.

- **Informales**

Como medios informales se definen aquellos que no se encuentran registrados ante el Ministerio de Transporte en los que se encuentran involucrados autos particulares motocicletas, incluso hasta bicicletas que ofrecen un servicio sin ningún ayuda de ninguna plataforma.

## **6. Análisis de información secundaria y bases de datos**

### **6.1. Análisis de volúmenes**

Se realiza el análisis de volúmenes por cada una de las intersecciones de la calle 26:

Tabla 2. Intersecciones

<b>ZONA DE ESTUDIO-</b>
Avenida Caracas con Calle 26
NQS con Calle 26
Avenida Carrera 50 Calle 26
Carrera 68 Calle 26
Carrera 70 Calle 26
Avenida Boyaca Calle 26
Avenida Carrera 86 Calle 26
Carrera 100 Calle 26
Retorno Aeropuerto

Fuente. Propia

Se presentan los resultados de la distribución vehicular y composición de cada una de las zonas de estudio; usados para realizar el siguiente análisis:

- Avenida Caracas/Calle 26:

El grafico de barras nos muestra La distribución vehicular en la intersección el cual podemos abstraer información como la hora de máxima demanda en la cual se presenta en el periodo de 7 a 8 de la mañana donde registra que a las 7 am hay 8697 vehículos en la intersección.

Figura 12 Distribución Vehicular horaria Avenida Caracas con Calle 26

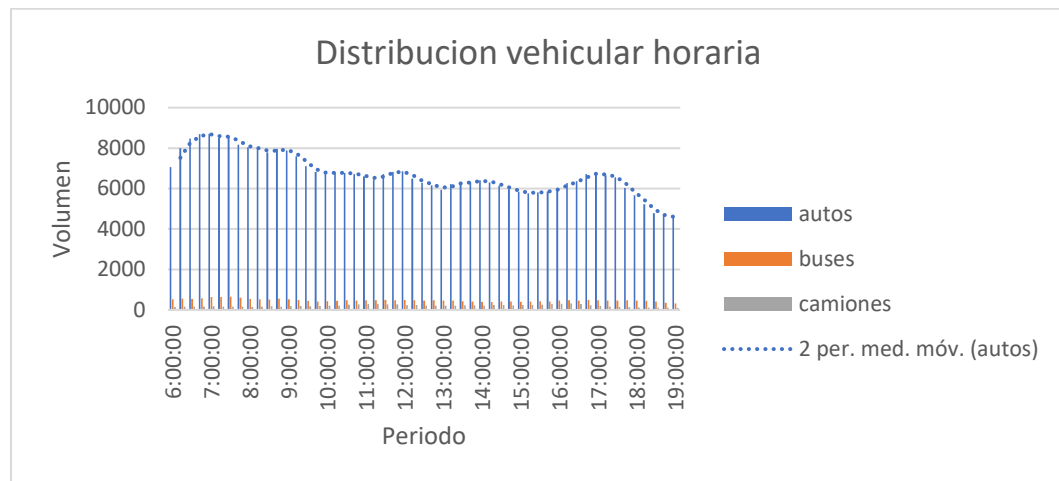


Figura 13 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

Respecto a su composición vehicular se observa que el porcentaje de buses y camiones en la intersección es mínimo predominando el transporte particular.

Figura 14 Composición vehicular Avenida Caracas con Calle 26



Figura 15 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

- Avenida 68/Calle 26 AK 68

El grafico de barras siguiente muestra La distribución vehicular de la intersección de la calle 26 con la avenida carrera 68 el cual podemos abstraer información como la HMD (hora de máxima demanda) en la cual se presenta en el periodo de 4 a 5 de la tarde donde registra que en ese intervalo pasan 4143 vehículos en la intersección.

Figura 16 Distribución vehicular avenida 68 con calle 26

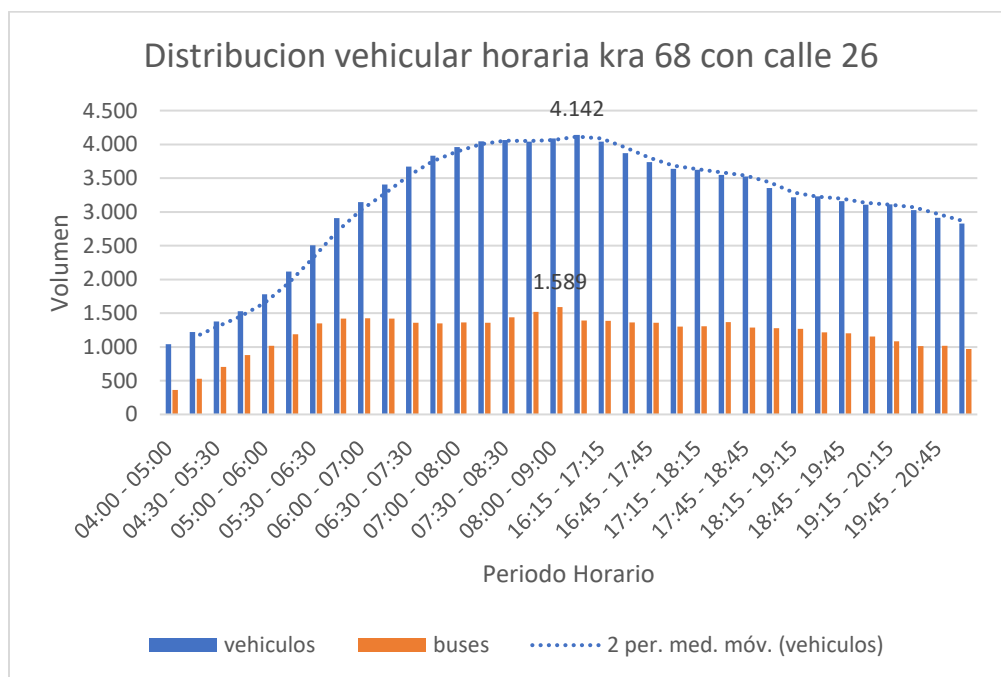


Figura 17 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

Su composición vehicular es de autos 69% y de buses con un 31% en cual se considera que hay una cifra significativa de transporte colectivo en la zona

Figura 18 Composición vehicular avenida caracas con calle 26

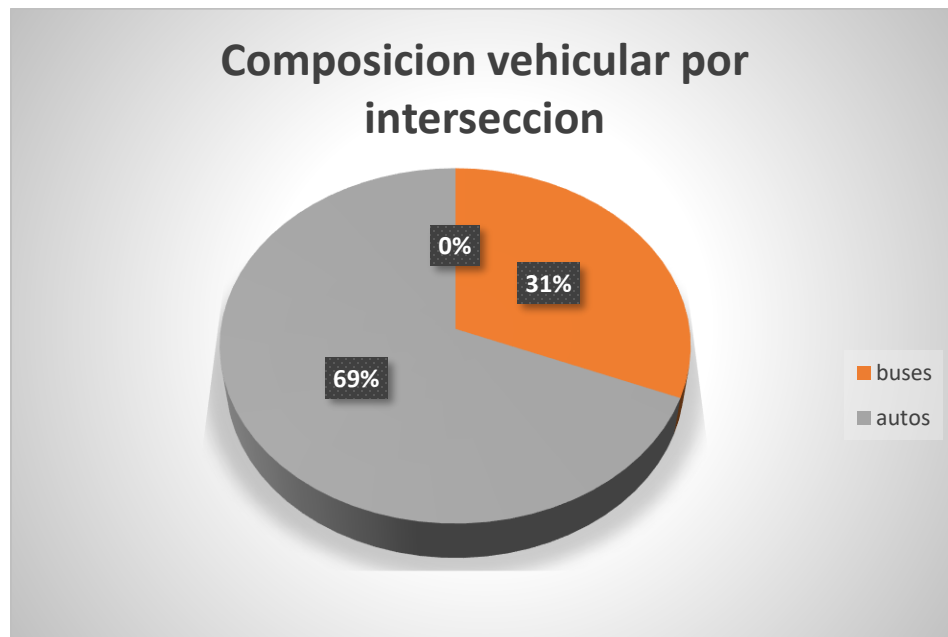


Figura 19 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

- Avenida Kra 72/Calle 26

Figura 20 Distribución vehicular avenida 72 con calle 26

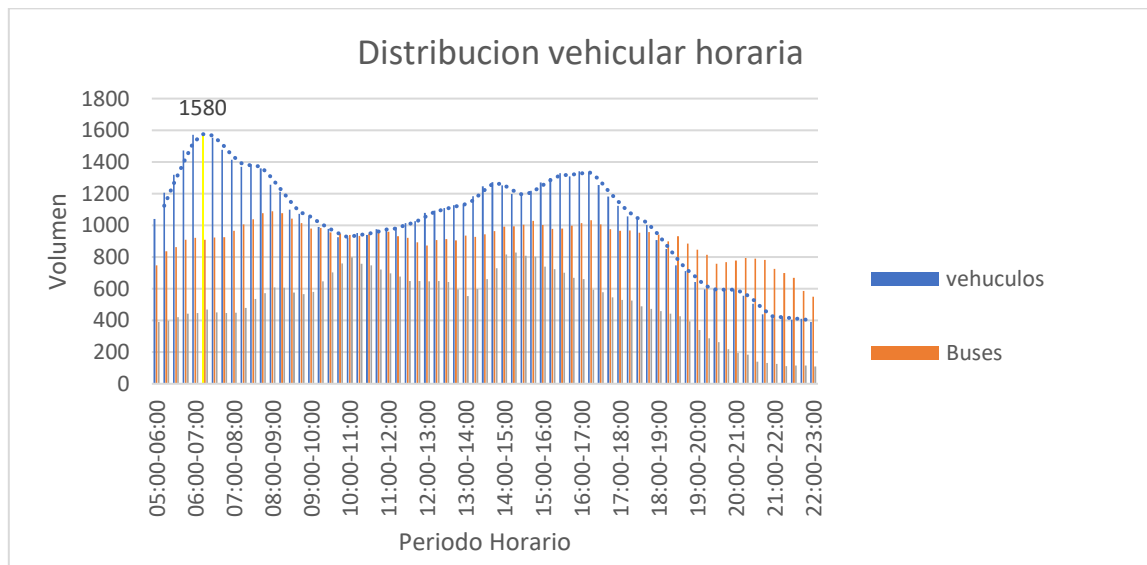


Figura 21 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

Distribución vehicular de la avenida Kra 72 con calle 26 en la gráfica de distribución vehicular que su composición de buses camiones y vehículos es no es tan lejana por lo que se puede decir que hay un porcentaje importante de camiones y buses a la altura de esta intersección la HDM de la intersección se encuentra a las 6 de la mañana hay un registro de 1580 vehículos

Figura 22 Composición vehicular avenida 72 con calle 26

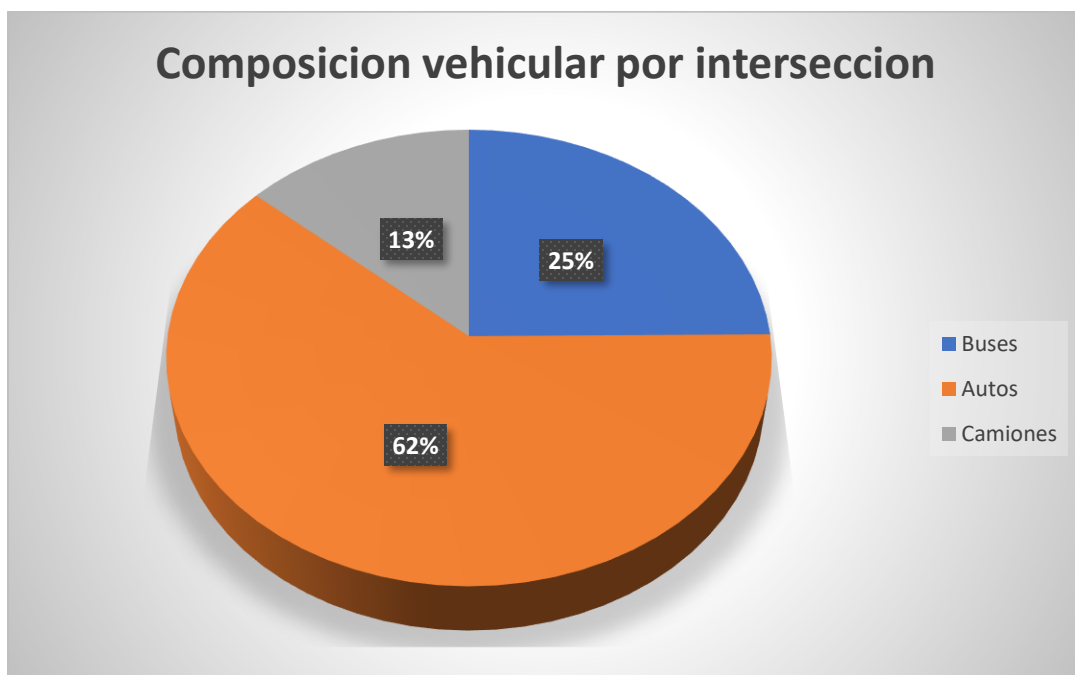


Figura 23 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

En su composición vehicular se ve un gran porcentaje de buses y camiones el cual esto mismo influye en el flujo vehicular de esta misma zona.

- Retorno/Calle 26

Figura 24 Distribución vehicular retorno calle 26

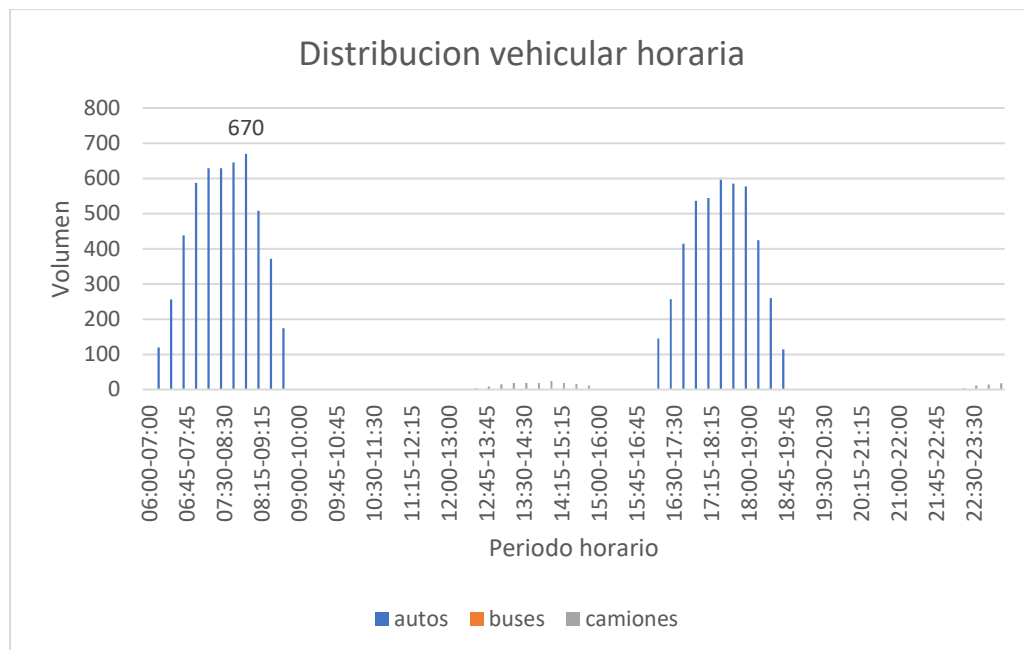


Figura 25 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

- En la altura del retorno de la avenida el dorado solo se observa que hay vehículos con un porcentaje muy pequeño de buses y no hay camiones que registrados los periodos de mayo volumen de autos son de 6 a 8 am y de 4 a 6 de la tarde su hora de máxima demanda es a las 8 el cual se registra un volumen.

Figura 26 Composición vehicular avenida 72 con calle 26

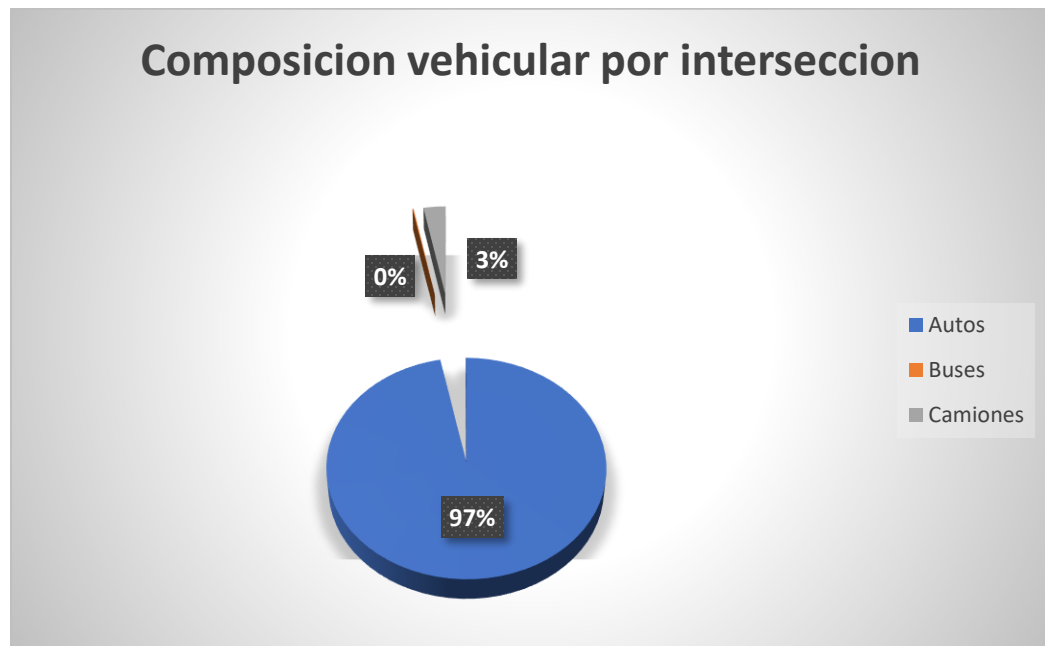


Figura 27 Fuente. Secretaria distrital de movilidad

## 6.2. Análisis de velocidades de recorrido

A partir de la información suministrada por la Secretaria Distrital de Movilidad se obtuvo información de velocidades, para el caso de la Avenida el Dorado se observa que la velocidad promedio de las intersecciones es superior a los 20 km/h no excediendo los 60 km/h, con excepción de la **Avenida Carrera 86, Avenida Boyacá y la Carrera 68** que el límite de velocidad es de 50 km/h.

Tabla 3. Velocidades

<b>INTERSECCION</b>	<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>VELOCIDAD KM/H</b>
Avenida Caracas	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	
NQS	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	
Avenida Carrera 50	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	
Carrera 68	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	
Carrera 70	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	
Avenida Boyacá	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	

Avenida Carrera 86	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	
Carrera 100	Liviano	
	Bus	
	Motocicleta	

*Tabla 4 Fuente. Elaboración Propia*

Tabla 5 Velocidades

Velocidad Promedio Superior a 20 Km/h	
Velocidad Promedio entre 10 y 20 Km/h	
Velocidad Promedio inferior a 10 Km/h	

*Tabla 6 Fuente. Secretaria Distrital de Movilidad*

Figura 28 Esquema zona de estudio

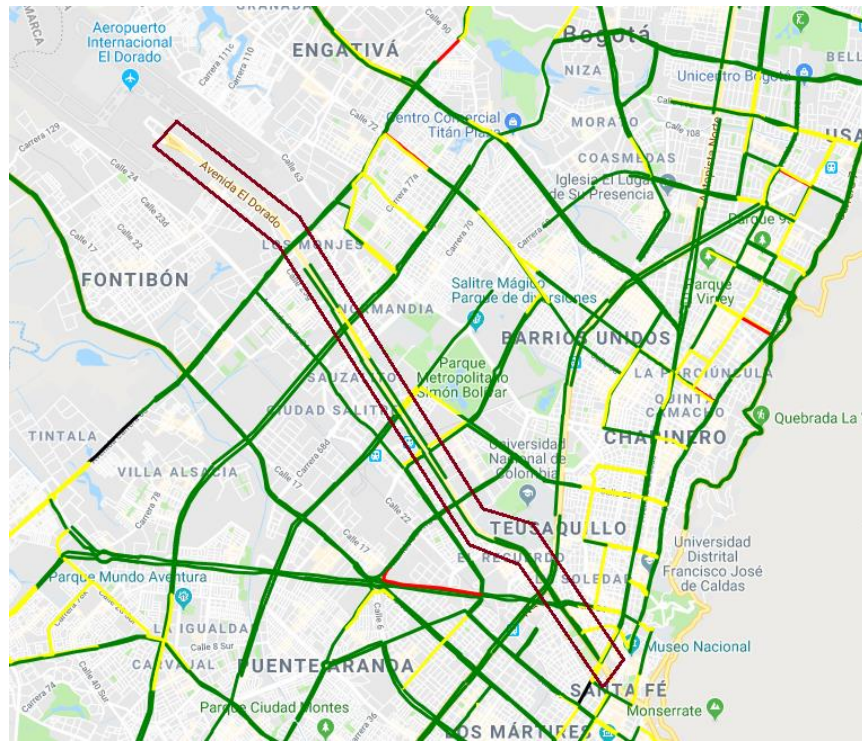


Figura 29 Fuente. Simur Mapa de Movilidad

El análisis se realiza con un promedio de las velocidades de recorrido que se manejan en los tramos dentro del área de estudio para tener en cuenta a la hora de realizar la respectiva simulación, teniendo como velocidad promedio de 35km/h.

### 6.3. Transporte disponible para movilizarse al Aeropuerto el Dorado

Dentro del área de estudio se realizaron los respectivos conteos de paraderos de transporte público (SITP), las cuales se distribuyen a lo largo de la Avenida el Dorado:

### 5.0.1. SITP y aeropuerto El Dorado

Los paraderos del SITP se ubican estratégicamente en diferentes puntos de la ciudad y son los únicos puntos autorizados donde un bus del SITP puede detenerse y el usuario puede tomar un servicio. A continuación, se mostrarán los paraderos, identificadas con su nombre:

*Tabla 7. Paraderos SITP*

<b>PARADEROS DE SITP</b>	
<b>Avenida Caracas-Aeropuerto el Dorado</b>	<b>Aeropuerto el Dorado-Avenida Caracas</b>
AC 26 - Kr 16	CAC
AC 26 - Kr 19	Aeronautica Civil
AC 26 - Kr 23	AC 26 - AK 103
AC 26 - Av. Nqs	431A06
AC 26 - Kr 36	AC 26 - AK 96
AC 26 - Kr 39	AC 26 - AV. C. de Cali
AC 26 - Kr 44A	AC 26 - Kr 85D
AC 26 - Kr 45	AC 26 - KR 69D Bis
AC 26- Kr 54	AC 26 - Kr 74
AC 26- Kr 59	AC 26 - KR 69D Bis
AC 26 - AK 68	Kr 91 - CI 20A
AC 26 - KR 68B Bis	AC 26 - Kr 68B
AC 26 - AK 70	AC 26 - Kr 68 D
AC 26 - Kr 74	AC 26 - AK 68
AC 26 - Kr 82	AC 26 - Kr 66
AC 26 - Kr 85D	AC 26 - Kr 60
AC 26 - AV. C. de Cali	AC 26- Kr 51
038A05	AC 26 - Kr 59
AC 26 - Tv 93	AK 50-AC 26
484A05 ET	AC 26 - Kr 45
378A05	AC 26 - Kr 36
194A05	AC 26 - Kr 32A
AC 26 - Kr 106	AC 26 - Av. Nqs
CL26 - KR106	AC 26 - Kr 25
	AC 26 - Kr 19B
	AC 26 - Kr 18

*Nota:* paraderos del SITP Fuente. Google Maps

## **7. Modelación en el software Vissim**

Para la modelación se tienen en cuenta las siguientes condiciones:

- Tramos de inicio y fin
- Conectores entre tramos (cierre de carril e incorporación de carril).
- Paradas actuales de las rutas del SITP (longitud y ubicación)
- Ancho de los carriles (3.50m)
- Porcentaje de flujo vehicular que hace los retornos presentes en la vía. Volúmenes de tráfico pesado y vehicular que entra al Aeropuerto el Dorado.
- Porcentaje vehiculares que se distribuye en las diferentes intersecciones hacia el Aeropuerto el Dorado.
- Volumen de trabajadores que se dirigen hacia el aeropuerto.

Una vez comprendidos los datos de entrada, se procede a realizar la modelación de la zona de estudio.

### **7.1. Guía para la modelación en Vissim**

1. El software Vissim ofrece una imagen satelital del sistema vial, detallando todos los carriles, los cambios de carril, intersecciones y demás, esta es una gran ayuda a la hora de dibujar la estructura vial, como se indica a continuación.

Figura 30 Imagen satelital

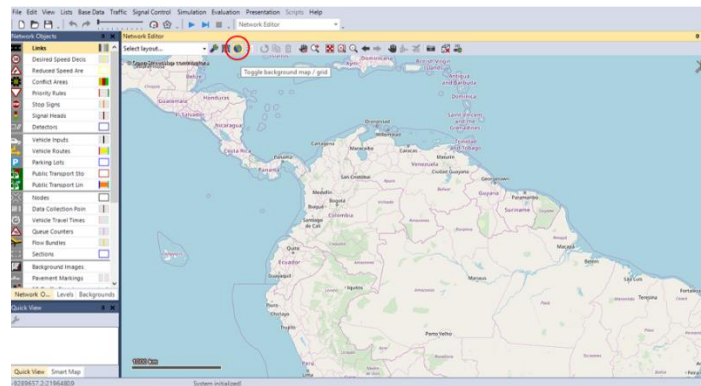


Figura 31 Fuente. Elaboración Propia

Dentro del programa se procede a dar clic en la opción **Toggle background map / Grid**, donde automáticamente desplegara en la pantalla una imagen satelital.

2. Una vez la imagen visualizada se procese a buscar buscar la zona de estudio, que en este caso en la Avenida Calle 26, se escala a preferencia para asi poder visualizar con mas detalle la zona a trabajar.

Figura 32 Infraestructura vial

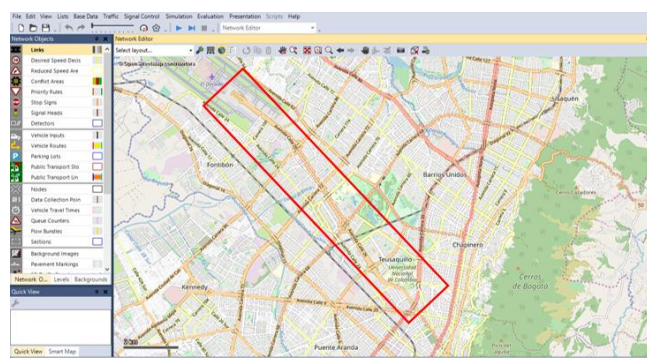


Figura 33 Fuente. Elaboración Propia

3. En la parte izquierda de la pantalla aparecerán las herramientas con las que trabaja el software, incluyendo así cada uno de los parámetros establecidos anteriormente.

Figura 34 Herramientas Software

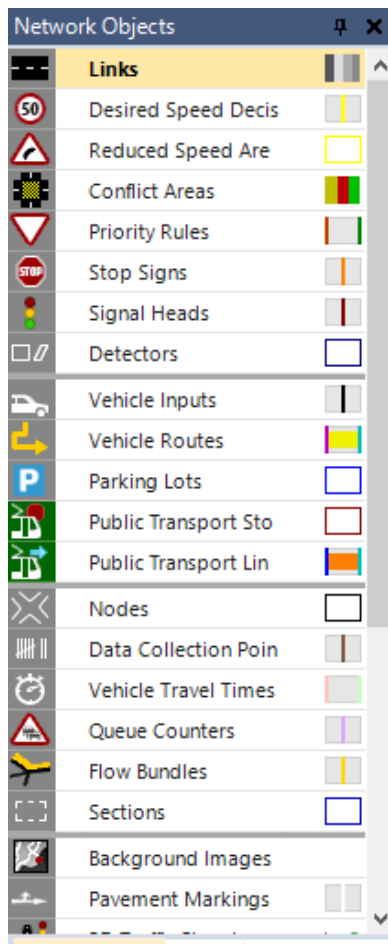


Figura 35 Fuente. Elaboración Propia

4. Una vez localizada la zona de estudio se procede a dibujar la infraestructura vial (calzadas viales), utilizando la imagen satelital como plantilla.

Figura 36 Links

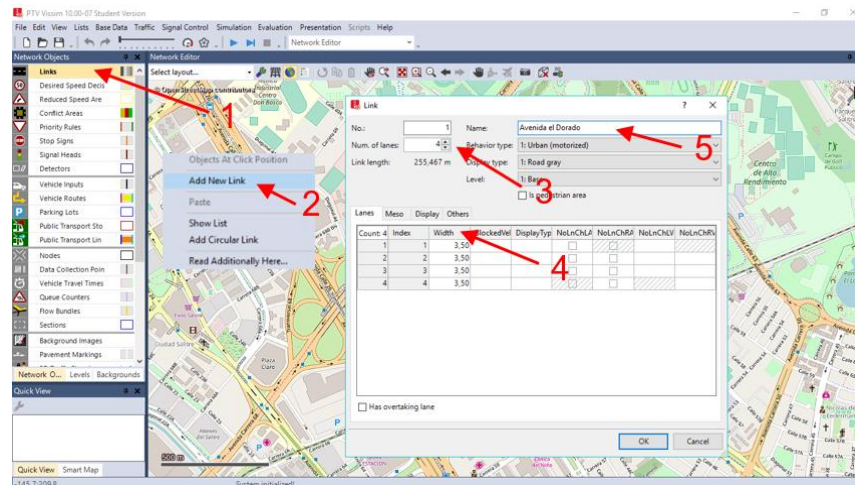


Figura 37 Fuente. Elaboración Propia

En la barra de herramienta se procede a dar clic la opción **links (1)**, ya selecciona se da clic derecho sobre la zona de trabajo, donde emergera una ventana, seleccionamos la opción **Add New Link (2)**, donde amegera otra ventana, donde se encontraran varias características de la via, que son siguientes: **Num. Of lanes (3)** numero de carriles que presenta la via , **Width (4)** ancho de la via, **Name (5)** nombre de la via. Una vez completados estos parametros le damos clic en **OK**.

5. Paso seguido se procede a insertar a los **links** los volúmenes vehiculares.

Figura 38 Creación de links

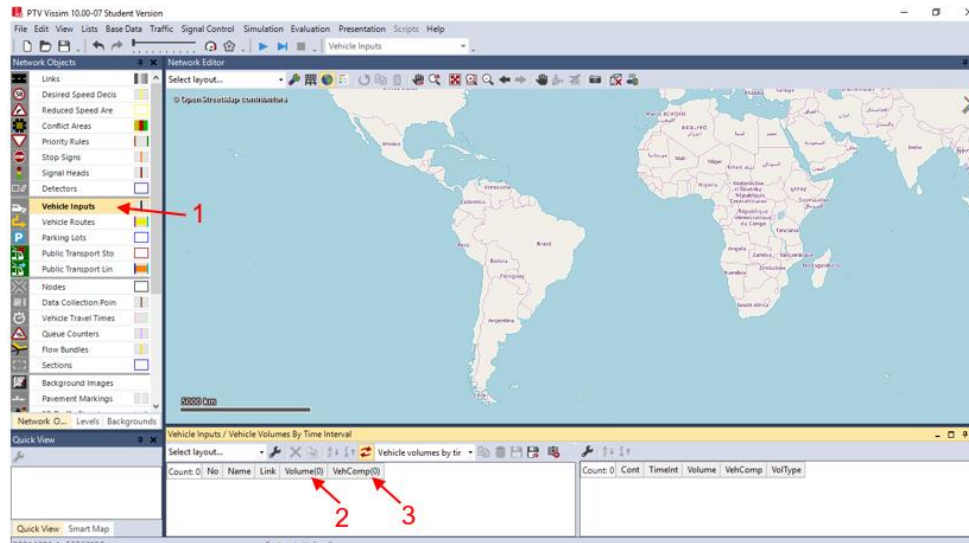


Figura 39 Fuente. Elaboración Propia

Nos dirigimos a la barra de herramientas y dar clic sobre la opción **Vehicle Inputs (1)**, luego se dirige hacia el **link** al que se le desea introducir este volumen, se selecciona y se da clic derecho sobre este, aparecerá un cuadro en la parte inferior, donde se introducirá el volumen vehicular deseado en la opción **Volume (2)**, se seleccionara la composición vehicular **VehComp (3)**, se repetirá para cada uno de los **links** a los que se le desee agregar un volumen.

6. Arrastramos con el mouse el **link**, creado hasta la distancia que deseamos. Si se desean crear mas **links** se efectuan los mismos pasos, teniendo en cuenta que los **links** no se pueden unir con el otro.

Figura 40 Link

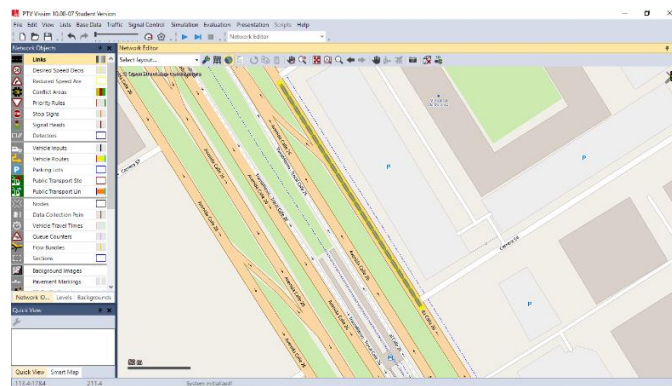


Figura 41 Fuente. Elaboración Propia

7. Una vez desplazado el link hasta el final, soltamos el clic y quedara dibujada la calzada con su respectivo sentido de flujo, como se muestra en la figura 15.

Figura 42 Sentido y carriles del link

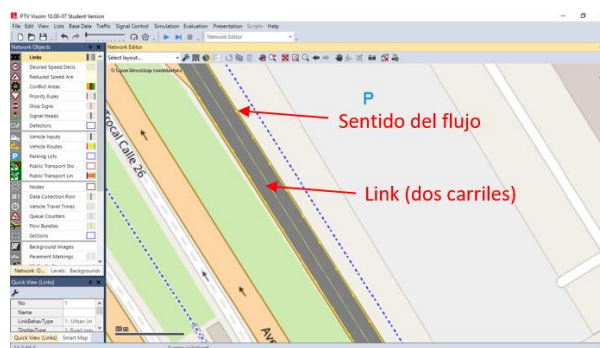


Figura 43 Fuente. Elaboración Propia

8. Una vez dibujados los links necesarios, se procede a conectarlos entres si, en el caso que tenga desvíos, aumento o disminución de carriles, intersecciones.

Figura 44 Conectores

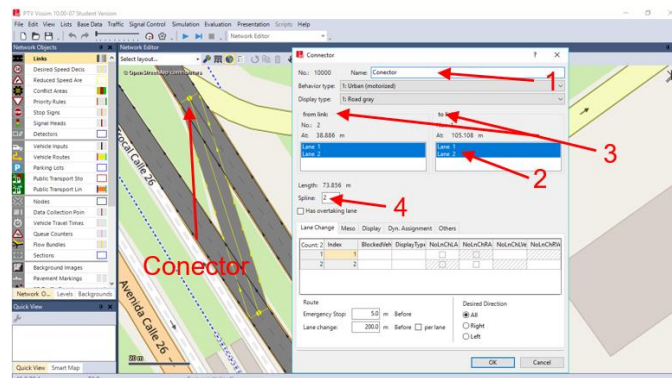


Figura 45 Fuente. Elaboración Propia

Dando clic derecho sobre un link, este se arrastra con el mouse hacia el otro link que se desea unir, teniendo en cuenta que estos deben tener el mismo sentido de flujo, en el caso de intersecciones se puede arrastrar desde cualquier parte del link, sin importar si es inicio o fin, una vez conectados los links emergerá una ventana, donde saldrá **Name (1)** nombre del conector, subrayado en azul los carriles **lane (2)** que se están uniendo, los cuales se deben verificar según el número **from link/ to link(3)**, **Spline (4)** se suaviza la curva para que se tenga una mayor geometría, y así con cada uno.

9. Una vez hechos todos los **links** y los **connectors**, se procederá a dibujar los sistemas de parada (semáforos) para cada uno de los **links** necesarios.

Figura 46 Sistema de parada

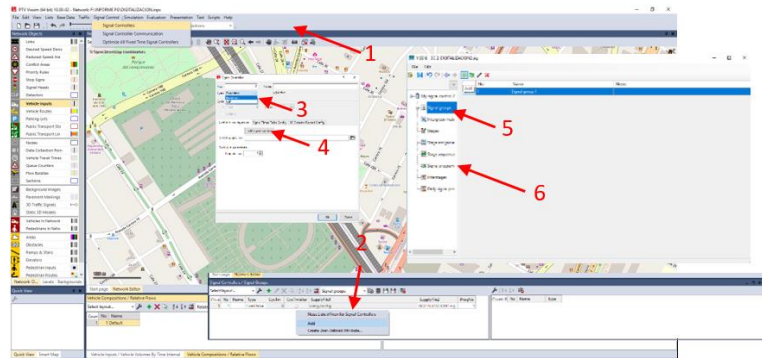


Figura 47 Fuente. Elaboración Propia

Para lograr controlar el tráfico utilizamos los semáforos para que permita el flujo de los vehículos en todos los sentidos, para esto nos **dirigimos signal control (1)**, y en la ventana emergente damos clic derecho **Add(2)**, en la ventana **signal control** encontraremos **Type (3)** (el tipo de control de semáforo), que en este caso será un semáforo de tipo fijo, es recomendable colocarle nombre de la intersección a que se le desea controlar el tráfico.

A continuación, se da clic en el **botón Edit signal control (4)**, estando en la opción **signal groups (5)**, damos clic en el signo “+” nos permite generar nuevos grupos de señal, generando un nuevo **signal program (6)**.

Figura 48 Configuración sistema de parada

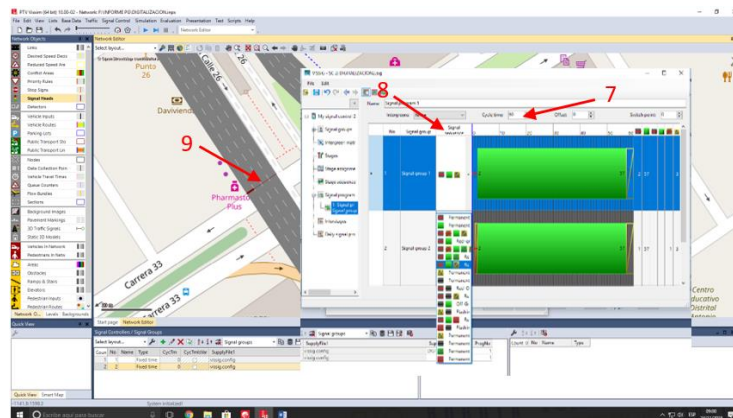


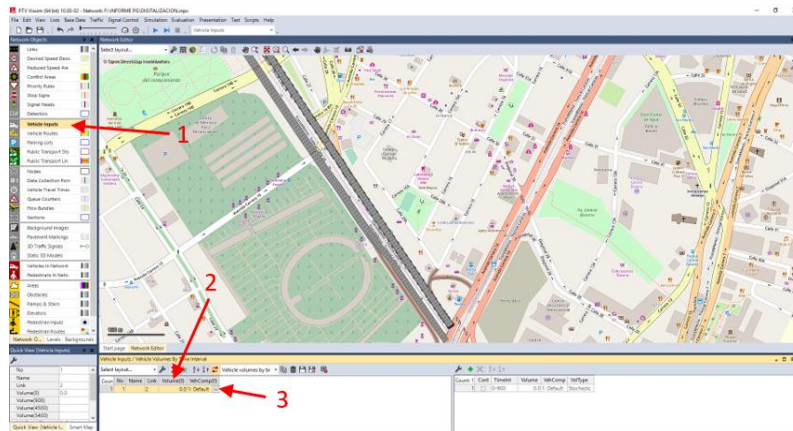
Figura 49 Fuente. Elaboración Propia

Se cambia el tiempo se ciclo de cada control **Cycle time (7)**, y se tendrá una **Signal sequence (8)** secuencia de luces rojo, amarillo y verde, y se procede a modificar los tiempos de luz. Por último, se procede a insertar los semáforos en la intersección requerida **(9)**.

10. Una vez hechos todos los **links** y los **connectors**, se ingresarán los volúmenes vehiculares para cada uno de los **links**, no sin antes ingresar la composición vehicular que está distribuida en livianos, buses y camiones.



Figura 51 Volúmenes en links

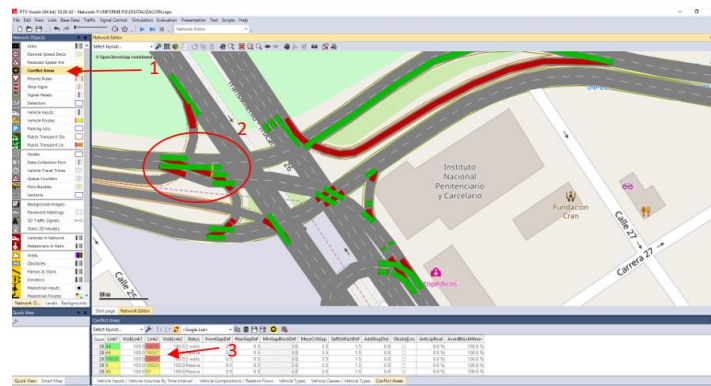


Fuente. Elaboración Propia

Nos dirigimos a la barra de herramientas y dar clic sobre la opción **Vehicle Inputs (1)**, luego se dirige hacia el **link** al que se le asignara el volumen, se selecciona y se da clic derecho sobre este, seleccionará la opción **Add New Vehicle Input**, con este se desplegará un cuadro en la parte inferior, donde se introducirá el volumen vehicular deseado en la opción **Volume (2)**, se seleccionara la composición vehicular antes creada **VehComp (3)**, esto se realizara con cada uno de los **links**.

12. Se procede a identificar las zonas de conflicto en cada intersección e intersección, diseñadas anteriormente, en las que se tendrá en cuenta la prioridad que tiene cada **link** sobre el otro, para que no se generen conflictos al momento de generar la simulación.

Figura 52 Zonas de conflicto



Fuente. Elaboración Propia

Nos dirigimos a la barra de tareas y damos clic en la opción **Conflict Areas (1)**, al hacer clic aparecerá sobre los **links** de color amarillo las zonas de posible conflicto que significa que no hay ninguna prioridad para los vehículos y el programa determinará automáticamente la prioridad de los vehículos por esta zona **(2)**, después de esto se procederá a cambiar las prioridades en estas zonas, dando clic derecho sobre las zonas que desee cambiar, intercambiando entre verde que dará prioridad absoluta, el rojo que significa que no va tener prioridad y el amarillo que se mencionó anteriormente, en la parte inferior también se puede cambiar la prioridad en cada carril dándole clic a cada **link (3)**, este proceso se debe repetir en cada área de conflicto.

13. Para el caso de este proyecto en la búsqueda de problemas, es necesaria la creación de rutas de transporte público, en el que se tendrán en cuenta las paradas que se encuentran en el área de estudio.

Figura 53 Ruta de transporte publico

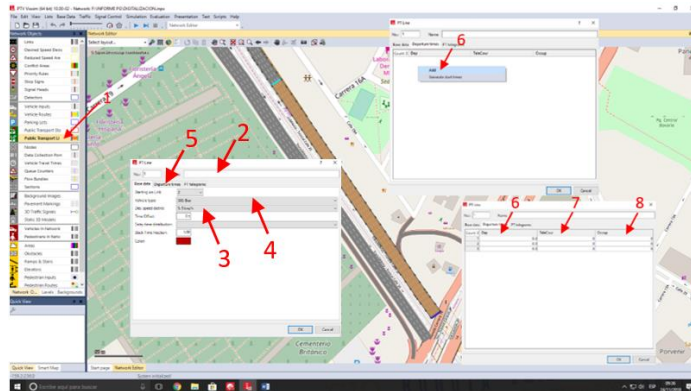


Figura 54 Fuente. Elaboración Propia

Para asignar la ruta de transporte, nos ubicamos en la barra de tareas, y seleccionamos la opción **Public Transport Line (1)**, se procede a dar clic derecho sobre el **link** que se le desea asignar la ruta y se procede a extender la ruta, una vez extendida la ruta emergerá una ventana en la que se nombrará la ruta de transporte(2), se seleccionará el tipo de vehículo (3), se asignará la velocidad deseada para estos vehículos(4), al terminar se procede a dar clic en la pestaña **Departure Times (5)**, automáticamente se desplegará otra ventana emergente, en la que se dará clic derecho para agregar un número determinado de salidas (6), una vez introducida la cantidad de salidas, se añadirá el tiempo de salida, donde se empezará en cero en segundos(7), se determina la cantidad de pasajeros que va a transportar cada vehículo **Occup (8)**, luego de esto se da clic en **OK**

14. Al tener la ruta de transporte público, se asignarán las respectivas paradas.

Figura 55 Paradas de transporte publico

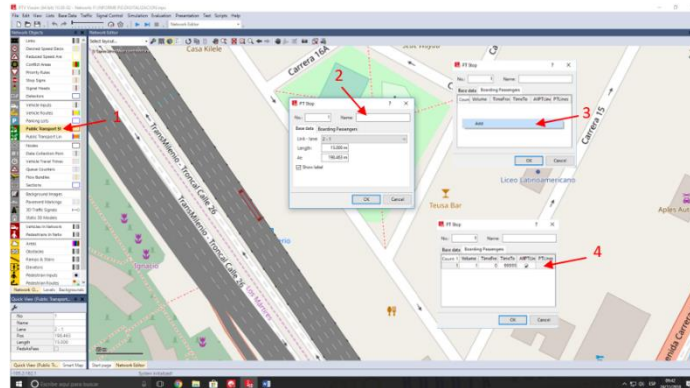


Figura 56 Fuente. Elaboración Propia

Para asignar las paradas, nos ubicamos en la barra de tareas y se selecciona la opción **Public Transport (1)**, nos ubicamos en la parada a construir dando clic derecho, automáticamente emergerá una ventana en la que se introducirá el nombre que deseamos a la parada **(2)**, se entrara a la pestaña **Boarding passengers (3)**, donde se desplegará una nueva ventana emergente y dando clic derecho creamos la opción cargue y descargue de pasajeros **Add (4)**, por ultimo damos **OK**.

15. Ya terminada la modelación procedemos a activar las paradas creadas dentro de las rutas de transporte para que los vehículos de transporte público.

Figura 57 Activación de paradas

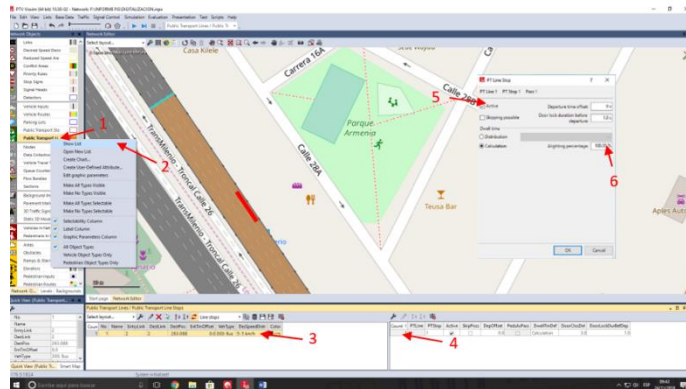


Figura 58 Fuente. Elaboración Propia

Para realizar la activación de las paradas, nos ubicamos en la barra de tareas y se selecciona la opción **Public Transport Line(1)**, luego se da clic izquierdo sobre esta opción y seleccionamos **Show List(2)**, se desplegará una ventana emergente en la parte inferior en la que aparecerá la ruta anteriormente construida **(3)**, en la ventana siguiente se dará doble clic sobre la parada **(4)**, emergerá otra pestaña en la que se activará la parada con la opción **Active (5)**, se asignará el porcentaje de personas que deja en vehículo en esta parada en la opción **Alighting Porcentage(6)**, para finalizar se da **OK**.

16. Para finalizar con la modelación en el Software y poder analizar los tiempos de viaje, se genera una ruta de análisis del tiempo.



Figura 61 Configuración de modelo

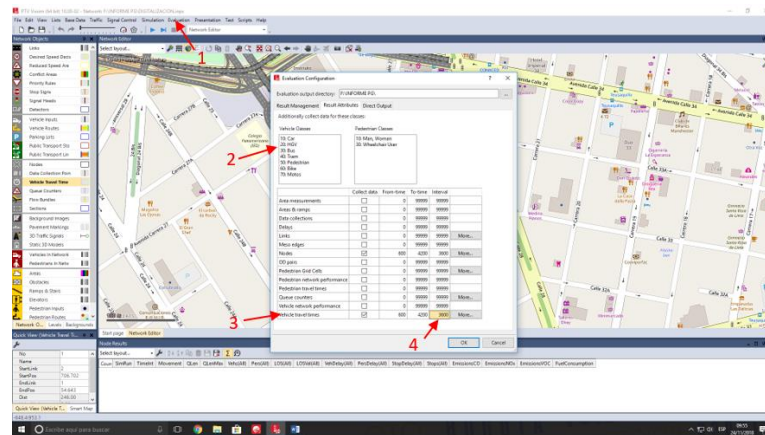


Figura 62 Fuente. Elaboración Propia

Para la configuración del modelo, se selecciona en la barra de herramientas la opción **Evaluation**(1), y luego se da clic en **Configuration**, donde se desplegará una ventana emergente, en la que se debe seleccionar el tipo de vehículo que se desea analizar(2), también se activará el tipo de análisis que se hará en este caso se activa la opción **Vehicle Travels Time** (3), por último se verificará el tiempo desde el cual se hará el análisis y hasta que tiempo tardará (4), por último se da **OK**. Para realizar la correcta simulación se procede a establecer los parámetros.

Figura 63 Parámetros

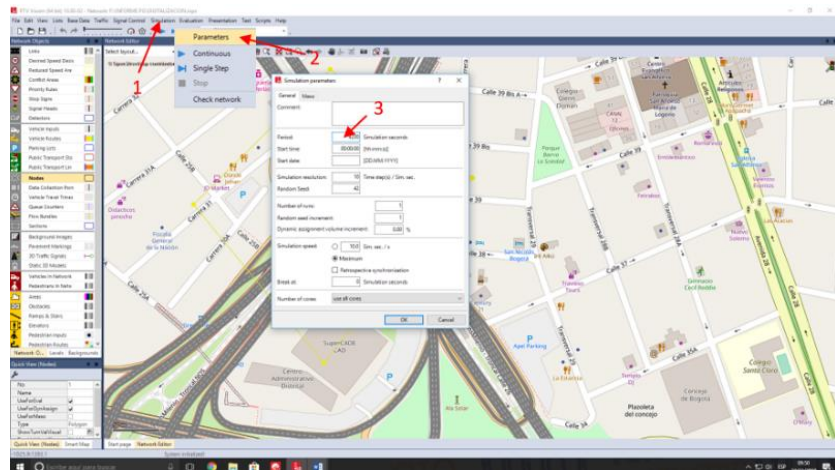


Figura 64 Fuente. Elaboración Propia

Para obtener los datos de tiempos de viaje, damos clic en barra de herramienta en la opción **Simulation** (1), y luego en **Parameters** (2), emergerá una ventana donde estarán se establecerá el periodo a estudiar **Period** (3).

18. Se procede a correr la simulación y el análisis de tiempos arrojados por el Software

Figura 65 Resultados

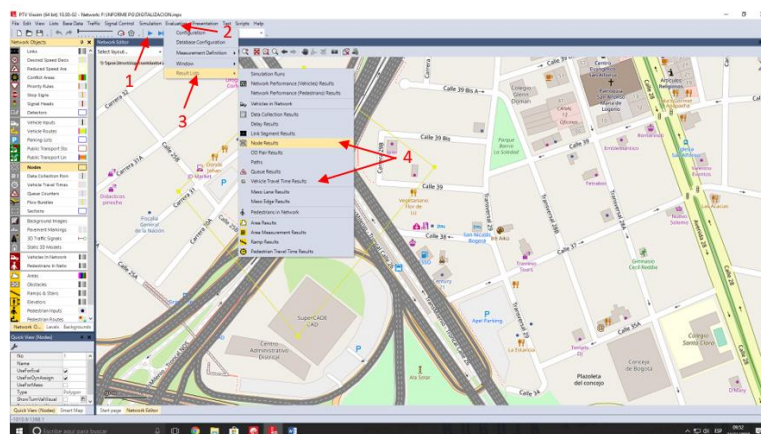


Figura 66 Fuente. Elaboración Propia

Para obtener los datos de tiempos de viaje, damos clic en la barra de herramientas en la opción **Play(1)**, luego en la misma barra de herramienta se da clic en la opción **evaluation(2)**, luego en **Result List (3)**, dependiendo del análisis que estemos manejando damos clic en **Vehicle Travel Times Results o Nodes (4)**, después de esto emergerá una ventana donde estarán los datos de los tiempos de viaje en cada ruta, los cuales cambiarán con el pasar del tiempo y no pararán hasta detener la simulación, adicionalmente cabe resaltar que estos datos de resultado son los que ayudará al análisis de este proyecto.

## 8. Resultados

### 8.1. Generación de resultados micro modelo

#### 8.1.1. Nodos

Figura 67 Nodos

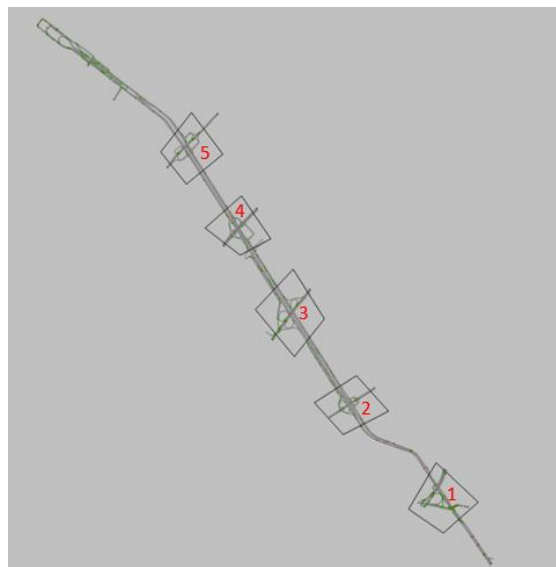


Figura 68 Fuente. Elaboración Propia

En esta simulación se toman todas las intersecciones para poder obtener información relevante, la evaluación de nodo está diseñada específicamente para recolectar información específica de la intersección sin la necesidad de definir manualmente todas las secciones transversales de recolección de datos. Los resultados en los nodos son agrupados por movimientos direccionales. Los resultados del modelo se pueden encontrar en el anexo 1.

### 8.1.2. Tiempos de viaje

En la siguiente gráfica se puede apreciar los tiempos de viajes de las diferentes intersecciones analizadas como lo son:

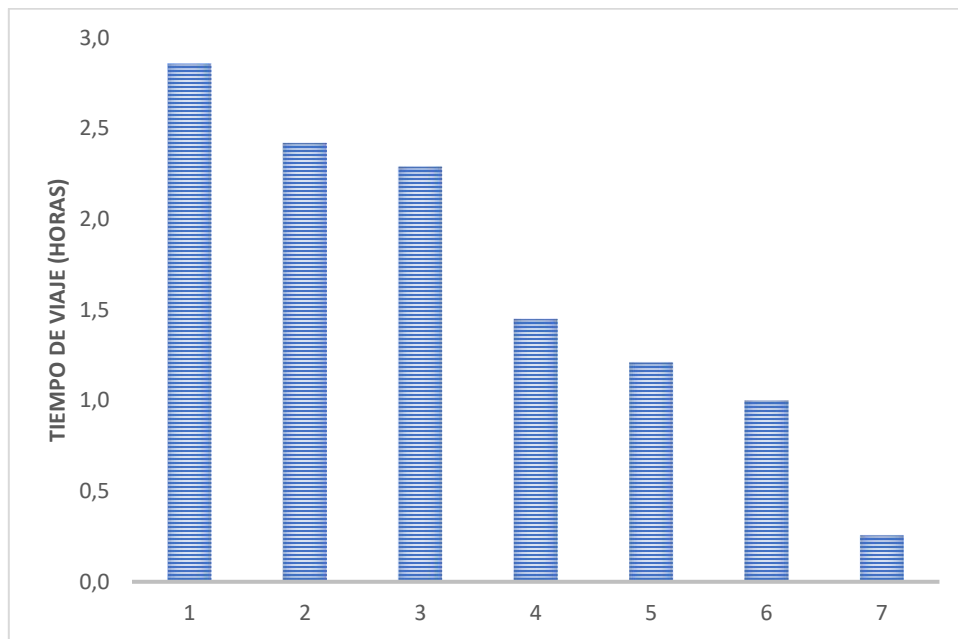
*Tabla 8 Inicio-Fin*

	<b>INTERSECCION</b>	<b>DESTINO</b>
1	Avenida Caracas	Aeropuerto el Dorado
2	NQS	
3	Avenida Carrera 50	
4	Carrera 68	
5	Carrera 70	
6	Avenida Boyacá	
7	Avenida Carrera 86	

*Nota:* Tabla de tramos inicio fin de cada intersección

Fuente. Elaboración Propia

Grafica 1 Tiempos de recorrido. Eje x mostrados en la tabla 6.



Grafica 2 Fuente. SOFTWARE Vissim

Este tiempo corresponde a lo que tarda un vehículo en trasladarse de un punto inicial a un punto final. Para la determinación del tiempo de viaje en las diferentes intersecciones es necesario identificar el punto de partida.

En la tabla 6 se puede observar el tiempo de viaje en el tramo de estudio, se observa que a mayor distancia su tiempo de recorrido es significativo, pero la distancia no es el problema notorio, a este tiempo se le suma la congestión causada por la alta demanda vehicular en las HMD, los semáforos y los paraderos de sistema de transporte público (SITP, buses, taxis). Se observa que los tramos de la Avenida Caracas hasta la Avenida Boyacá (carril lento), presentan dicha problemática con tiempos más extensos.

Tabla 9 Tiempos de viajes

Coun	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(All)	TravTm(All)	DistTrav(All)
1	11	600-360	1	4	655.36	10043.02
2	11	600-360	2	8	580.46	10292.06
3	12	600-360	1	29	718.99	10038.81
4	12	600-360	2	19	854.68	11137.09
5	Average	600-360	1	17	687.18	10040.92
6	Average	600-360	2	14	717.57	10714.58
7	Standard	600-360	1	18	45.00	2.97
8	Standard	600-360	2	8	193.90	597.53
9	Minimu	600-360	1	4	655.36	10038.81
10	Minimu	600-360	2	8	580.46	10292.06
11	Maximu	600-360	1	29	718.99	10043.02
12	Maximu	600-360	2	19	854.68	11137.09

Fuente. Software Vissim

## 9. Calibración

La calibración es un término de ajuste que se realiza a la codificación del modelo, parámetros y demanda con el fin de ayudar en el desarrollo preciso, La calibración es un proceso importante en la simulación del transporte al igual que la revisión general de la consistencia del modelo, En este caso, se utilizan los volúmenes mencionados a continuación, dichos volúmenes definen la calibración del modelo. (Transport Roads & Maritime Services, 2013, pág. 83)

Tabla 10 Volúmenes vehiculares

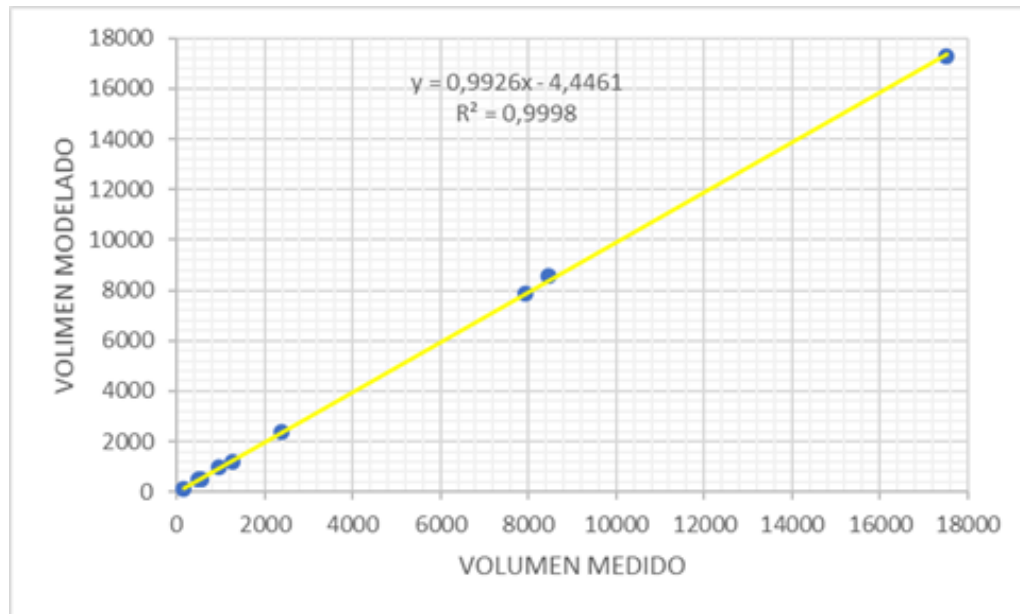
Ubicación	Tipo	Volumen modelado	Volumen medido
Kra 68	Autos	17515	17297
	Buses	7937	7876
Kra 72	Autos	2398	2384
	Buses	968	967
	Camiones	526	518
Kra 19	Autos	8471	8581
	Buses	542	499
	Camiones	159	137
Retorno	Autos	1256	1189
	Buses	506	486

Nota: Fuente. Elaboración Propia y secretaria distrital de movilidad

El proceso de calibración consta de 3 indicadores:

1. El primero consiste en una regresión por mínimos cuadrados el cual arroja como resultado un coeficiente de correlación  $R^2$  y una pendiente, el ideal para un modelo corresponde a una regresión lineal definida por una pendiente de 1.

Grafica 3 Calibración por mínimos cuadrados



*Grafica Fuente. Elaboración Propia*

Para este caso en particular los valores de  $R^2$  y pendiente en este caso son:

Tabla 11 Resultados mínimos cuadrados

<b><math>R^2</math></b>	0,9998
<b>Pendiente</b>	0,09926

*Tabla 12 Fuente. Elaboración Propia*

- Otro indicador es el uso del estadístico GEH, este determina la aceptación de la calibración.

Ecuación 1 GEH

$$GEH = \sqrt{\frac{(q_{obs} - q_{sim})^2}{0,5 (q_{obs} + q_{sim})}}$$

Fuente. Efficient Transportation and Pavement Systems, Characterization, Mechanisms, Simulation and Modeling, 2009)

Donde,

$q_{obs}$ : Flujo vehicular observado en el periodo considerado

$q_{sim}$ : Flujo vehicular simulado en el periodo considerado

Este indicador se determina para cada uno de los tramos modelados y que contengan información de aforos (Transport Roads & Maritime Services, 2013, pág. 84) teóricamente no debe ser mayor de 10.

*Tabla 13 Parámetros GEH*

<b>GEH</b>	
0 a 5	adecuada correspondencia entre vehículos observados y simulados,
5 a 10	ajuste moderado
> 10	alta probabilidad de tener problemas en el punto de toma de información

Fuente. Efficient Transportation and Pavement Systems, Characterization, Mechanisms, Simulation and Modeling, 2009)

Los resultados obtenidos por medio del indicador GEH se presentan a continuación.

Tabla 14 Resultados GEH

Ubicación	Tipo	Volumen modelado	Volumen medido	GEH	Aceptacion
Kra 68	Autos	17515	17297	1,652	Ok
	Buses	7937	7876	0,686	Ok
Kra 72	Autos	2398	2384	0,286	Ok
	Buses	968	967	0,032	Ok
	Camiones	526	518	0,350	Ok
Kra 19	Autos	8471	8581	1,191	Ok
	Buses	542	499	1,885	Ok
	Camiones	159	137	1,808	Ok
Retorno	Autos	1256	1189	1,916	Ok
	Buses	506	486	0,898	Ok

Fuente. Elaboración Propia

3. El indicador RMSE una medida de desempeño cuantitativa utilizada comúnmente para evaluar métodos de pronóstico de demanda.

Ecuación 2 Calculo de RMSE

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}$$

Fuente. Efficient Transportation and Pavement Systems, Characterization, Mechanisms, Simulation and Modeling, 2009)

Donde,

At: Volumen medido

Ft: Volumen de modelación

n: número de datos

Se utiliza para hallar el error cuadrático medio del total de los enlaces evaluados el cual no debe ser mayor de 30%. (Transport Roads & Maritime Services, 2013, pág. 85).

Para este caso el RMSE es:

Tabla 15 Resultados RMSE

RMSE	28%
------	-----

Tabla 16 Fuente. Elaboración Propia

Teniendo en cuenta los resultados se puede concluir que el modelo se encuentra calibrado.

## 10. Análisis de capacidad y nivel de servicio

### 10.1. Capacidad

Para la determinación de la capacidad de cada nodo se utilizó la metodología de la HCM y el análisis se hizo por los diferentes nodos de la calle 26 por lo que tendremos varios volúmenes de tráfico

Avenida Caracas/Calle 26:

El HDM de esta intersección según la base de datos arroja 1785 Veh/h este volumen debe ser expresado como volumen equivalente con la siguiente expresión

$$Ve = HDM/fph$$

Donde FHP es un factor pico horario

Para calcular el volumen de servicio es necesario conocer antes la relación volumen-capacidad esta relación depende de un porcentaje de rebase de vehículos y estos factores se encuentran en la siguiente tabla respecto al nivel de servicio

Tabla 17 Nivel de servicio para carreteras de dos carriles

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
<b>A</b>	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>B</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
<b>C</b>	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
<b>D</b>	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
<b>E</b>	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. TRB. Highway capacity manual. 1994

Lo cual para las condiciones de terreno plano y 20% de rebase de vehículos obtenemos los distintos factores para cada nivel de servicio.

Ahora necesitamos conocer el factor de distribución direccional que depende de la distribución vehicular por sentido de flujo. Con la siguiente tabla determinaremos el factor de distribución direccional para una distribución 60/40. El cual es 0.94

Tabla 18 Factores de ajuste por distribución direccional del tránsito en carreteras de dos carriles

Separación Direccional (%/%)	Factor
50/50	1.00
60/40	0.94
70/30	0.89
80/20	0.83
90/10	0.75
100/0	0.71

Fuente. TRB. Highway capacity manual. 1994

Determinación del fw= factor carril

Para determinar dicho factor se hace uso de la siguiente tabla de la HCM

Tabla 19 Factores de ajuste por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos, carretera de dos carriles

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. TRB. Highway capacity manual. 1994

Tabla 20 Factor de vehículo pesado

Nivel A (Veh/Hora) =	280
Nivel B (Veh/Hora) =	547
Nivel C (Veh/Hora) =	889
Nivel D (Veh/Hora) =	1494
Nivel E (Veh/Hora) =	2410

*Fuente. Elaboración Propia*

Y con la demanda de vehículos de 1785 podemos decir que este se encuentra en el nivel de servicio D

### 10.2. Nivel de servicio

Tabla 21 Nivel de servicio

ZONA DE ESTUDIO	Nivel de Servicio
Avenida Caracas	D
NQS	E
Carrera 50	D
Carrera 68	E
Carrera 70	E
Avenida Boyacá	E
Carrera 86	D
Carrera 100	E

Fuente. Elaboración Propia

## 11. Conclusiones

- La hora de máxima demanda (HMD) vehicular del tramo analizado se presenta entre las 7:00 - 8:00 am es la hora la cual presenta mayor volumen de tránsito especialmente vehículos particulares lo cual nos indica que los ciudadanos prefieren el vehículo particular que el transporte público.
- Dentro de la composición vehicular en la HMD obtenida en los aforos realizados por SDM se determinó que el 92% de los vehículos son livianos 6% de buses y 2% camiones siendo el porcentaje de vehículos del de mayor importancia esto ratifica lo anterior.
- Respecto a los datos arrojados por el vissim los tiempos de viaje de los vehículos van en aumento dependiendo la intersección independientemente de la distancia se observó que la densidad vehicular afecta proporcionalmente el tiempo de viaje de los vehículos
- El software Vissim realiza una evaluación del nivel de servicio por demoras mientras que la metodología para una vía multicarril es realizar la evaluación por medio de cuatro parámetros según el manual HCM en el que se utiliza la densidad máxima, velocidad media, máxima relación volumen/ capacidad y máxima tasa de flujo el cual genera un nivel de servicio respecto al volumen vehicular las dos herramientas arrojaron un nivel de servicio deficiente.
- Mediante la modelación en vissim fue posible realizar el análisis del comportamiento en el flujo vehicular partiendo de los volúmenes de tránsito y condiciones predominante de la infraestructura en el que el modelo arroja zonas de conflicto en

las cuales podemos analizar posibles soluciones como es recalcular las rutas para llegar al BOG o tipos de vehículos que pueden transitar en la zona de estudio.

## 12. Bibliografía

BARCELÓ, J. (2010). *Fundamentals of Traffic Simulation*. Barcelona: Springer .

DUSAN TEODOROVIC, M. J. (2017). *Transportation Engineering*. Peter Jardim.

ESCOBAR, F. A. (2007). *Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial*. Tunja.

BOARD, T. R. (2010). *Highway capacity manual (HCM)*. Washinton D.C.: National academies.

MARTIN FELLENDORF, P. V. (2010). *Microscopic Traffic Flow Simulator Vissim*. Austria: University of tecnolog graz, rechbauerstrasse .

MJ, B., & BERGER JO, M. G. (2004). *Assessing uncertainties in trafic simulation: a key component in model calibration an validation* . Washington : TRB meeting.

RICHARD DOWLING, A. S., & ALEXIADIS, V. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines fot Applying Traffic Mlcrossimulation Modeling Software* . Washington, DC.

DÍAZ OLARIAGA, O; GIRÓN, E.; PARDO, R. & GONZÁLEZ, S. (2017b). *Caracterización del acceso vial al Aeropuerto Internacional de Bogotá (Colombia)*. Working Paper.

DÍAZ OLARIAGA, O.; ORTÍZ PRIETO, C. & GAVILÁN OROZCO, A. (2017a). *Análisis por micro simulación del acceso vial al aeropuerto. Caso del aeropuerto de Bogotá (Colombia)*. VI Congreso Internacional de la Red Iberoamericana de Investigación en Transporte Aéreo, 10-12 oct. 2017. Santiago de Chile.