

DESARROLLO DE UN MODELO MICROSCÓPICO DE TRÁNSITO EN LOS
ACCESOS VIALES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE
BOGOTÁ

TATIANA ALEJANDRA CIFUENTES ROJAS
SERGIO DAVID NIETO DAZA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2018

DESARROLLO DE UN MODELO MICROSCÓPICO DE TRÁNSITO EN LOS
ACCESOS VIALES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE
BOGOTÁ

TATIANA ALEJANDRA CIFUENTES ROJAS

SERGIO DAVID NIETO DAZA

Proyecto de grado, para optar al título de
Ingeniero Civil

ING. OSCAR DIAZ OLARIAGA

DIRECTOR

ING. RUBBY STELLA PARDO PINZÓN

PAR ACADEMICO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ

2018

Contenido

| | |
|--|----|
| LISTA DE TABLAS | 5 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 6 |
| LISTA DE ACRÓNIMOS..... | 8 |
| RESUMEN..... | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 12 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 13 |
| 3. OBJETIVOS..... | 14 |
| 3.1. Objetivo General | 14 |
| 3.2. Objetivos Específicos..... | 14 |
| 4. LOCALIZACIÓN..... | 15 |
| 4.1. Descripción de la infraestructura | 16 |
| 5. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 5.1. Bases De Datos | 17 |
| 5.1.1. Estructuración De Bases De Datos..... | 17 |
| 5.1.2. Bases De Datos Proporcionadas Por SDM..... | 18 |
| 5.2. Micromodelos De Tránsito | 18 |
| 5.2.1. Parámetros De Microsimulación | 19 |
| 5.2.2. Microsimulación En Vissim | 23 |
| 5.4. Variables De Capacidad Y Nivel De Servicio Para Vías Multicarril..... | 27 |
| 5.4.2. Capacidad | 28 |
| 5.4.3. Niveles De Servicio..... | 28 |
| 6. ANALISIS DE BASES DE DATOS E INFORMACIÓN SECUNDARIA..... | 31 |
| 6.1. Análisis De Volúmenes | 31 |
| 6.2. Análisis De Velocidades de Recorrido | 48 |
| 6.3. Análisis De Transporte Público | 49 |
| 6.3.1. Paraderos SITP..... | 50 |
| 6.3.2. Rutas SITP..... | 51 |
| 7. MICROMODELO – SIMULACIÓN CON ASIGNACIÓN ESTÁTICA..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 7.1. Geometría..... | 54 |
| 7.2. Transporte público | 55 |
| 7.3. Parámetros operacionales | 57 |
| 7.4. Demanda | 60 |
| 7.5. Evaluación | 62 |
| 7.6. Resultados..... | 71 |
| 7.7. GENERACIÓN DE RESULTADOS MICROMODELO | 72 |
| 7.8. CALIBRACIÓN..... | 72 |
| 8. ANALISIS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO | 77 |
| 8.1. Nivel de servicio..... | 77 |
| 8.2. Capacidad..... | 78 |
| 9. POSIBLES ALTERNATIVAS DE MEJORA | 79 |
| 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 80 |
| 11. REFERENCIAS | 82 |
| 12. ANEXOS | 84 |
| Anexo 1: base de datos suministrada por la SDM (Digital) | 84 |
| Anexo 2: Distribución vehicular horaria SDM (Digital) | 84 |
| Anexo 3: Resultados distribución vehicular horaria (Digital)..... | 84 |
| Anexo 4: Planos de carga (Digital)..... | 84 |
| Anexo 5: Velocidades de recorrido (Digital) | 84 |
| Anexo 6: Micro modelo realizado en Vissim (Digital) | 84 |
| Anexo 7: Resultados del modelo, Calibración y cálculo de capacidad y nivel de servicio (Digital) | 84 |
| Anexo 8: Videos de micro simulación (Digital) | 84 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Intersecciones a analizar | 31 |
| Tabla 2 Factores Cálculo equivalentes | 31 |
| Tabla 3 Velocidades por intersecciones..... | 49 |
| Tabla 4 Paraderos SITP dentro del área de estudio | 50 |
| Tabla 5 Rutas del SITP que pasan por la zona de estudio | 52 |
| Tabla 6 Resultados Modelación Nodo 1 | 64 |
| Tabla 7 Resultados Modelación Nodo 2 | 66 |
| Tabla 8 Resultados Modelación Nodo 3 | 67 |
| Tabla 9 Resultados Modelación Nodo 4 | 68 |
| Tabla 10 Resultados Modelación Nodo 5 | 70 |
| Tabla 11 Criterios de validación GEH | 74 |
| Tabla 12 Resultados Calibración por GEH | 75 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Localización del tramo de estudio | 15 |
| Figura 2 Resumen Bases de datos SDM | 18 |
| Figura 3 Bloques de simulación | 25 |
| Figura 4 Tipos de Niveles de Servicio..... | 30 |
| Figura 5 Distribución vehicular horaria Avenida Boyacá con Calle 26..... | 32 |
| Figura 6 Composición vehicular Avenida Boyacá con Calle 26..... | 33 |
| Figura 7 Distribución vehicular horaria Calle 26 retorno aeropuerto..... | 34 |
| Figura 8 Composición vehicular Calle 26 retorno aeropuerto..... | 34 |
| Figura 9 Distribución vehicular horaria Calle 26 AK 100 | 35 |
| Figura 10 Composición vehicular Calle 26 AK 100 | 36 |
| Figura 11 Distribución vehicular horaria AK 86 Calle 26 | 37 |
| Figura 12 Composición vehicular AK 86 Calle 26 | 37 |
| Figura 13 Distribución vehicular horaria Calle 26 con AK 103..... | 38 |
| Figura 14 Composición vehicular Calle 26 AK 103 | 39 |
| Figura 15 Distribución vehicular horaria Calle 26 TV 93 | 40 |
| Figura 16 Composición vehicular Calle 26 TV 93 | 41 |
| Figura 17 Volúmenes Horarios por Intersección | 42 |
| Figura 18 Plano de Carga Boyacá con 26 | 43 |
| Figura 19 Plano de carga retorno Aeropuerto | 44 |
| Figura 20 Plano de carga calle 26 AK 100..... | 45 |
| Figura 21 Plano de carga 86 Con Calle 26 | 46 |
| Figura 22 Plano de carga calle 26 AK 100..... | 47 |
| Figura 23 Plano de carga calle 26 TV 93 | 48 |
| Figura 24 Plano de velocidades..... | 49 |
| Figura 25 Plano ubicación de paraderos SITP..... | 51 |
| Figura 26 Elementos A Utilizar en la modelación | 53 |
| Figura 27 Link y Sentido del flujo..... | 54 |
| Figura 28 Creación de un conector | 55 |
| Figura 29 Parada de Transporte Público | 56 |
| Figura 30 Línea de Transporte público | 56 |
| Figura 31 Ruta de decisión | 57 |
| Figura 32 Regla de prioridad | 58 |
| Figura 33 áreas de conflicto..... | 59 |
| Figura 34 Comportamiento de conducción | 60 |
| Figura 35 Ingreso de volúmenes a modelar | 61 |
| Figura 36 Composiciones vehiculares | 62 |
| Figura 37 Nodos | 63 |
| Figura 38 Vista en planta Nodo 1..... | 64 |
| Figura 39 Vista 3D Nodo 1..... | 65 |
| Figura 40 Vista en planta Nodo 2..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 41 Vista 3D Nodo 2..... | 66 |
| Figura 42 Vista en planta Nodo 3..... | 66 |
| Figura 43 Vista 3D Nodo 3..... | 67 |
| Figura 44 Vista en planta Nodo 4..... | 68 |
| Figura 45 Vista 3D Nodo 4..... | 69 |
| Figura 46 Vista en planta Nodo 5..... | 69 |
| Figura 47 Vista 3D Nodo 5..... | 70 |
| Figura 48 Parámetros de Simulación | 71 |
| Figura 49 Resultados de la modelación | 72 |
| Figura 50 Resultados finales de la modelación..... | 72 |
| Figura 51 Calibración por mínimos cuadrados | 73 |
| Figura 52 Velocidades Modeladas Vissim | 76 |
| Figura 53 criterios de determinación de Niveles de servicio..... | 77 |
| Figura 54 Determinación del nivel de servicio..... | 78 |
| Figura 55 Determinación del Nivel de Servicio..... | 78 |

LISTA DE ACRÓNIMOS

- BBDD: Bases de datos
- SDM: Secretaría distrital de movilidad
- SIMUR: Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbano Regional
- HMD: Hora de máxima demanda
- TP: Transporte Publico
- SITP: Sistema Integrado de transporte publico

RESUMEN

Las aplicaciones de tránsito y transporte se están expandiendo rápidamente debido a los posibles impactos en la toma de decisiones en ámbitos tanto comunitarios como ambientales. Estas aplicaciones van desde la planificación y evaluación de la infraestructura vial hasta la evaluación de sistemas avanzados de gestión e información del tráfico en algunos casos como el Funcionamiento dinámico, además de pruebas tecnológicas y sistemas para aumentar la seguridad, capacidad y eficiencia medioambiental de vehículos y carreteras. La complejidad y la escala de estos problemas dictan que los modelos de simulación de tráfico precisos y dinámicos en lugar de los métodos analíticos se utilizan cada vez más para estos fines. Muchas simulaciones de tráfico comercial.

En el siguiente proyecto se realizará el análisis y capacidad de demanda de un tramo vial considerado como el único modo de ingreso al aeropuerto principal del país el Aeropuerto el Dorado de Bogotá, se tomaran en cuenta variables como accidentalidad, servicios de transporte público y señalización existente y un modelo microscópico el cual ayudará a realizar el diagnóstico de las condiciones de tránsito a partir de una información existente, lo anterior se hace con el fin de llegar a determinar la capacidad y nivel de servicio de este tramo vial generando finalmente alternativas de mejora en caso de presentar deficiencias.

Palabras clave: Transito, Transporte, Modelos de simulación, Capacidad y nivel de servicio.

ABSTRACT

Transit and transportation applications are expanding rapidly due to the potential impacts on decision making in both community and environmental settings. These applications range from the planning and evaluation of road infrastructure to the evaluation of advanced management and information systems in cases such as dynamic operation, in addition to technological tests and systems to increase the safety, capacity and environmental efficiency of vehicles and roads. The complexity and scale of these problems dictate that accurate and dynamic traffic simulation models in place of analytical methods are increasingly used for these purposes. Many simulations of commercial traffic.

In the following project, the analysis and demand capacity of a road section was performed as the only way to enter the main airport of the country, the El Dorado airport in Bogota, taking into account variables such as accidents, public transport services and existing signage and a microscopic model that helps to make the diagnosis of transmission conditions, based on existing information, this is done in order to reach the capacity and service level of this road section finally generating alternatives of improvement in case of deficiencies.

Keywords: Transit, Transport, Simulation models, Capacity and level of service.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años debido al desarrollo de las ciudades la congestión del tráfico en las intersecciones de las vías principales ha ido en aumento, generando un alto volumen del tráfico, afectando la calidad de vida de las personas, por medio de la ingeniería de tránsito se han planteado medidas convencionales como la planificación de señalización, implementación de doble calzada, entre otras, además la planeación del transporte tiene como objetivo básico la utilización óptima de la infraestructura vial y de los medios de transporte disponibles para hacer diseños y lograr una planeación adecuada con el fin de garantizar óptimos resultados.

El aumento en el flujo vehicular en el área de estudio ha generado inquietudes, acerca del estado en cuanto a capacidad y nivel de servicio de este tramo vial, al pensar en el funcionamiento del único acceso vial al aeropuerto el Dorado de Bogotá, por medio de la ingeniería de tránsito se puede dar respuesta a estas inquietudes realizando el análisis de estas variables por medio de los modelos de microsimulación, los cuales son considerados como apreciaciones de un escenario de tráfico, en donde se requiere el uso de un software especializado para su montaje, en este caso se cuenta con el Software Vissim, y por medio de una microsimulación se pretende realizar la estimación de la capacidad y nivel de servicio del aeropuerto el Dorado, teniendo una delimitación del área de estudio comprendida entre la Avenida Boyacá hasta el Aeropuerto el Dorado por la Calle 26 o Avenida el Dorado, a partir de los lineamientos sugeridos en el "Highway Capacity Manual 2000" (HCM, 2000).

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A medida que aumentan las condiciones de congestión, se dificulta la operación vehicular y peatonal en el entorno urbano, se requiere un elemento que agilice el análisis de dichas condiciones y facilite el entendimiento de los posibles resultados que genere la solución planteada a los problemas identificados, sin la necesidad de tener que implementarlos directamente en la Vía pública.

En ocasiones las soluciones involucran más de un elemento en particular o requieren de sofisticados análisis y procesos matemáticos para encontrar una solución óptima, que ante un cambio en las condiciones de operación exigen recalcular todo el planteamiento de manera integrada. Por ello, la aplicación de modelos microscópicos a las condiciones del tránsito ofrece un amplio espectro de análisis a posibles soluciones las cuales en ocasiones dependen solamente de una modificación geométrica o del aumento de algunos segundos en un intervalo de verde, permitiendo la obtención de resultados de manera rápida ante el cambio realizado.

Adicionalmente, la representación gráfica de los resultados y la visualización de las condiciones operativas y sus cambios ante una modificación en los parámetros de eficiencia del problema, permite ofrecer un formato comprensible no solo a los expertos, sino también, p.e., a los tomadores de decisiones sobre políticas públicas que quieren conocer de manera sencilla las posibilidades ante un cambio propuesto o ante la implementación de nuevas condiciones y/o estrategias de desarrollo.

Finalmente, otro aspecto relevante del proyecto es el "entorno de aplicabilidad" del modelo de microsimulación. Los accesos viales al aeropuerto de Bogotá-El Dorado, en especial la Av. El Dorado, presentan, en ciertas horas del día, altos niveles de congestión. Esta situación es problemática, ya que se trata del acceso vial (y único modo) al principal aeropuerto del país. Por lo que se considera muy oportuno, y hasta necesario, desarrollar un modelo de microsimulación de tráfico en el acceso al aeropuerto, más precisamente en el tramo vial de la avenida Calle 26 desde la Avenida Boyacá hasta el aeropuerto El Dorado de Bogotá.

2. JUSTIFICACIÓN

Tras identificar las problemáticas en las vías de accesos en la zona aeroportuaria de la ciudad de Bogotá se plantea un análisis por medio de un modelo de microsimulación, el cual permitirá identificar escenarios de congestión del sistema de tránsito. Derivado de ello, será posible conocer y proponer líneas de actuación para la mejora y optimización del sistema vial de acceso al aeropuerto.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Realizar el análisis de capacidad y nivel de servicio del tramo vial de la Calle 26 desde la Avenida Boyacá (Cra 72) hasta el aeropuerto El Dorado de Bogotá, por medio de la herramienta de microsimulación de tránsito VISSIM, con el fin de determinar y proponer alternativas de solución.

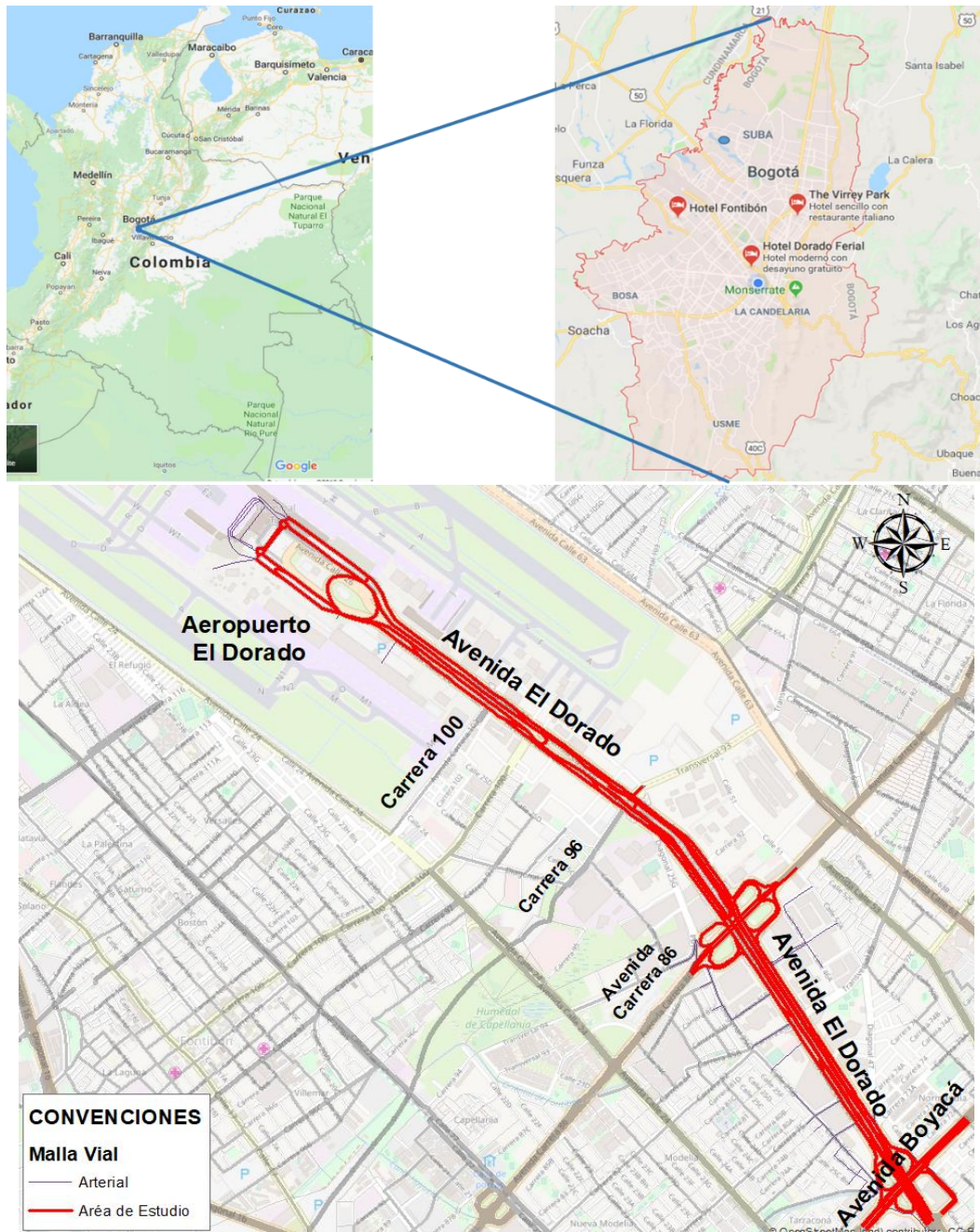
3.2. Objetivos Específicos

- 3.2.1. Analizar las BBDDs e información secundaria dispuesta por la SDM, con el fin de determinar las características del tránsito vehicular existente.
- 3.2.2. Realizar un micro modelo que permita simular la operación del tráfico vehicular en los accesos del aeropuerto.
- 3.2.3. Determinar las variables de capacidad y el nivel de servicio de los accesos viales.
- 3.2.4. Proponer posibles alternativas de mejora del tránsito en tramo analizado.

4. LOCALIZACIÓN

El área de estudio elegida para realizar el análisis de capacidad y nivel de servicio se encuentra en la ciudad de Bogotá D.C. y está comprendida en el tramo vial de la avenida Calle 26 o mejor conocida como Avenida el Dorado, desde la Avenida Boyacá hasta el aeropuerto El Dorado de la ciudad con una longitud aproximada de 4,5 km. Como se puede ver en detalle en la figura 1 a continuación.

Figura 1 Localización del tramo de estudio



Fuente: (Google, 2018)

4.1. Descripción de la infraestructura

La geometría que presenta el área de estudio actualmente se resume de la siguiente manera:

- Avenida el Dorado: es una vía bidireccional, en cada uno de los sentidos presenta multicalzada con cinco carriles de circulación por sentido y dos carriles exclusivos de Transmilenio.
- Retorno Oriental calle 26 (retorno aeropuerto): es una vía unidireccional de única calzada con dos carriles de circulación.
- Carrera 103: es una vía bidireccional doble calzada con dos carriles de circulación por sentido.
- Carrera 100: es una vía bidireccional doble calzada con dos carriles de circulación por sentido.
- Transversal 93: es una vía unidireccional de única calzada con dos carriles de circulación.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Bases De Datos

Una base de datos es un “almacén” la cual permite guardar grandes cantidades de información de forma organizada para que luego se pueda encontrar y utilizar fácilmente, son consideradas como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información en diferentes casos.

El propósito de las bases de datos surge con la necesidad de registrar y almacenar datos. Por muchos años la mejor forma de hacer esto consistía en un archivo de documentos en papel, pero pronto esto se volvió ineficiente, pues lo siguiente después de guardar datos es poderlos consultar fácilmente.

Las bases de datos son un sistema formado por un conjunto de datos almacenados en discos que permiten el acceso directo a ellos y un conjunto de programas que manipulen ese conjunto de datos.

Cada base de datos se compone de una o más tablas que guarda un conjunto de datos. Cada tabla tiene una o más **columnas y filas**. Las columnas guardan una parte de la información sobre cada elemento que se quiera guardar en la tabla, cada fila de la tabla conforma un registro. (Valdés, 2007)

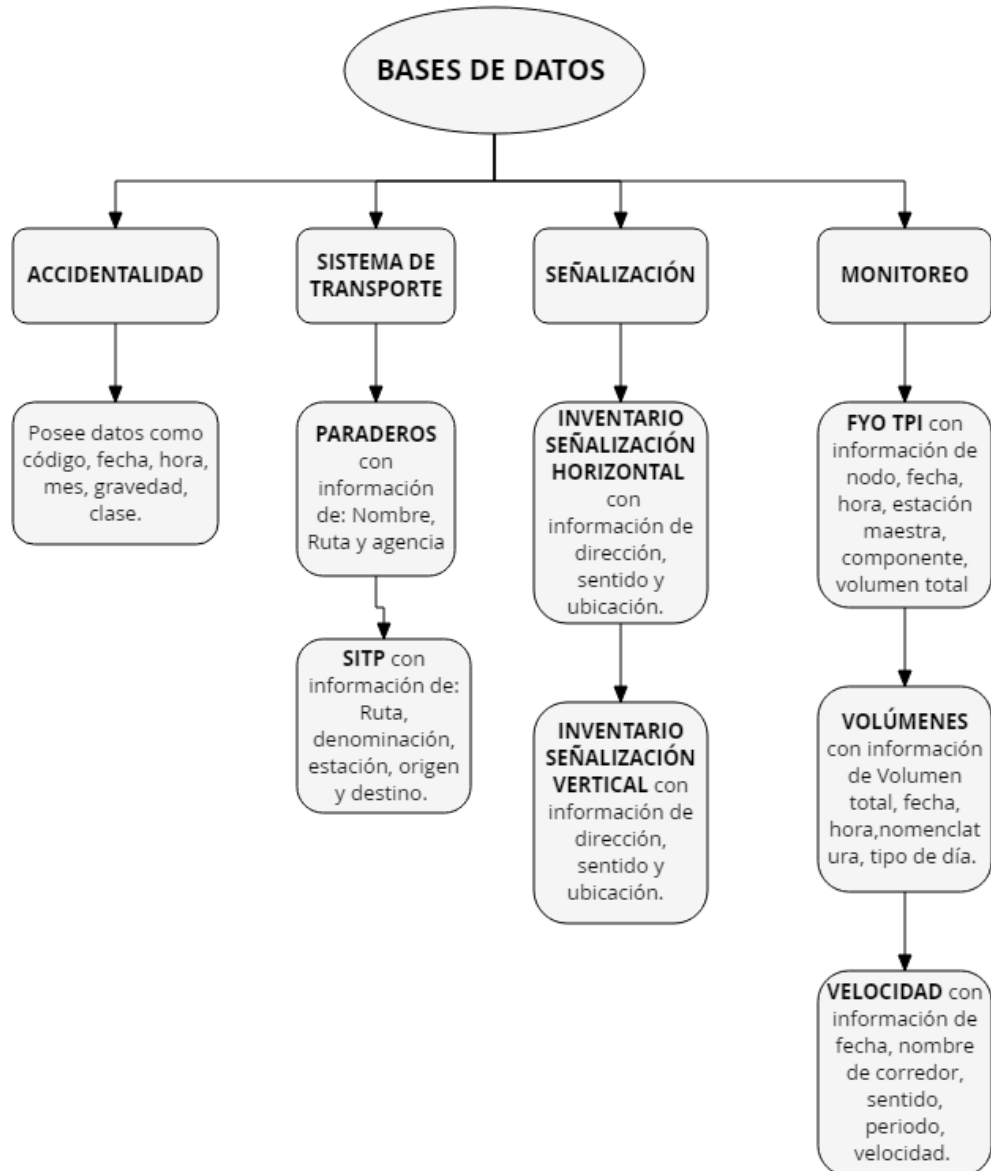
5.1.1. Estructuración De Bases De Datos

Cada Sistema de Base de Datos posee tipos de campos que pueden ser similares o diferentes. Entre los más comunes se pueden nombrar:

- ✓ **Numérico:** entre los diferentes tipos de campos numéricos podemos encontrar enteros “sin decimales” y reales “decimales”.
- ✓ **Booleanos:** poseen dos estados: Verdadero “Si” y Falso “No”.
- ✓ **Memos:** son campos alfanuméricos de longitud ilimitada. Presentan el inconveniente de no poder ser indexados.
- ✓ **Fechas:** almacenan fechas facilitando posteriormente su explotación. Almacenar fechas de esta forma posibilita ordenar los registros por fechas o calcular los días entre una fecha y otra.
- ✓ **Alfanuméricos:** contienen cifras y letras. Presentan una longitud limitada (255 caracteres).
- ✓ **Autoincrementables:** son campos numéricos enteros que incrementan en una unidad su valor para cada registro incorporado. Su utilidad resulta: Servir de identificador ya que resultan exclusivos de un registro. (Valdés, 2007)

5.1.2. Bases De Datos Proporcionadas Por SDM

Figura 2 Resumen Bases de datos SDM



Fuente: Adaptada a partir de la información proporcionada por SDM (Anexo 1)

5.2. Micromodelos De Tránsito

El modelo microscópico de los flujos de tráfico se basa en la descripción del movimiento de cada vehículo individual que compone la corriente de tráfico. Esto implica modelar las acciones (por ejemplo, aceleración, desaceleraciones y cambios de carril) de cada conductor en respuesta al tráfico circundante.

Se considera como un modelo de simulación microscópica de tráfico que incluye lógicas de seguimiento de vehículo y cambio de carril. El generador de estado de

señal es un software de control de señal que suministra la información de detector del simulador de tráfico en una base de paso de tiempo discreto (de hasta 1/10 de segundo). Éste determina entonces el estado de la señal para el siguiente paso de tiempo y retorna esta información al simulador de tráfico. La precisión de un modelo de simulación de tráfico depende principalmente de la calidad de modelación vehicular. (Logistics T. M., 2012)

Muchos modelos de simulación de tráfico comercial están actualmente disponibles, y aún más modelos han sido desarrollados por institutos de investigación y grupos de investigación de todo el mundo. Sin embargo, los resultados de la simulación deben interpretarse con gran cuidado. Primero, se debe considerar la calidad de los modelos de simulación. Además, la reproducibilidad de los resultados de la simulación es importante. La reproducibilidad es la capacidad de los resultados de la simulación para ser reproducidos o replicados con precisión por una parte que trabaje de forma independiente utilizando el mismo modelo de simulación o uno diferente. (Dusan Teodorovic, 2017)

5.2.1. Parámetros De Microsimulación

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

5.2.1.1. 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, en donde Los términos del estudio dependerán de la zona de influencia, y el gerente del proyecto probablemente hará esa determinación en consulta con las partes interesadas del proyecto. Al determinar la zona de influencia, el modelador necesita entender:

- Proyectos interestatales: la red modelo debe extenderse hasta 2.4 km (1.5 mi) desde ambos terminados de la mejora que se evalúa y hasta 1,6 km (1 mi) a cada lado de la ruta interestatal. Esto permitirá suficiente tiempo y distancia para que el modelo mejore el desarrollo de las características del flujo de tráfico reflejadas en el mundo real.
- Proyectos arteriales: la red modelo debe extender al menos una intersección más allá de aquellos dentro de los límites de la mejora y debe considerar el impacto potencial en la coordinación arterial como se justifica. Esto capturaré influencias tales como aguas arriba medición del tráfico y la cola del tráfico en sentido descendente. (Barceló, 2010, pág. 20)

- Selección de enfoque analítico: La metodología de soporte de decisiones sirve para seleccionar el análisis de tráfico a su vez proporciona orientación detallada sobre la selección de una aproximación analítica. Esta sección proporciona un breve resumen de los puntos clave. La microsimulación requiere más esfuerzo que la simulación macroscópica, y la simulación macroscópica requiere más esfuerzo que los análisis de tipo HCM.
- Selección de herramienta analítica (software): La selección de la herramienta analítica es una ficha clave para determinar el alcance del estudio y está vinculada a la selección del enfoque analítico, los criterios clave para la selección del software son técnicas capacidades, entrada / salida / interfaces, usuario entrenamiento / soporte, y software en curso mejoras
- Habilidades técnicas: Las capacidades técnicas del software están relacionadas con su capacidad para pronosticar con precisión el rendimiento del tráfico y las alternativas que se consideran en el análisis. El gerente debe decidir si el software es capaz de manejar el tamaño de los problemas que se van a evaluar en el estudio.
- Requerimientos de recursos: Los recursos necesarios para el desarrollo, calibración y aplicación de los modelos de microsimulación variarán según la complejidad del proyecto, su alcance geográfico, alcance temporal, número de alternativas, disponibilidad y calidad de los datos, La recopilación de datos, la codificación, la comprobación de errores y la calibración son las tareas críticas para completar un modelo calibrado. (Barceló, 2010, pág. 23)

5.2.1.2. 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 microsimulación 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.

Los datos de entrada requeridos por un modelo de microsimulación variarán según el software y la aplicación de modelado específico según lo definido por los objetivos y el alcance del estudio.

Los estudios analíticos de microsimulación requieren los siguientes tipos de datos de entrada:

- Geometría del camino (longitudes, carriles, curvatura).

- Controles de tráfico (tiempo de señal, señales).
- Demandas (volúmenes de entrada, volúmenes de inflexión, tabla O-D).
- Datos de calibración (recuentos de tráfico y datos de rendimiento, como velocidad, colas). (Barceló, 2010, pág. 27)

5.2.1.3. Desarrollo Del Modelo Base

Para desarrollar un modelo de microsimulación, 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)

5.2.1.4. Comprobación De Errores

Es de gran importancia verificar y arreglar los errores para poder desarrollar un modelo de trabajo para que el proceso de calibración no genere resultados con parámetros que están distorsionados para compensar por errores de codificación pasados por alto.

Los pasos que hay que tener en cuenta para eliminar los errores en la demanda y codificación de la red antes de la calibración, la comprobación de errores implica varias revisiones del código red, demandas codificadas y parámetros predeterminados. (Barceló, 2010, pág. 32)

La comprobación de errores se desarrolla en tres etapas:

- Comprobación de errores de software
- Error de codificación de entrada comprobación
- Revisión de animación para detectar menos elementos de entrada que generen error

5.2.1.5. Calibración De Modelos De Microsimulación

Una vez finalizada la comprobación de errores, el analista tiene el modelo de trabajo, pero faltando la calibración, el analista no tiene la seguridad de que el modelo cumpla con los parámetros determinados y el rendimiento del tráfico para el proyecto, por ende para mejorar la capacidad del modelo y tener un rendimiento en óptimas condiciones del tráfico es necesario hacer

una calibración la cual cumpla con el ajuste de los parámetros para el proyecto.

La calibración se realiza en varios componentes del modelo general, pruebas recientes de seis programas diferentes argumentan que los programas encontraron que las diferencias de calibración del 13% en las velocidades pronosticadas de la autopista para las condiciones existentes aumentaron al 69% en las velocidades pronosticadas de la autopista para las condiciones futuras.

La calibración es necesaria porque no hay un solo modelo que sirva para todas las condiciones de tráfico el modelo de microsimulación aún contiene solo una porción de todas las variables que afectan el tráfico del mundo real, el modelo debe adaptarse a las condiciones locales. (Barceló, 2010, pág. 38)

5.2.1.6. Análisis De Alternativas

Para el proceso de análisis de microsimulación 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

5.2.1.7. Reporte Final

En esta etapa se analiza los resultados del análisis de microsimulación con el fin de poder respaldar la versión final del informe. Este presenta los pasos analíticos y los diferentes resultados con el fin de tomar decisiones frente al proyecto dando así las posibles soluciones, sin embargo, no suele contener

información suficientemente detallada para permitir un 100% de éxitos. El esfuerzo involucrado en el resumen de los resultados no debe subestimarse, ya que los modelos de microsimulación producen una gran cantidad de resultados numéricos que deben tabularse. (Barceló, 2010, pág. 45)

El informe final debe incluir lo siguiente:

- Objetivos de estudio y alcance.
- Descripción general del enfoque de estudio (herramientas utilizadas, metodología, justificación).
- Recopilación de datos (fuentes y métodos).
- Pruebas de calibración y resultados (qué parámetros se modificaron y por qué).
- Suposiciones de pronóstico (crecimiento supuesto dentro y fuera del área de estudio, calle mejoras, etc.).
- Descripción de alternativas.
- Resultados.

5.2.2. *Microsimulación 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. (Martin 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. (Logistics T. M., 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 pesados carril se proporcionan con opciones de personalización para mejores resultados en la simulación. (Dusan Teodorovic, 2017, pág. 17)

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. (Logistics T. M., 2012)

Es aplicado como una herramienta útil en una variedad de configuraciones del problema de transporte. Las aplicaciones previas de este software son:

- ▶ Desarrollo, evaluación y ajuste-detallado de lógicas de prioridad semafórica, Adicional a la funcionalidad de tiempo-fijo incorporada hay varios controles de semaforización actuada idénticos al software de control semafórico instalados en campo.
- ▶ Evaluación y optimización) de la operación del tráfico en una red que combina semáforos actuados y coordinados.
- ▶ Factibilidad y estudios de impacto al tráfico para integración de tren ligero en redes urbanas.
- ▶ Análisis de reducción de velocidad en áreas de entrecruzamiento.
- ▶ Fácil comparación de alternativas de diseño incluyendo intersecciones semaforizadas y de prioridad, glorietas e intercambios viales a desnivel.
- ▶ Análisis de capacidad y operación de trazados de estaciones complejas para sistemas de bus y tren han sido analizados con VISSIM.
- ▶ Soluciones de tratamiento preferencial para buses (p.ej. saltos de cola, extensiones de bordillo, carriles solo-bus) han sido evaluadas con VISSIM.
- ▶ Con su modelo incorporado de Asignación Dinámica, VISSIM puede responder preguntas sobre elección de ruta, tales como, los impactos de señales de mensajes variables o el potencial de desvío de tráfico en barrios para redes de hasta el tamaño de las ciudades medianas.
- ▶ La modelación y simulación de flujos de personas - en calles y edificaciones - permite un rango amplio de nuevas aplicaciones. VISSIM puede también simular y visualizar las interacciones entre tráfico vehicular y personas.

Un simulador de flujo de tráfico microscópico como VISSIM es un software que incluye modelos matemáticos para ejecutar modelos de flujo de tráfico. El simulador en sí no incluye ninguna aplicación específica datos o herramientas adicionales que se requieren para modelado y datos adicionales tareas de análisis. (Martin Fellendorf, 2010, pág. 20)

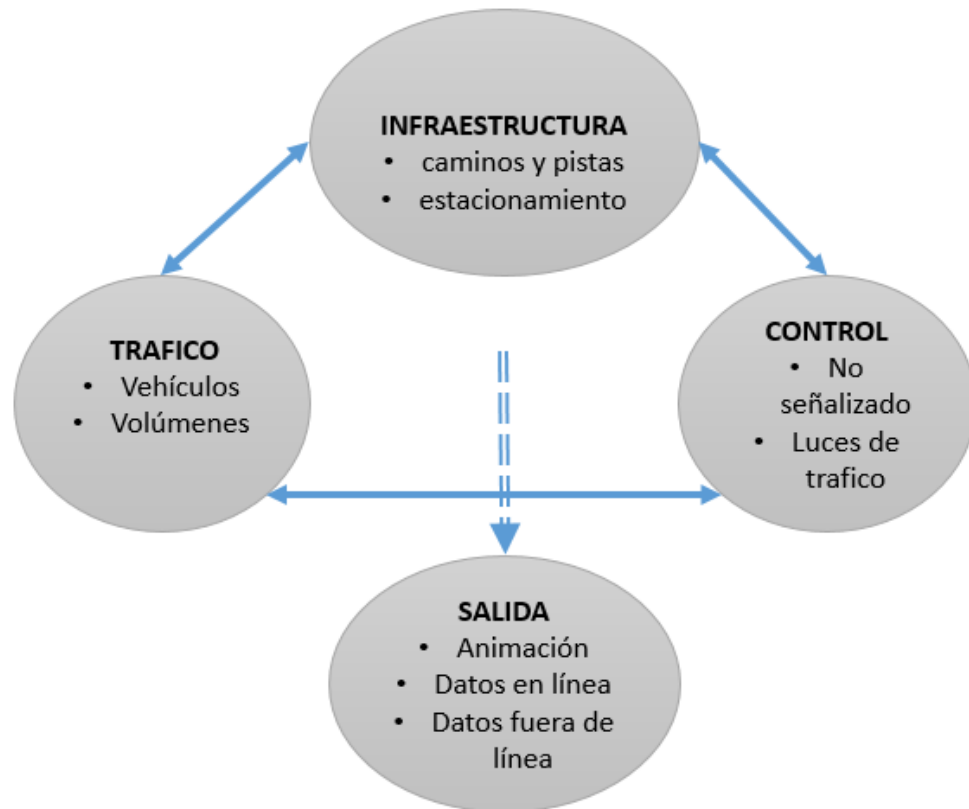
El simulador contiene tres principales bloques de construcción más un bloque adicional que genera los resultados de cada simulación como se muestra en la figura 3:

- La infraestructura vial y ferroviaria, incluidos los puestos de señalización y las instalaciones de estacionamiento componer el primer bloque.
- El tráfico está definido por matrices de origen-destino o por generar tráfico en las entradas de enlace, el modelo de asignación y las descripciones de

flujo de ruta, las características técnicas de un vehículo y las especificaciones de los flujos de tráfico se realizan en el segundo bloque.

- El bloque de control de tráfico contiene todos los elementos necesarios para controlar el tráfico. Definiciones para paradas de cuatro vías, reglas de prioridad mayor / menor con aceptas opciones de control de las señales de tráfico de señal. (Dusan Teodorovic, 2017, pág. 25)

Figura 3 Bloques de simulación



Fuente: Adaptado de (Martin Fellendorf, 2010)

Modelado De Infraestructura: VISSIM es un esbozo de la intersección analizada es suficiente para probar la lógica de la señal accionada por el tráfico, requiere un modelo detallado para los análisis de simulación. Con el fin de simular operaciones de tráfico.

Las redes escaladas se importan de la planificación de transporte macroscópica y Software GIS, software de optimización de señales o trazado manual basado en escala fotografías aéreas ortorectificadas y dibujos CAD. La infraestructura vial y ferroviaria está modelado por elementos distintivos llamados clases los cuales son: Enlaces y conectores, Otros elementos de red.

Modelado De Tráfico: Los vehículos que viajan en la infraestructura tienen que tener una especificación, porque los vehículos de transporte privado pueden buscar rutas individuales, mientras que los vehículos de transporte público seguirán con lo estipulado en las rutas con paradas en su camino. (Dusan Teodorovic, 2017, pág. 26)

Transporte privado:

- Longitud del vehículo o distribución de las longitudes de los vehículos
- Distribuciones de las velocidades técnicas y deseadas de aceleración y desaceleración
- Velocidad máxima o distribución de velocidades máximas
- Ancho del vehículo
- Color y modelo 3D o distribución de colores y modelos 3D

Transporte público: Autobuses, tranvías o vehículos de tren ligero que sirven una secuencia fija de transporte público se detiene según un horario.

- Los tiempos de parada están determinados por la distribución de tiempos de permanencia para abordar y bajar, o cálculos de tiempos de servicio de pasajeros.
- El horario describe la hora de salida en la parada inicial.

Salida De Datos: Los movimientos del vehículo pueden ser animados en 2D o en 3D, esta característica permite a los usuarios crear videos realistas, que se pueden usar para comunicar visión del proyecto. Para tener una mejor representación de las capacidades de mapeo la simulación se define por el Usuario ya que se puede resumir para cualquier período de tiempo e intervalo dentro de este período de tiempo, también se puede analizar en cualquier punto de la red, intersección, a lo largo de cualquier camino, o para toda la red, y a su vez generando cualquier combinación.

Asignación Estática: El procedimiento estándar en planeación de transporte es el llamado Asignación Estática. En éste, Estática significa que la demanda de viajes (cuántos vehículos desean realizar viajes en la red) así como la red en sí misma son constantes en el tiempo. Sin embargo, en la realidad, la demanda de viajes cambia significativamente durante el día, y aún la red vial puede tener características que dependen del tiempo. (Logistics T. M., 2012)

Asignación Dinámica: Para el modelo es necesario encontrar las posibles rutas para elegir la mejor opción, luego evaluarlas alternativas, los modelos de asignación se originan a partir de la teoría de elección discreta. El procedimiento de asignación dinámica en VISSIM se basa en la idea de iterar simulación. Eso significa que una red modelada se simula no solo una vez sino repetitivamente y los conductores eligen sus rutas a través de la red en función del viaje costo que han experimentado

durante las simulaciones anteriores. Formalmente hablando proceso tiene como objetivo calcular el equilibrio dinámico del usuario estocástico. (Martin Fellendorf, 2010, pág. 30)

5.3. Operación del tráfico Vehicular

Volumen de tránsito es considerado como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados de una calzada durante un periodo de tiempo determinado. Es considerado también como el máximo volumen horario de personas o vehículos que razonablemente se pueda esperar pasen por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período de tiempo dado (para este caso 1 hora) en condiciones imperantes de vía, tránsito y control dentro de un nivel de servicio especificado. (Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones , 1994)

En el presente proyecto se desarrollara un modelo microscopico tomando como principal variable de operación del trafico el **volumen vehicular horario** de la zona de estudio el cual se tomó a partir de la HMD resultado de los aforos realizados por SDM como será descrito en el capítulo 6.1.

5.4. Variables De Capacidad Y Nivel De Servicio Para Vías Multicarril

Actualmente existen diversas formas de realizar la medición del rendimiento de una vía o un servicio de transporte en la etapa de planeación ya sea presente o futura, Las estimaciones de Capacidad y Niveles de Servicio se consideran necesarias en gran parte de las decisiones tomadas en la Ingeniería de Tránsito y planeación del transporte.

La calidad del servicio proporciona la descripción de qué tan bien funciona una instalación o servicio de transporte. El Nivel de servicio es considerado como una estratificación cuantitativa de una medida de desempeño las cuales representan la calidad del servicio. También facilita la presentación de resultados, a través del uso de una escala en donde el nivel de servicio A representa las mejores condiciones de operación desde la perspectiva del viajero y el nivel de servicio F es el peor. Lo anterior define por una o más medidas de servicio que reflejan la perspectiva del viajero y son útiles para las agencias operativas. (Highway capacity manual (HCM), 2010, págs. Cap 5-2)

5.4.1. Vías Multicarriles

Las carreteras de carriles múltiples o multicarriles son vías de circulación continua para tránsito de paso, con limitación parcial de acceso y no total como las autopistas. Difieren también de las autopistas en que pueden carecer de separador central y hasta tener uno que otro semáforo que obliga a detener el tránsito que circula por ellas. De acuerdo con el HCM (Highway capacity manual (HCM), 2010,

pág. cap 5 21), las vías multicarriles han mantenido características de velocidades entre los 60 y 90 km/h; estas vías tienen normalmente cuatro o seis carriles. Aunque estas vías no son tan eficientes como las autopistas, representan un avance sobre las carreteras de dos carriles no solamente porque ofrecen más carriles al tránsito, sino también porque los adelantamientos son más fáciles en ellas porque requieren brechas mucho menores y no están limitados por distancias visibles (hacia adelante) muy cortas. (Manual de Planeación de Tránsito y Transporte , 2005, págs. Tomo III Cap 2 - 17)

5.4.2. Capacidad

“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”. (Highway capacity manual (HCM), 2010, pág. 108)

La capacidad de una vía multicarril es la máxima proporción del flujo horario en que los vehículos se desplazan razonablemente en un segmento uniforme bajo el predominio de las condiciones de la vía y del tráfico.

En vías de circulación continua, es posible que ocurra congestión cuando la demanda de tránsito es inferior a la capacidad. Así sucede cuando el volumen máximo posible sea menor que la demanda durante dos o tres minutos (por aumento súbito de la demanda o disminución repentina del volumen máximo posible). (Manual de Planeación de Tránsito y Transporte , 2005, págs. tomo II Cap 7- 8)

5.4.3. Niveles De Servicio

El nivel de servicio sirve para medir la calidad del flujo vehicular, es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su apreciación por los motoristas y/o pasajeros. Esta situación se describe en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial son los factores que afectan el Nivel de Servicio, se distinguen los internos y los externos. (Manual de Planeación de Tránsito y Transporte , 2005, pág. 18)

Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, volumen, composición del tránsito y en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales. Los externos son las características físicas, como lo es la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes.

De acuerdo al Manual de Capacidad Vial HCM 2000 del TRB ha determinado seis Niveles de Servicio los cuales están establecidos por letras: A, B, C, D, E, y F, estos van del mejor al peor, los niveles se definen según las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua. (Highway capacity manual (HCM), 2010, pág. 138)

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, pág. 143)

Figura 4 Tipos de Niveles de Servicio



Fuente: (Board, Transportation Research, 2010)

6. ANALISIS DE BASES DE DATOS E INFORMACIÓN SECUNDARIA

El presente análisis se hace en específico a variables consideradas como herramientas principales para la evaluación en el tránsito de la calle 26, teniendo datos como Volúmenes vehiculares, Velocidades de recorrido y sistema de transporte público tanto rutas como paraderos, con el fin de tener la información necesaria para alimentar el modelo a desarrollar en Vissim.

6.1. Análisis De Volúmenes

Se realiza el análisis de volúmenes por cada una de las intersecciones de las que se tiene información las cuales son:

Tabla 1 Intersecciones a analizar

| |
|-----------------------------|
| INTERSECCIONES |
| Boyacá con Calle 26 |
| Calle 26 TV 93 |
| Calle 26 Retorno Aeropuerto |
| Calle 26 con AK 100 |
| Calle 26 con AK 103 |

Fuente: Elaboración Propia

6.1.1. Distribución Vehicular Horaria

Para la realización de este análisis se contó con los aforos vehiculares horarios proporcionados por la SDM, como se mencionó anteriormente, los cuales se pueden encontrar en el anexo 2, además se calculó el total de los equivalentes contando con los siguientes factores¹:

Tabla 2 Factores Cálculo equivalentes

| | |
|----------|------|
| BUSES | 2 |
| CAMIONES | 2,5 |
| LVIANOS | 1 |
| MOTOS | 0,16 |

Fuente: Elaboración Propia

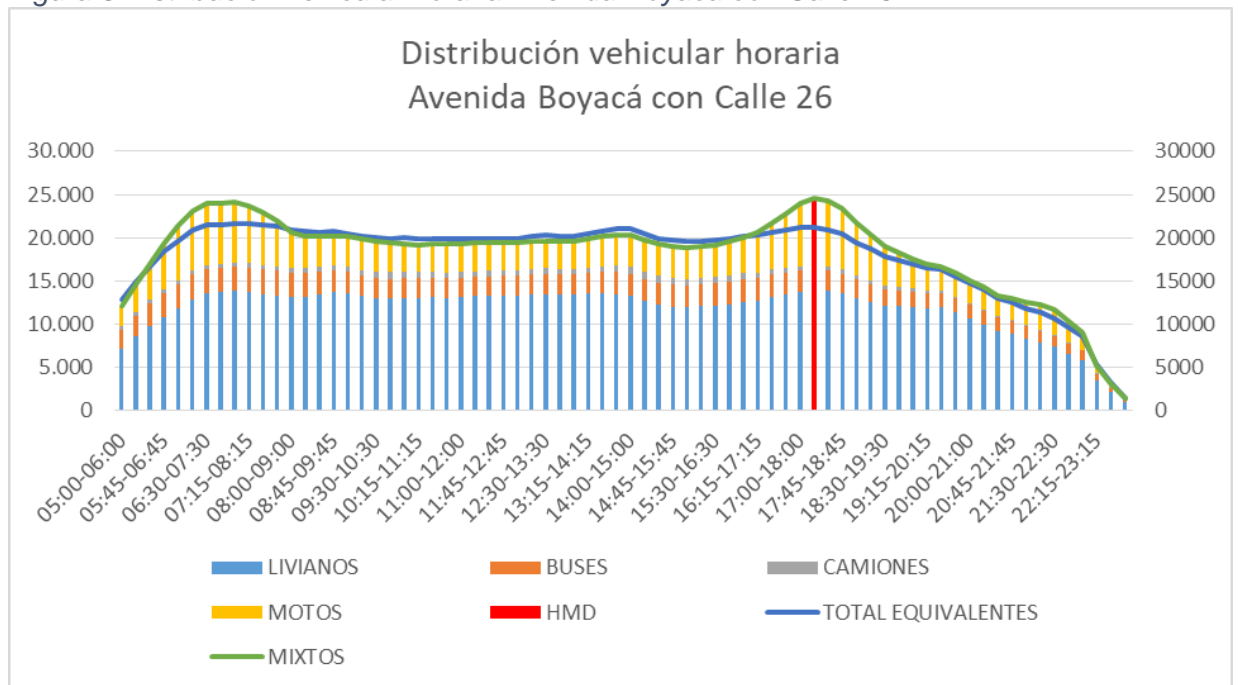
¹ Factores determinados a partir del manual de planeación y diseño para la planeación y administración del tránsito y transporte de Bogotá, 2005. Valores habitualmente usados en la consultoría de tránsito en Bogotá y factor para determinación de equivalentes de las motos criterios metodológicos para involucrar el factor moto en los estudios de tránsito en Bogotá.

Se presentan entonces los resultados de la distribución vehicular, los datos completos usados para la realización del presente análisis serán encontrados en el anexo 3, además de la composición vehicular de cada una de las intersecciones a continuación:

➤ Avenida Boyacá Con Calle 26:

En el presente tramo vial se tiene que la HMD corresponde al periodo de 17:00 – 18:00 con un volumen mixto de 24560, se puede apreciar que se presentan dos picos importantes el primero se da en la hora de la mañana entre las 6:15 y las 8:15 am y el segundo se da entre las 16:45 y 18:45, teniendo que son los picos normales presentados en el transcurso del día. Se puede apreciar claramente en la gráfica el segundo índice más representativo es el de las motos y esto causa que el total de equivalentes se presente más bajo que el de mixtos. A continuación se puede encontrar lo anteriormente descrito en la figura 5.

Figura 5 Distribución vehicular horaria Avenida Boyacá con Calle 26

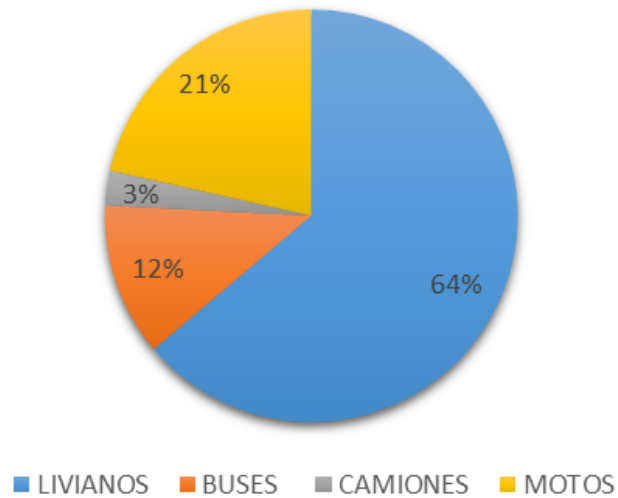


Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la composición vehicular para esta intersección se puede apreciar 64% que corresponde a los livianos, seguido por las motos con una participación del 21%, los buses con un 12% y mientras que los camiones representaron un 3% del total.

Figura 6 Composición vehicular Avenida Boyacá con Calle 26

COMPOSICIÓN VEHICULAR AVENIDA BOYACÁ CON CALLE 26

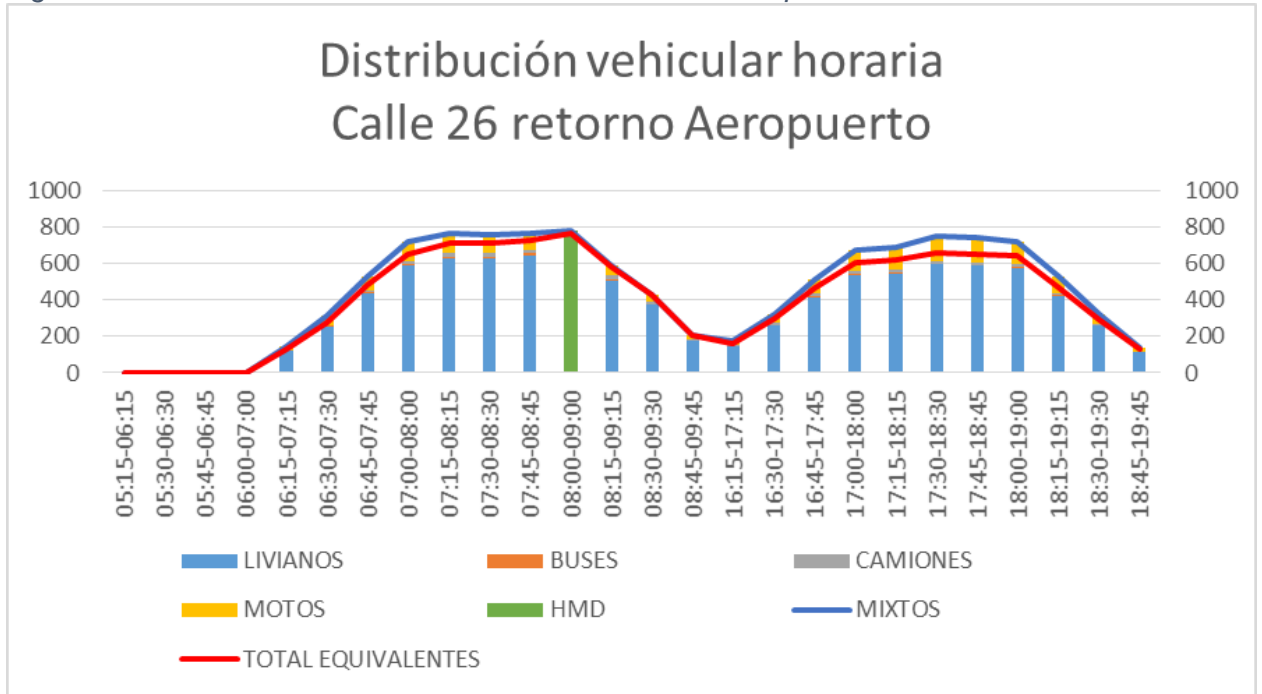


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 Retorno Aeropuerto

En el presente tramo vial se tiene que la HMD corresponde al periodo de 8:00 – 9:00 con un volumen mixto de 782, se puede apreciar que se presentan dos picos importantes el primero se da en la hora de la mañana entre las 7:15 y las 8:15 am y el segundo se da entre las 17:15 y 18:15 teniendo que son los picos normales presentados en el transcurso del día. Se puede apreciar claramente en la gráfica el índice más representativo es el de los vehículos, teniendo también una presencia casi nula de buses y camiones claramente eso se presenta por ser retorno del aeropuerto lugar en donde generalmente tienen acceso livianos y motocicletas. A continuación se puede encontrar lo anteriormente descrito en la figura 27.

Figura 7 Distribución vehicular horaria Calle 26 retorno aeropuerto

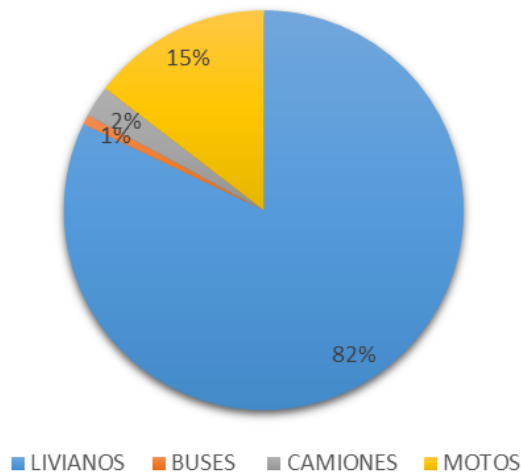


Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la composición vehicular para esta intersección se puede apreciar 82% que corresponde a los livianos, seguido por las motos con una participación del 15%, los camiones con un 2% y mientras que los buses representaron un 1% del total.

Figura 8 Composición vehicular Calle 26 retorno aeropuerto

COMPOSICIÓN VEHICULAR 26 RETORNO AEROPUERTO

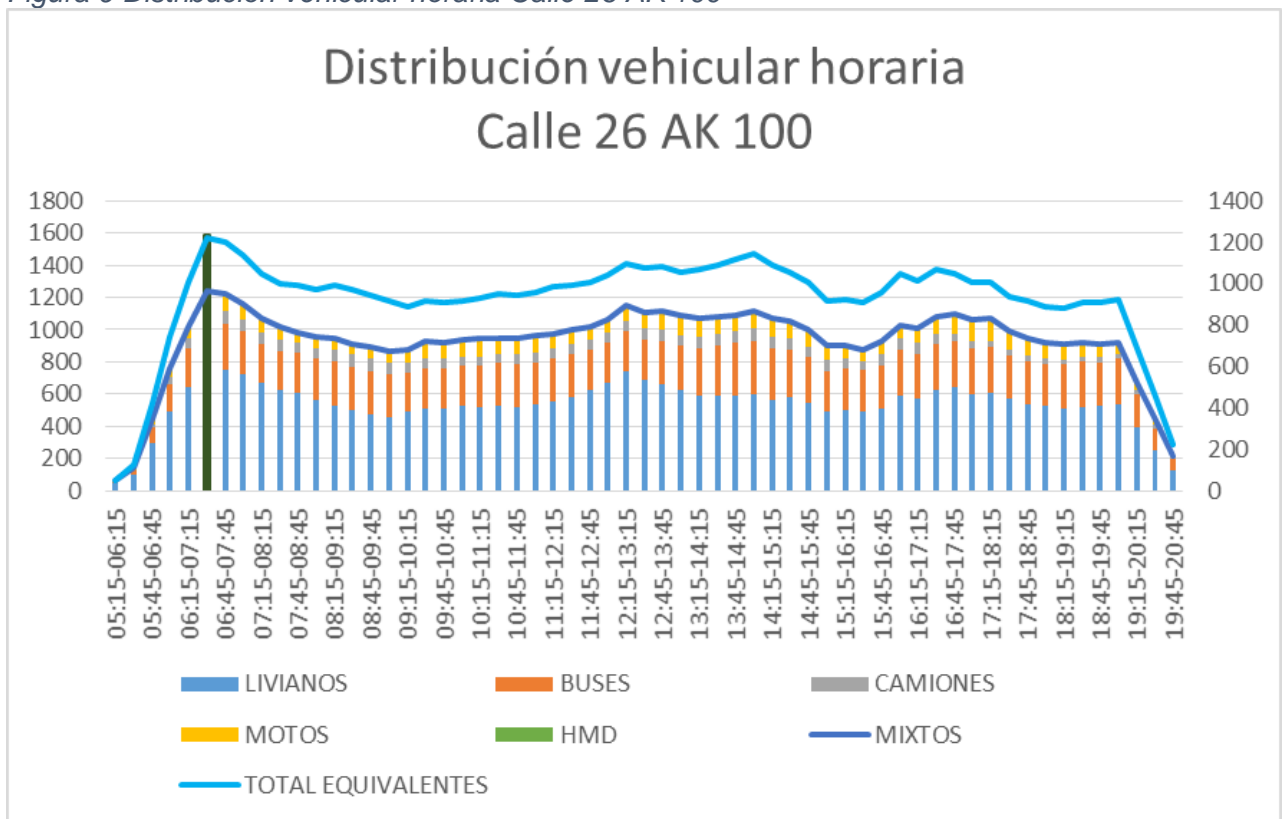


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 AK 100

En el presente tramo vial se tiene que la HMD corresponde al periodo de 6:30 – 7:30 con un volumen mixto de 1238, se puede apreciar que se presentan tres picos importantes el primero se da en la hora de la mañana entre las 6:45 y las 7:45 am y el segundo se da en el medio día entre las 12:15 y 13:15, y el tercero en entre las 16:45 y 17:45 teniendo que son los picos normales presentados en el transcurso del día. Se puede apreciar claramente en la gráfica, el segundo índice más representativo es el de buses. A continuación se puede encontrar lo anteriormente descrito en la figura 9.

Figura 9 Distribución vehicular horaria Calle 26 AK 100



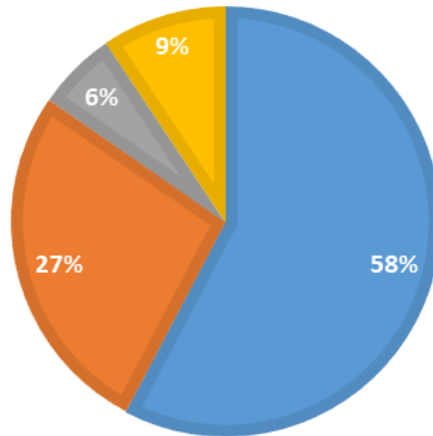
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la composición vehicular para esta intersección se puede apreciar 58% que corresponde a los livianos, seguido por los buses con una participación del 27%, las motos con un 9% y mientras que los camiones representaron un 6% del total.

Figura 10 Composición vehicular Calle 26 AK 100

COMPOSICIÓN VEHICULAR CALLE 26 AK 100

■ LIVIANOS ■ BUSES ■ CAMIONES ■ MOTOS

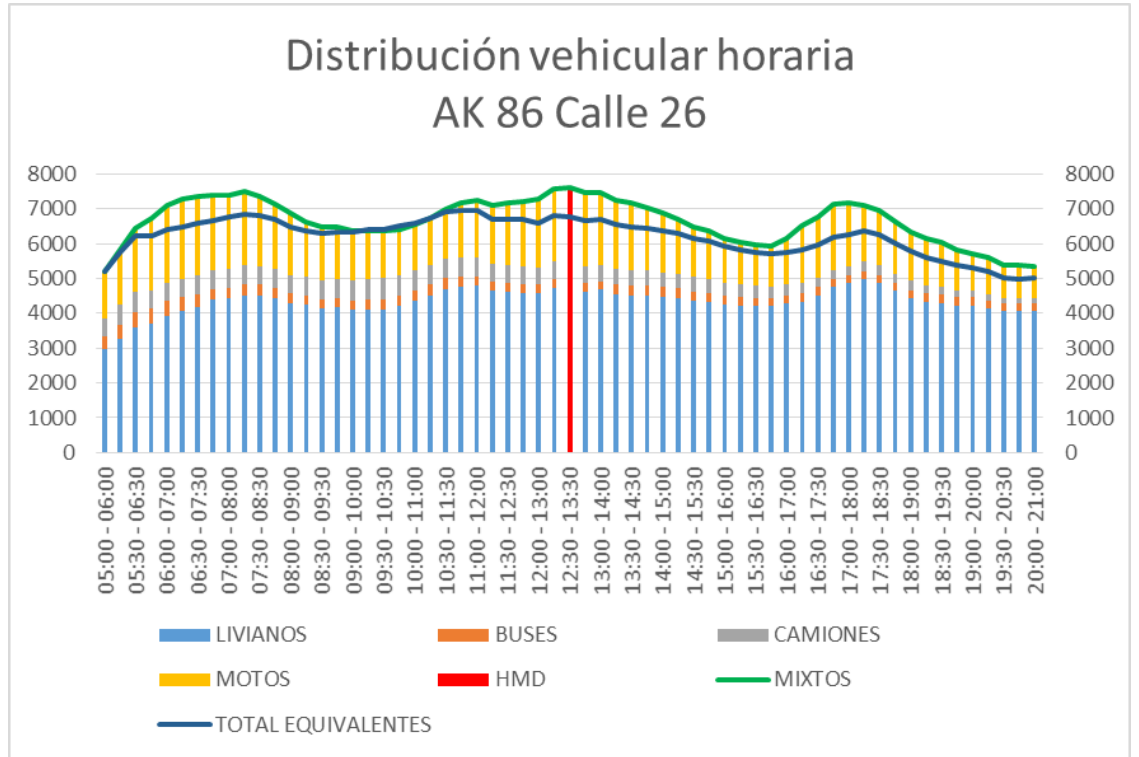


Fuente: *Elaboración Propia*

➤ AK 86 Calle 26

En el presente tramo vial se tiene que la HMD corresponde al periodo de 12:30 – 13:30 con un volumen mixto de 7593, se puede apreciar que se presentan tres picos importantes el primero se da en la hora de la mañana entre las 7:15 y las 8:15 am el segundo se da en el medio día entre las 12:30 y 13:30, y el tercero en la noche entre las 17:00 y 18:00 pm teniendo que son los picos normales presentados en el transcurso del día. Se puede apreciar claramente en la gráfica el segundo índice más representativo es el de las motos y esto causa que el total de equivalentes se presente más bajo que el de mixtos. A continuación se puede encontrar lo anteriormente descrito en la figura 11.

Figura 11 Distribución vehicular horaria AK 86 Calle 26



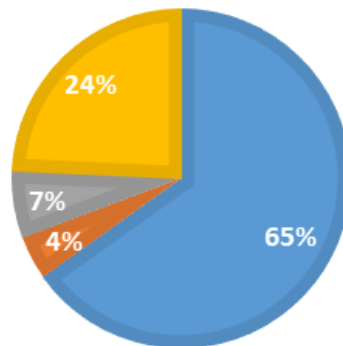
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la composición vehicular para esta intersección se puede apreciar 65% que corresponde a los livianos, seguido por las motos con una participación del 24%, los camiones con un 7% y mientras que los buses representaron un 4% del total.

Figura 12 Composición vehicular AK 86 Calle 26

COMPOSICIÓN VEHICULAR AK 86 CON CALLE 26

■ LIVIANOS ■ BUSES ■ CAMIONES ■ MOTOS

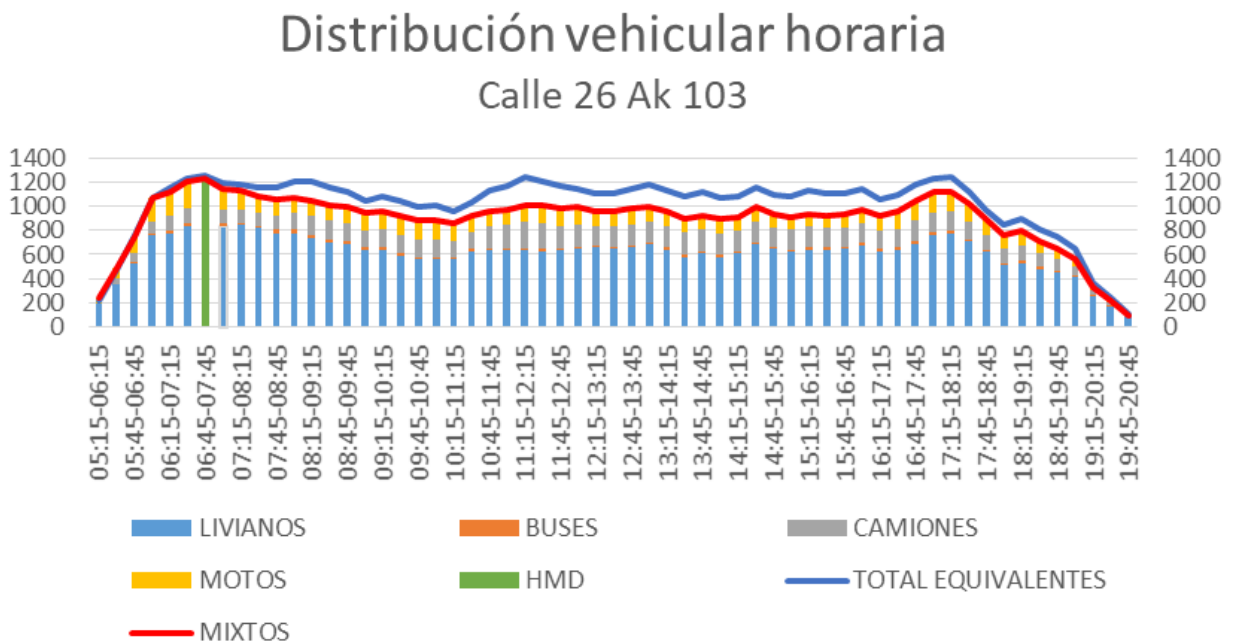


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 Con AK 103

En el presente tramo vial se tiene que la HMD corresponde al periodo de 6:45 – 7:45 con un volumen mixto de 1232, se puede apreciar que se presentan dos picos importantes el primero se da en la hora de la mañana entre las 6:45 y las 7:45 am y el segundo se da entre las 17:15 y 18:15, teniendo que son los picos normales presentados en el transcurso del día. Se puede apreciar claramente en la gráfica el segundo índice más representativo es el de las motos. A continuación se puede encontrar lo anteriormente descrito en la figura 13.

Figura 13 Distribución vehicular horaria Calle 26 con AK 103



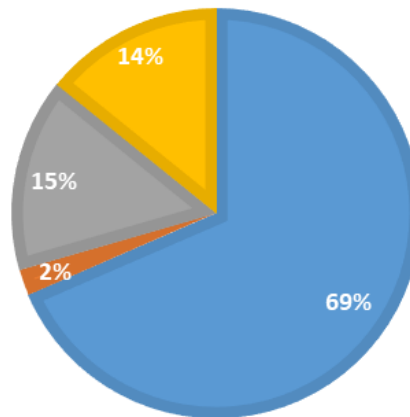
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la composición vehicular para esta intersección se puede apreciar 69% que corresponde a los livianos, seguido por las motos con una participación del 14%, los camiones con un 15% y mientras que los buses representaron un 2% del total.

Figura 14 Composición vehicular Calle 26 AK 103

COMPOSICIÓN VEHICULAR CALLE 26 AK 103

■ LIVIANOS ■ BUSES ■ CAMIONES ■ MOTOS

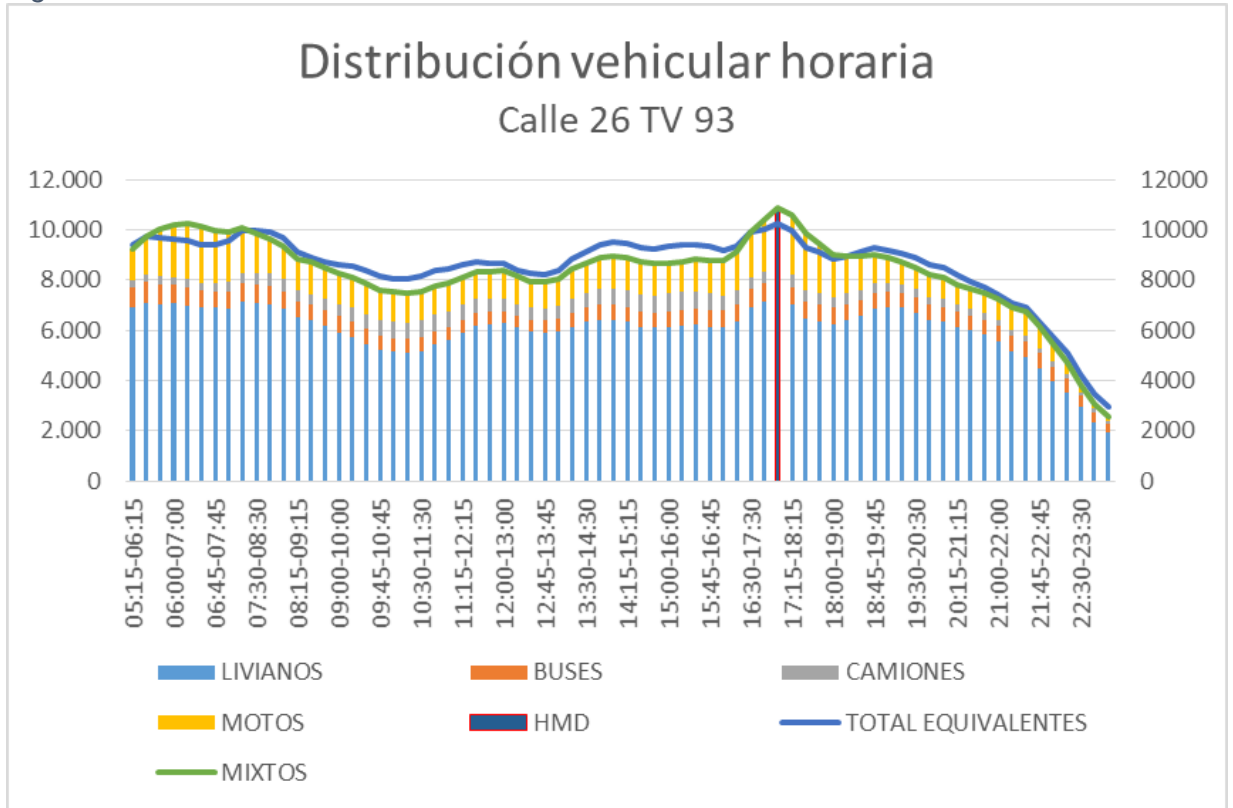


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 TV 93

En el presente tramo vial se tiene que la HMD corresponde al periodo de 17:15 – 18:15 con un volumen mixto de 10855, se puede apreciar que se presentan dos picos importantes el primero se da en la hora de la mañana entre las 6:00 y las 7:00 am y el segundo se da entre las 17:15 y 18:15, teniendo que son los picos normales presentados en el transcurso del día. Se puede apreciar claramente en la gráfica el segundo índice más representativo es el de las motos. A continuación se puede encontrar lo anteriormente descrito en la figura 15.

Figura 15 Distribución vehicular horaria Calle 26 TV 93



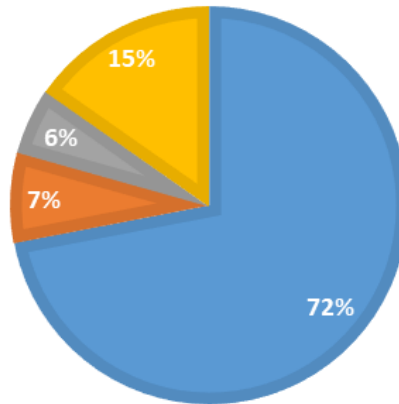
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la composición vehicular para esta intersección se puede apreciar 72% que corresponde a los livianos, seguido por las motos con una participación del 15%, los buses con un 7% y mientras que los camiones representaron un 6% del total.

Figura 16 Composición vehicular Calle 26 TV 93

COMPOSICIÓN VEHICULAR CALLE 26 TV 93

■ LIVIANOS ■ BUSES ■ CAMIONES ■ MOTOS



Fuente: Elaboración Propia

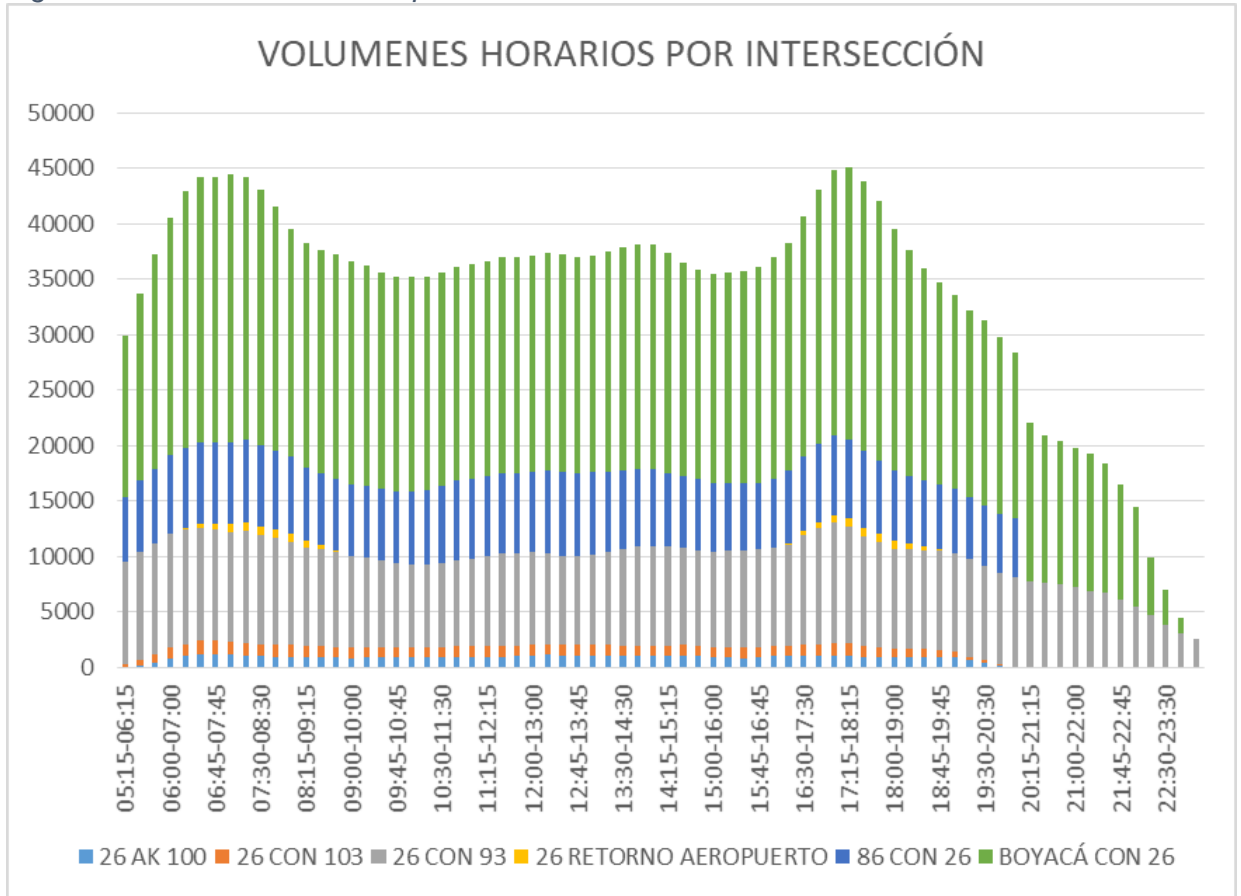
6.1.2. Hora De Máxima Demanda (HMD)

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ítem anterior se determinó la HMD por cada una de las intersecciones, esta se establece a partir del máximo número entre el total de la suma del volumen de livianos, buses, camiones y motos.

Teniendo en cuenta las horas de máxima demanda de las intersecciones difieren se realizó un análisis para la determinación de una HMD para todo el tramo a modelar. A continuación en la figura se puede evidenciar que de la información consolidada de las intersecciones se presenta mayor volumen vehicular tanto en la intersección de la Avenida Boyacá con Calle 26 o avenida el Dorado.

Por otro lado la toma de información se realizó sobre la calle 26 y se evidencia en general una hora de máxima demanda en el periodo de **17:15 – 18:15** por ende se establece esta hora para todas las intersecciones y se procede a la realización de los planos de carga de las respectivos accesos en cada intersección.

Figura 17 Volúmenes Horarios por Intersección

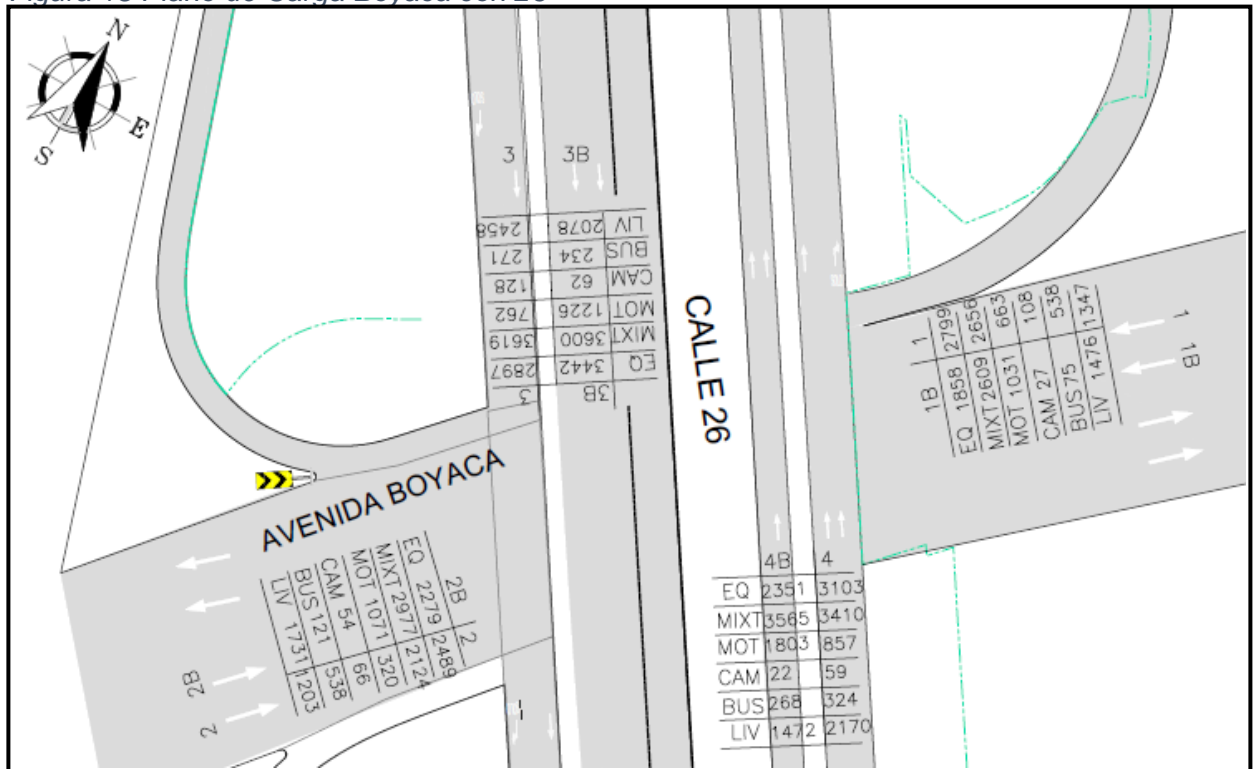


Fuente: Elaboración Propia

6.1.3. Planos De Carga

- Avenida Boyacá Con Calle 26
En el caso de este tramo se cuenta con información de movimientos Norte (1), sur (2), occidente (4) y oriente (3) calzadas lentas y rápidas (B) teniendo los volúmenes ahí descritos para el caso de cada tipo de vehículo, incluido el total de mixtos y equivalentes, en la figura 34 se encuentra el plano de carga en el cual se representa el volumen en cada uno de los accesos para la HMD anteriormente establecida (17:15 – 18:15). (Anexo 4)

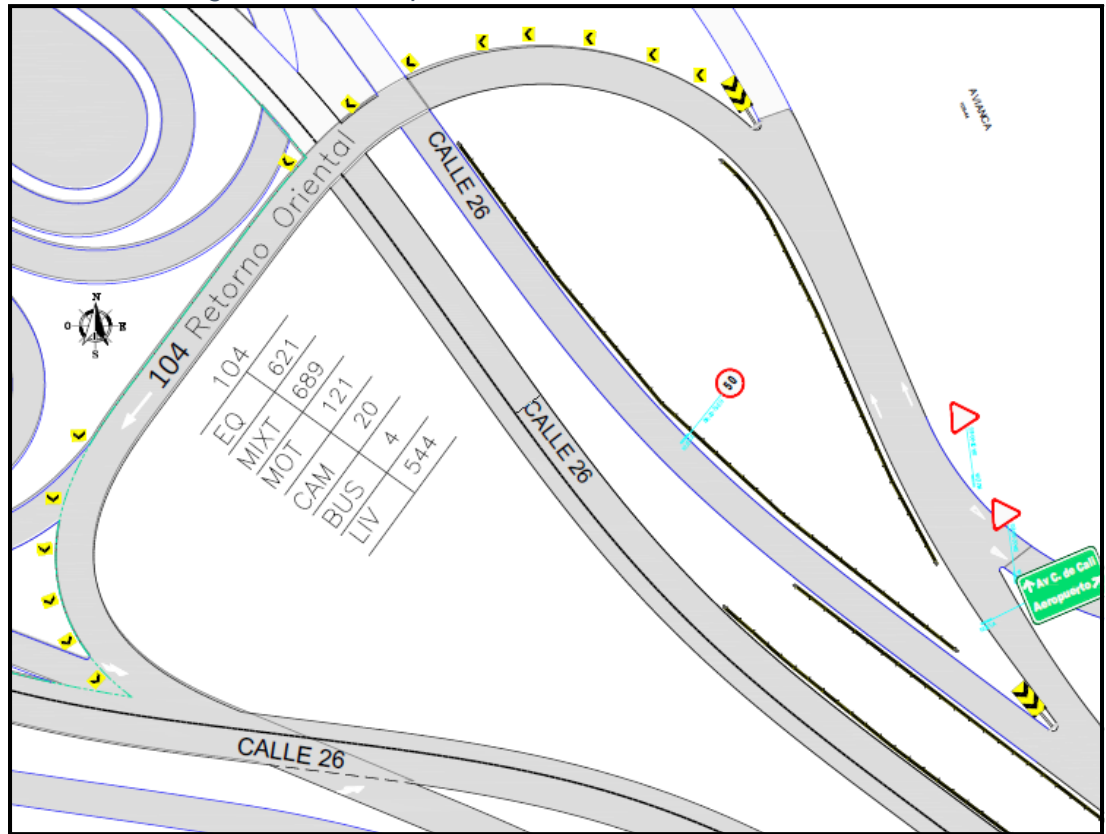
Figura 18 Plano de Carga Boyacá con 26



Fuente: Elaboración Propia

- Calle 26 Retorno Aeropuerto
En esta intersección se presenta un solo movimiento denominado por la risa básica como 104 teniendo los volúmenes descritos para el caso de cada tipo de vehículo, incluido el total de mixtos y equivalentes, en la figura 35 se encuentra el plano de carga en el cual se representa el volumen en el acceso para la HMD anteriormente establecida (17:15 – 18:15).

Figura 19 Plano de carga retorno Aeropuerto

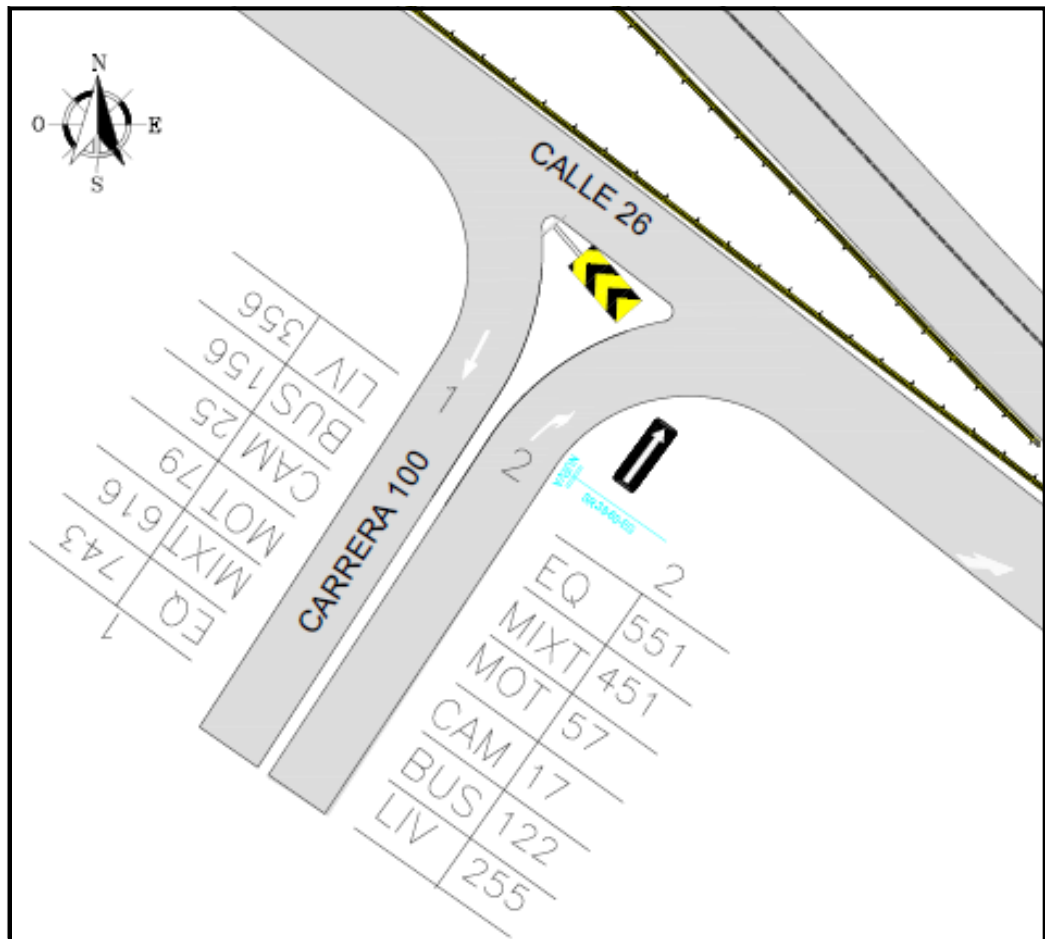


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 Ak 100

En el caso de este tramo se cuenta con información de movimientos Norte (1) y sur (2) teniendo los volúmenes ahí descritos para el caso de cada tipo de vehículo, incluido el total de mixtos y equivalentes, en la figura 36 se encuentra el plano de carga en el cual se representa el volumen en cada uno de los accesos para la HMD anteriormente establecida (17:15 – 18:15).

Figura 20 Plano de carga calle 26 AK 100

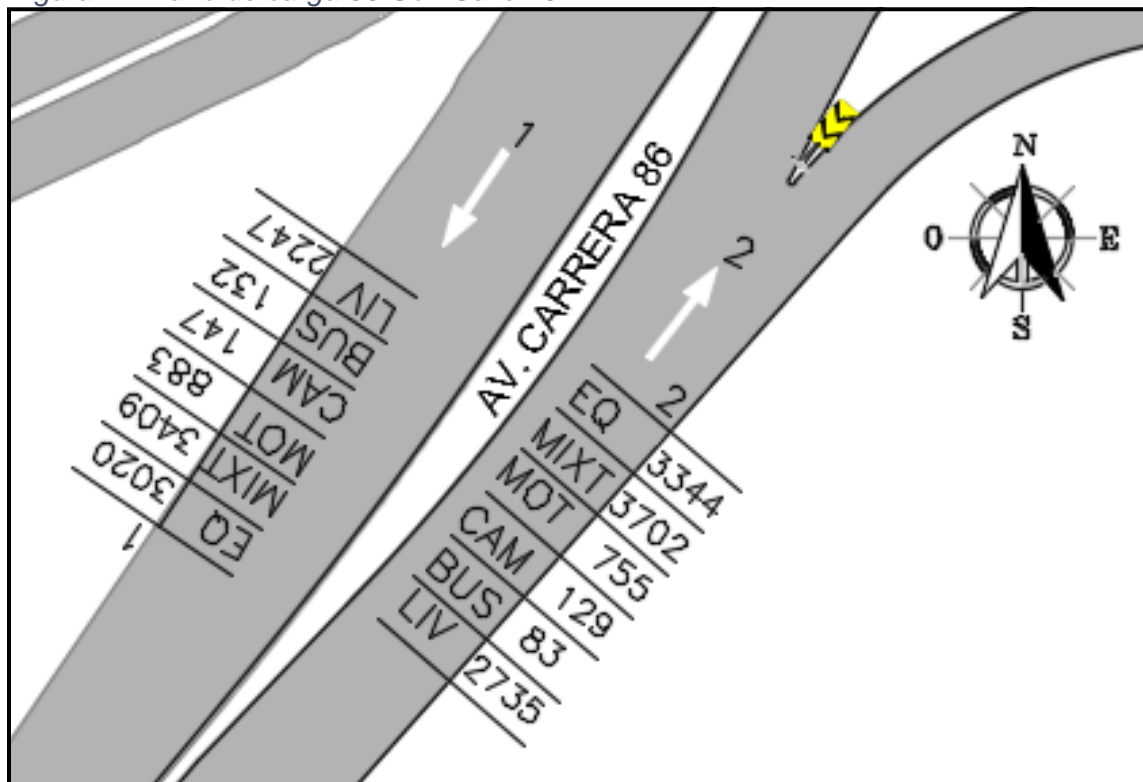


Fuente: Elaboración Propia

➤ AK 86 Calle 26

En el caso de este tramo se cuenta con información de movimientos Norte (1), sur (2), teniendo los volúmenes ahí descritos para el caso de cada tipo de vehículo, incluido el total de mixtos y equivalentes, en la figura 37 se encuentra el plano de carga en el cual se representa el volumen en cada uno de los accesos para la HMD anteriormente establecida (17:15 – 18:15).

Figura 21 Plano de carga 86 Con Calle 26

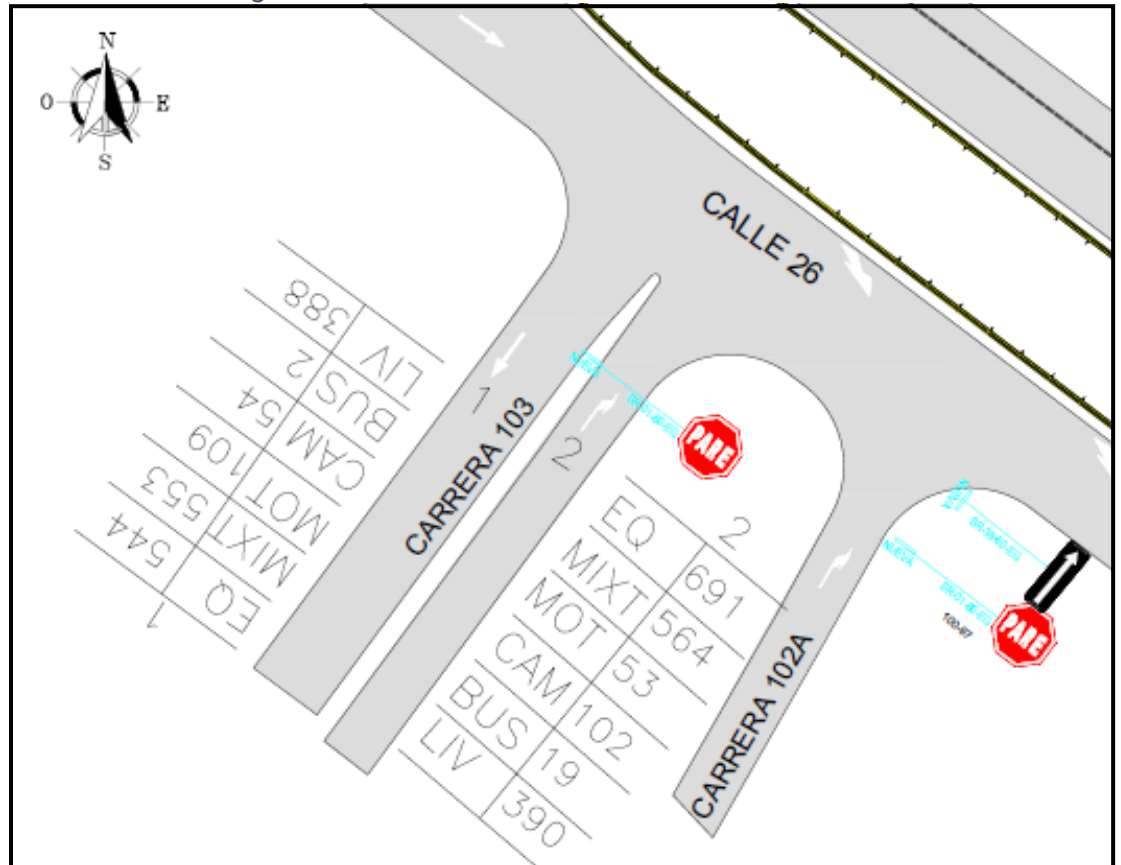


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 Con Ak 103

En el caso de este tramo se cuenta con información de movimientos Norte (1), sur (2), teniendo los volúmenes ahí descritos para el caso de cada tipo de vehículo, incluido el total de mixtos y equivalentes, en la figura 38 se encuentra el plano de carga en el cual se representa el volumen en cada uno de los accesos para la HMD anteriormente establecida (17:15 – 18:15).

Figura 22 Plano de carga calle 26 AK 100

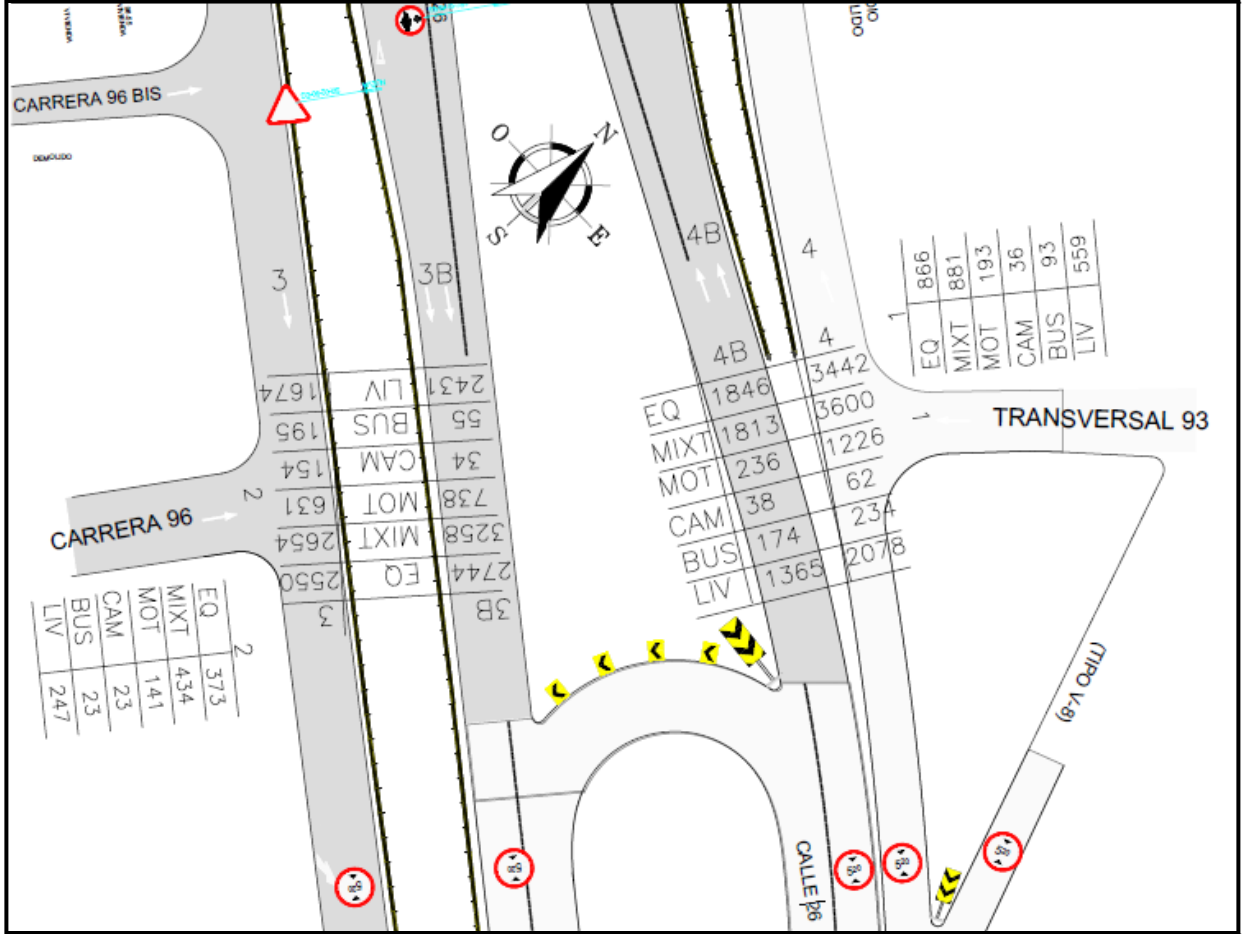


Fuente: Elaboración Propia

➤ Calle 26 TV 93

En el caso de este tramo se cuenta con información de movimientos Norte (1), sur (2), occidente (4) y oriente (3) calzadas lentas y rápidas (B) teniendo los volúmenes ahí descritos para el caso de cada tipo de vehículo, incluido el total de mixtos y equivalentes, en la figura 39 se encuentra el plano de carga en el cual se representa el volumen en cada uno de los accesos para la HMD anteriormente establecida (17:15 – 18:15).

Figura 23 Plano de carga calle 26 TV 93



Fuente: Elaboración Propia

Este análisis se realiza para tener consolidada la información de los volúmenes a ser ingresados en la realización del modelo en cada uno de los accesos para cada uno de los tramos en los cuales se tiene información.

6.2. Análisis De Velocidades de Recorrido

A partir de las BBDDs proporcionadas por la SDM se obtuvo información de velocidades en el tramo analizado (Anexo 5), para el caso de la **Avenida el Dorado** se observa que la velocidad en los accesos tanto E-W como W-E es constante y se mantiene una velocidad promedio de recorrido de 41 Km/h en el transcurso del día, en la **Avenida Boyacá** se observa que tiene un promedio de 29 Km/h en sentido tanto N-S como S-N pero se denota que en el transcurso de la noche la velocidad de este tramo disminuye notoriamente, en la **Avenida Ciudad de Cali** como en la **Carrera 100** se mantiene la velocidad en el transcurso del día con un promedio de

23 Km/h en sentido N-S y S-N. Esta información más detallada se puede encontrar a continuación en la tabla 5:

Tabla 3 Velocidades por intersecciones

| | AM | | | | M | | | | PM | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | E-W | N-S | S-N | W-E | E-W | N-S | S-N | W-E | E-W | N-S | S-N | W-E |
| AVENIDA EL DORADO | 46 | | | 37 | 45 | | | 40 | 40 | | | 38 |
| AVENIDA BOYACA | | 34 | 25 | | | 34 | 30 | | | 24 | 25 | |
| AVENIDA CIUDAD DE CALI | | 26 | 21 | | | 25 | 23 | | | 21 | 21 | |
| CARRERA 100 | | 23 | 23 | | | 21 | 24 | | | 23 | 25 | |

Fuente: Bases de datos SDM

El siguiente es el plano de velocidades se puede evidenciar en color rojo los tramos congestión vehicular y en verde de flujo vehicular continuo y estable.

Figura 24 Plano de velocidades



Fuente: Elaboración Propia

El anterior análisis se realiza con el fin de tener una perspectiva de las velocidades de recorrido que manejan algunos de los tramos del área de estudio para tener en cuenta a la hora de la realización del modelo, teniendo como velocidad promedio de recorrido 28 km/h.

6.3. Análisis De Transporte Público

Dentro del área de estudio se realizó el inventario de las rutas y paraderos del SITP que son cubiertas en esta zona las cuales son:

6.3.1. Paraderos SITP

Los paraderos que se encuentran dentro del área de estudio son en total 20 los cuales se pueden observar sus nombres en la tabla 4.

Tabla 4 Paraderos SITP dentro del área de estudio

| PARADEROS SITP DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO | |
|--|------------------------|
| AC 26 - AK 103 | CL26 - KR103 |
| AC 26 - AK 96 | CL26 - KR106 |
| AC 26 - AV. C. de Cali | Muelle Internacional |
| AC 26 - KR 100 Bis | Normandia |
| AC 26 - KR 103 | PORTAL EL DORADO |
| AC 26 - KR 106 | TV 93 - AC 26 |
| AC 26 - KR 74 | AEROPUERO INT. EL DORA |
| AC 26 - KR 82 | Aeropuerto El Dorado |
| AC 26 - KR 85D | AK 96 - AC 26 |
| AC 26 - TV 93 | Aeronautica Civil |

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se puede ver la distribución en el área de influencia de los paraderos de SITP existentes anteriormente mencionados.

Figura 25 Plano ubicación de paraderos SITP



Fuente: Elaboración Propia

6.3.2. Rutas SITP

Se presentan 24 rutas las cuales pasan por la zona de estudio las cuales son:

Tabla 5 Rutas del SITP que pasan por la zona de estudio

| RUTAS SITP ZONA DE ESTUDIO |
|------------------------------------|
| ARRAYANES - EL PALMAR ENGATIVA 577 |
| AEROPUERTO - CENTRO ANDINO P50011 |
| AEROPUERTO |
| VILLA DEL RIO - CORTIJO 105 |
| GALICIA - SABANAS DEL DORADO 702 |
| SAN PABLO BOSA - BACHUE 927 |
| Alimentador 16-1 |
| Alimentador 16-2 |
| AEROPUERTO - QUIROGA Z9-3 |
| AEROPUERTO - VERBENAL C92 |
| METROVIVIENDA - PORCIUNCULA 723 |
| Alimentador 16-11 |
| Alimentador 16-5 |
| Alimentador 16-6 |
| Alimentador 16-7 |
| Alimentador 16-9 |
| GERMANIA - T31 |
| FONTANAR DEL RIO - T37 |
| MODELIA- T38 |
| LAS BRISAS HB - PROVIVIENDA C70 |
| Alimentador 16-3 |
| Alimentador 16-4 |
| Alimentador 16-10 |
| Alimentador 16-13 |

Fuente: Elaboración Propia

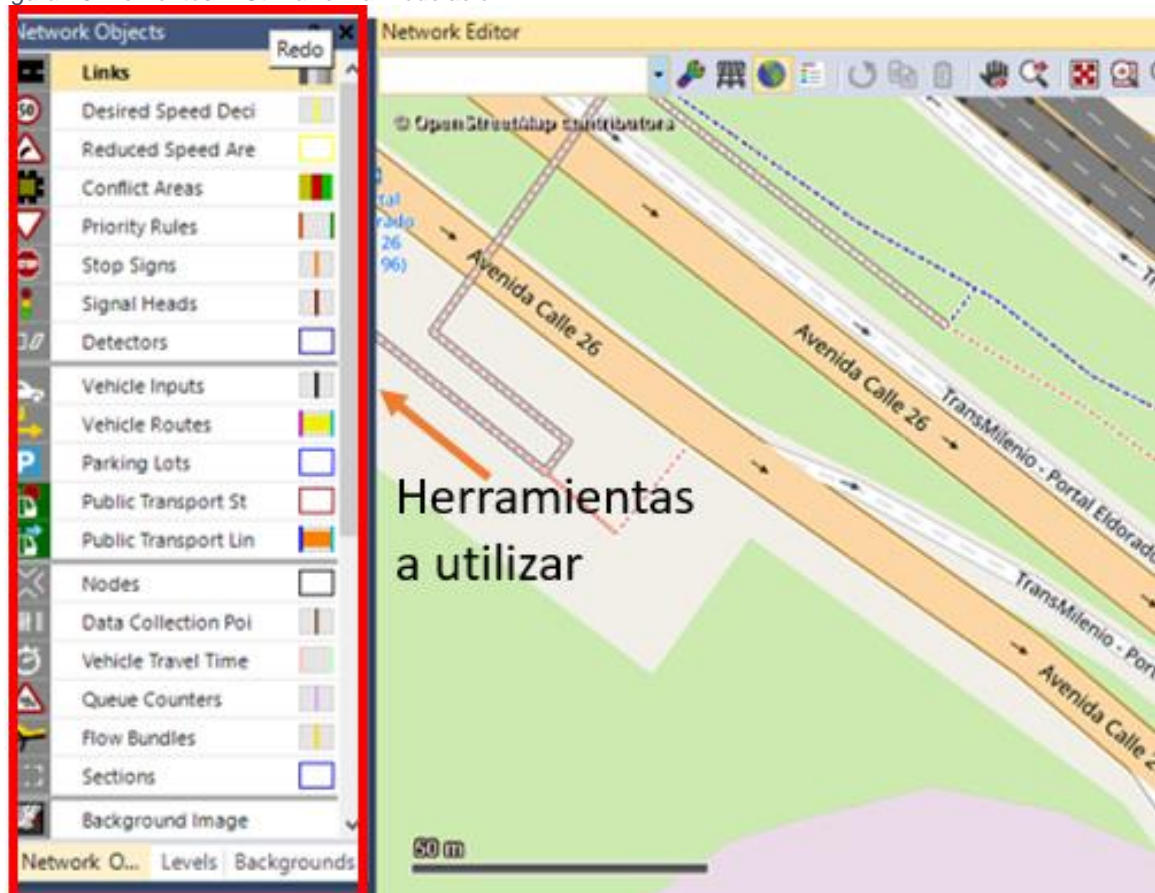
7. MICROMODELO – SIMULACIÓN CON ASIGNACIÓN ESTÁTICA

La red de VISSIM consiste de datos estáticos que permanecen inalterados durante la simulación, los datos estáticos representan la infraestructura vial, los cuales incluyen:

- ▶ Tramos con puntos de inicio y fin así como puntos opcionales intermedios; los tramos son segmentos direccionales con un número específico de carriles
- ▶ Los conectores entre tramos, p.ej. para modelar giros, cierre de carril e incorporación de carril
- ▶ Ubicación y longitud de paradas TP

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene que para la realización del micro modelo con asignación estática conto con la utilización de diferentes elementos mostrados en la figura 26 a continuación

Figura 26 Elementos A Utilizar en la modelación



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.1. Geometría

7.1.1. Link

Uno de los elementos básicos de la red de tráfico representada en Vissim es un **Link** el cual representa una vía o un carril, el cual tiene una dirección de flujo específico, de acuerdo a la configuración del área de estudio se enlazaron los Links con conectores, formando una red continua teniendo en cuenta que solamente los links conectados permiten el tráfico de flujo continuo.

Un link no puede tener múltiples secciones con un número diferente de Carriles, para esto, se deben crear múltiples link para cada sección, Los conectores (a diferencia de los link) deben ser usados para modelar movimientos de giro. Los link no deben girar en las esquinas de una intersección pero deberían extenderse a casi el centro de la intersección (si un número de carriles diferente no permite un "link directo") y en el modelo es representado como se evidencia en la figura 27.

Figura 27 Link y Sentido del flujo



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.1.2. Conector

Otro de los elementos son los **conectores**, con un área de reducción de velocidad en caso de curvatura suficiente. En conectores desde/hacia tramos de VISSIM las áreas de conflicto son creadas, de tal manera que los vehículos entrando/saliendo de la red a través de estos tramos no interfieran

con el tráfico "normal" y en el modelo es representado como se evidencia en la figura 28.

Figura 28 Creación de un conector



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.2. Transporte público

7.2.1. Puntos de parada de transporte público (TP)

Las paradas de TP pueden ser creadas en un carril de un tramo o junto a él. Hay dos tipos de paradas TP:

- Parada en Vía (parada en calzada): un vehículo TP para en el carril de viaje definido por el usuario del tramo seleccionado.
- Bahía para bus (turnout): un vehículo TP para en un tramo especial junto al carril lento del tramo seleccionado.

Para este caso se utilizó en el modelo la parada en vía ya que realizando un estudio en campo se evidenció que en la zona de estudio todas las paradas realizadas por el TP del SITP.

Este tipo de comportamiento de parada realiza la acción en donde los vehículos que se aproximan a un vehículo TP que para por intercambio de pasajeros, intenten sobrepasarlo en un tramo multi-carril, pero esperarán detrás del vehículo TP en un tramo de un solo carril, y en el modelo es representado como se evidencia en la figura 29.

Figura 29 Parada de Transporte Público

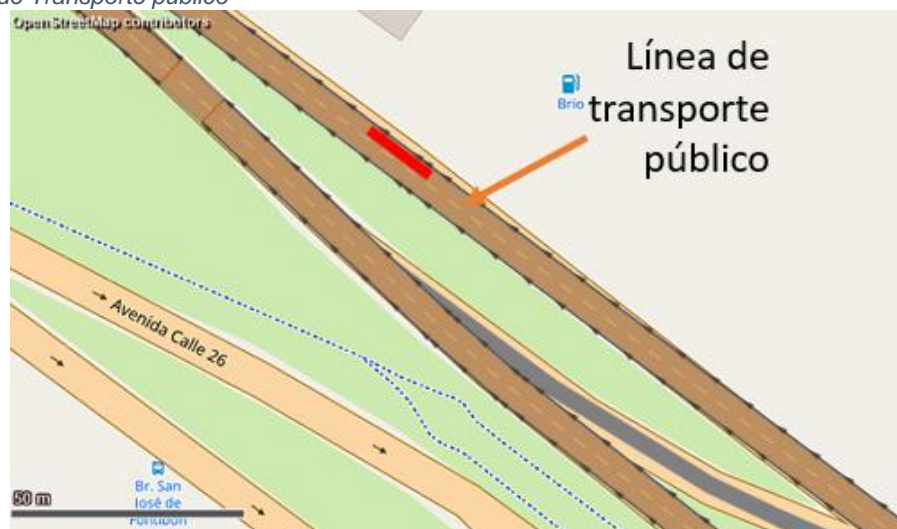


Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.2.2. Líneas de Transporte Público

Las líneas de transporte público se dibujan como Líneas de bus/tranvía incluyendo los atributos opcionales de Telegrama TP para líneas TP. Una línea TP está conformada por buses o vehículos tren ligero/tranvías que sirven una secuencia fija de paradas TP de acuerdo con una tabla de tiempos, en el modelo es representado como se evidencia en la figura 30. El recuadro señalado en rojo indica que ese paradero no tiene ninguna ruta asignada en esa línea, cuando sucede lo contrario y existe alguna ruta en donde este activo el paradero se representa en color verde.

Figura 30 Línea de Transporte público



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.3. Parámetros operacionales

7.3.1. Rutas de Decisión

Las rutas de decisión se vuelven efectivas en el paso de tiempo luego que el vehículo ha cruzado el punto de decisión; así la distancia entre el punto de decisión y el conector siguiente debe ser suficiente. La distancia mínima depende de la velocidad del vehículo más rápido. Si el vehículo más rápido está viajando a una velocidad de 20 metros por segundo, la distancia mínima entre el punto de decisión y el conector es 20 metros si el modelo está corriendo a un paso de tiempo por segundo de simulación.

Figura 31 Ruta de decisión



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.3.2. Reglas de prioridad

El derecho de vía para movimientos conflictivos no regulados por semáforo es modelado con reglas de prioridad. Una regla de prioridad en el modelo consiste de una línea de pare y una marca de conflicto como se puede observar a continuación en la figura 32. Dependiendo de las condiciones actuales en las marcas de conflicto, la línea de pare permite a los vehículos cruzar o no. Las dos condiciones principales para activar En las marcas de conflicto son separación mínima (distancia) y Tiempo de brecha mínima, los cuales se pueden configurar según la condición,

Las marcas de conflicto y las líneas de pare pueden ser definidas por carril o por tramo. De esta manera, la modelación puede ser simplificada. Sin embargo, para parámetros específicos de carril o diferentes posiciones de la línea de pare, debe definirse líneas de pare específicas por carril y el número apropiado de marcas.

Figura 32 Regla de prioridad



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.3.3. Áreas de conflicto

Las áreas de conflicto son un elemento de red que ayuda a regular conflictos entre vehículos en dos tramos o conectores diferentes. Éstas son una alternativa a las reglas de prioridad para la definición de prioridades en intersecciones. Un área de conflicto puede ser definida siempre que dos tramos/conectores en la red de VISSIM se traslapan. Por cada área de conflicto, el usuario puede seleccionar cuál de los tramos conflictivos tiene el derecho de vía. El color verde indica la vía que se determina como principal o a quien se le concede el derecho de vía, el color rojo por el contrario indica la vía de menor jerarquía es decir la que cede el paso como se puede observar en la figura 33.

Figura 33 áreas de conflicto



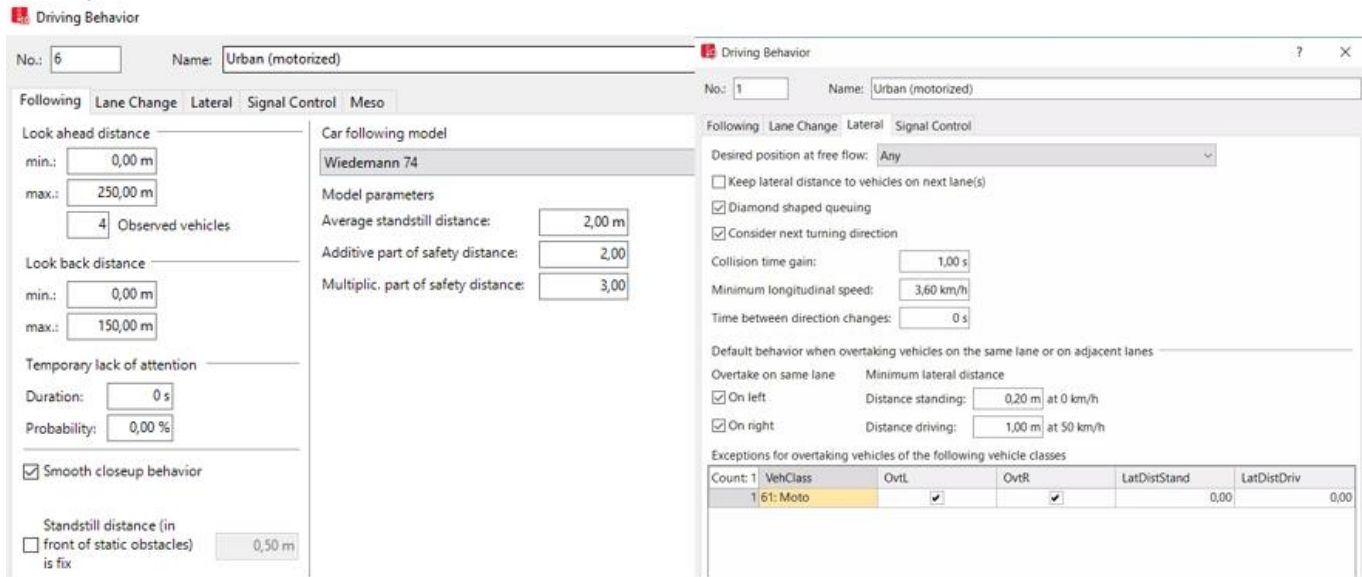
Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.3.4. Comportamiento de conducción

Los modelos de seguimiento de vehículo y de cambio de carril en VISSIM usan un rango extenso de parámetros. Algunos de éstos pueden ser adaptados según la experiencia del usuario para cambiar el comportamiento de conducción básico. El modelo de flujos de tráfico en VISSIM es un modelo microscópico y es basado en el trabajo continuado de Wiedemann. La idea básica de este modelo es la suposición de que un conductor puede estar en uno de los cuatro modos de conducción como lo son conducción libre, aproximación, seguimiento y frenado. Cada uno de estos modos contiene diferentes parámetros como distancia de visión frontal, número de vehículos observados, distancia de visión trasera, tiempo de espera, separación, factor de reducción, entre otros.

Para el caso del presente modelo se agrega un factor de comportamiento adicional para las motocicletas en donde tienen los parámetros anteriormente mencionados reducidos, generando así que dicho comportamiento se asemeje al de las motocicletas en la ciudad de Bogotá dentro de la zona de influencia.

Figura 34 Comportamiento de conducción



Fuente: (Logistics T. M., 2012)

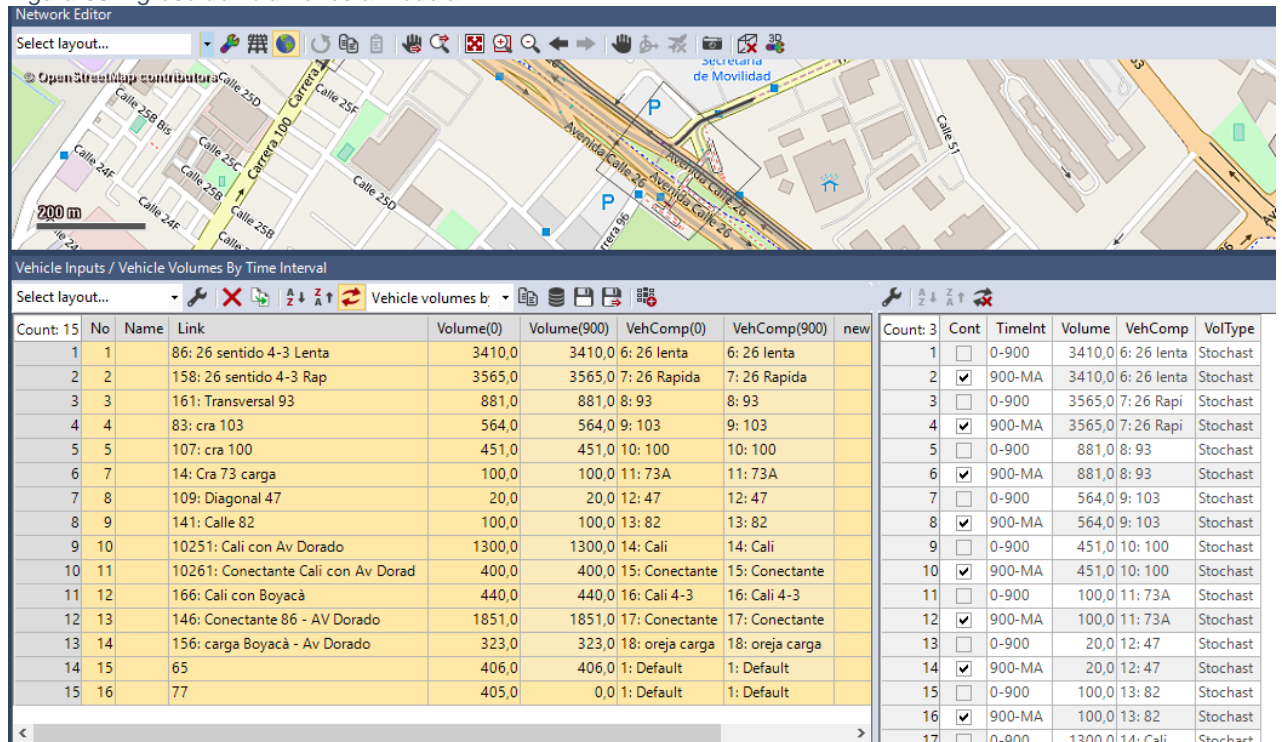
7.4. Demanda

7.4.1. Entrada de volúmenes

En VISSIM, los volúmenes de tráfico variables en el tiempo que ingresan a la red pueden ser definidos. Para la definición de una entrada de vehículos, al menos una composición de vehículos debe estar definida, dichos volúmenes de tráfico son definidos para cada tramo y cada intervalo de tiempo en vehículos por hora aún si los intervalos de tiempo son diferentes a una hora.

A partir de la información proporcionada por SDM se generaron los planos de carga mencionados en el capítulo 6.1.3 con los volúmenes horarios por tipo de vehículo de la HMD en la zona de estudio, dichos volúmenes se toman como la información principal con la que se cuenta la modelación, como se observa en la figura 35.

Figura 35 Ingreso de volúmenes a modelar



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.4.2. Composiciones vehiculares

Las composiciones de vehículos representan la mezcla de tipos de vehículo y deben ser definidas antes que las entradas de vehículos.

Una composición de vehículos consiste en una lista de uno o más tipos de vehículos. Para cada uno de estos tipos, un porcentaje de flujo y una distribución de velocidad son asignados.

Para el caso específico del modelo se ingresó el tipo de vehículo por intersección a analizar asignando los respectivos porcentajes para su distribución como se muestra a continuación.

Figura 36 Composiciones vehiculares



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

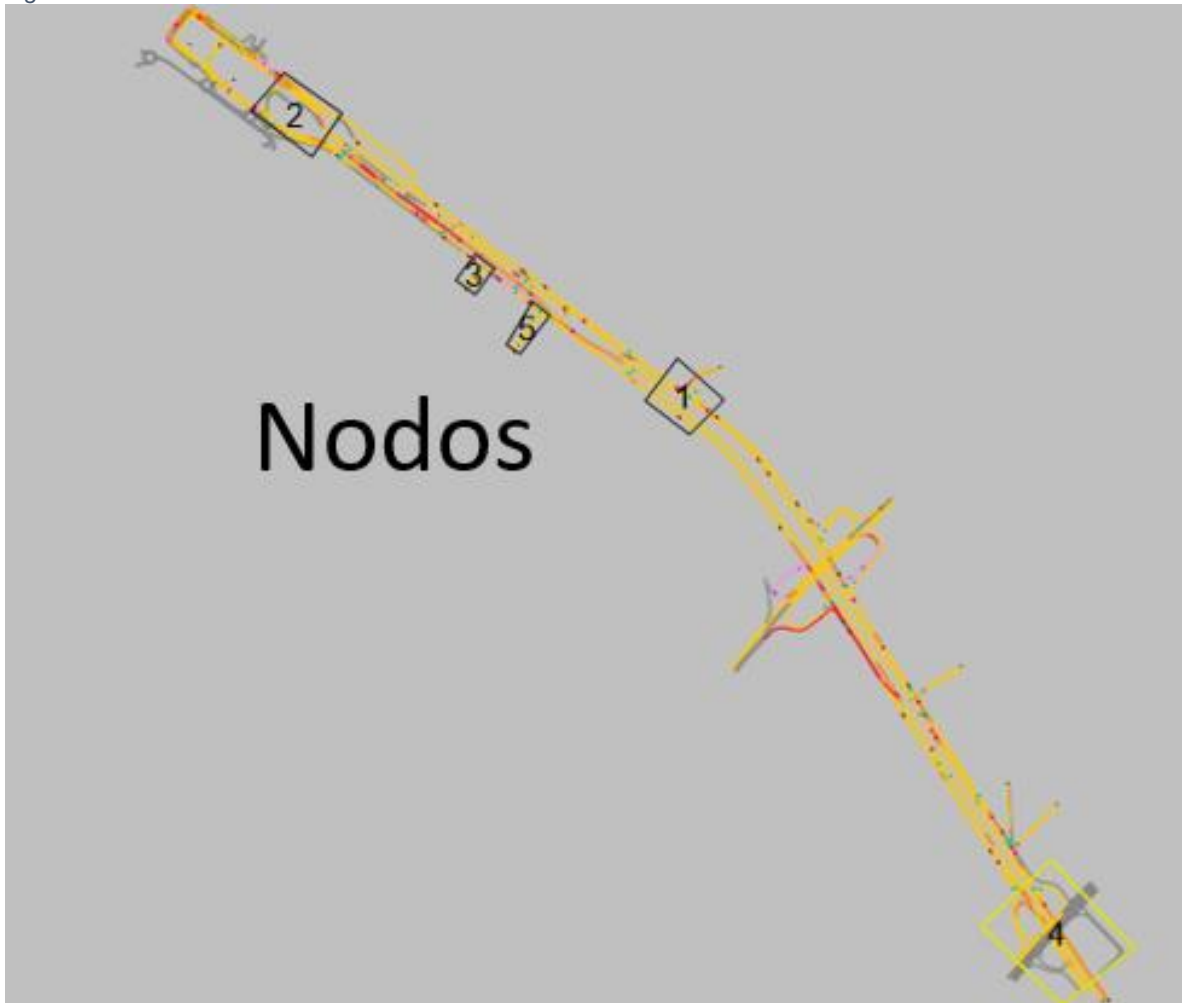
7.5. Evaluación

7.5.1. Nodos

Para reducir la complejidad de la red y así reducir el tiempo de procesamiento y almacenamiento para las rutas, es de gran importancia definir algunas partes de la red de vissim como lo es los nodos, son utilizados en las divisiones de las rutas, los nodos serán los equivalentes en donde se describen como intersecciones estos también se deben definir en los extremos de los tramos en los límites de la red.

Para realizar la evaluación específica de los puntos fue necesario hacer la creación de 5 nodos, estos fueron ubicados en los puntos con mayor intersección a lo largo de la red vial, con el fin de obtener una información exacta del comportamiento a lo largo de toda la zona de influencia como se puede apreciar a continuación en la figura 37 cada uno de los recuadros negros enumerados del 1 al 5 representan cada uno de los nodos.

Figura 37 Nodos



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.5.1.1. Nodo 1

Figura 38 Vista en planta Nodo 1



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

El nodo 1 de evaluación está compuesto por los movimientos 1 de la transversal 93, los movimientos 4 y 4B de la Avenida el Dorado arrojando los siguientes resultados de modelación.

Tabla 6 Resultados Modelación Nodo 1

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | Volumen modelado |
|----|--------------|------------|-----------|------------|------------------|
| 1 | 69 | 69 | 93 | 4B | 1651 |
| 1 | 86 | 86 | 93 | 4 | 2456 |
| 1 | 161 | 86 | 93 | 1 | 911 |

Fuente: Propia

Y la vista de la modelación en 3D se representa gráficamente a continuación.

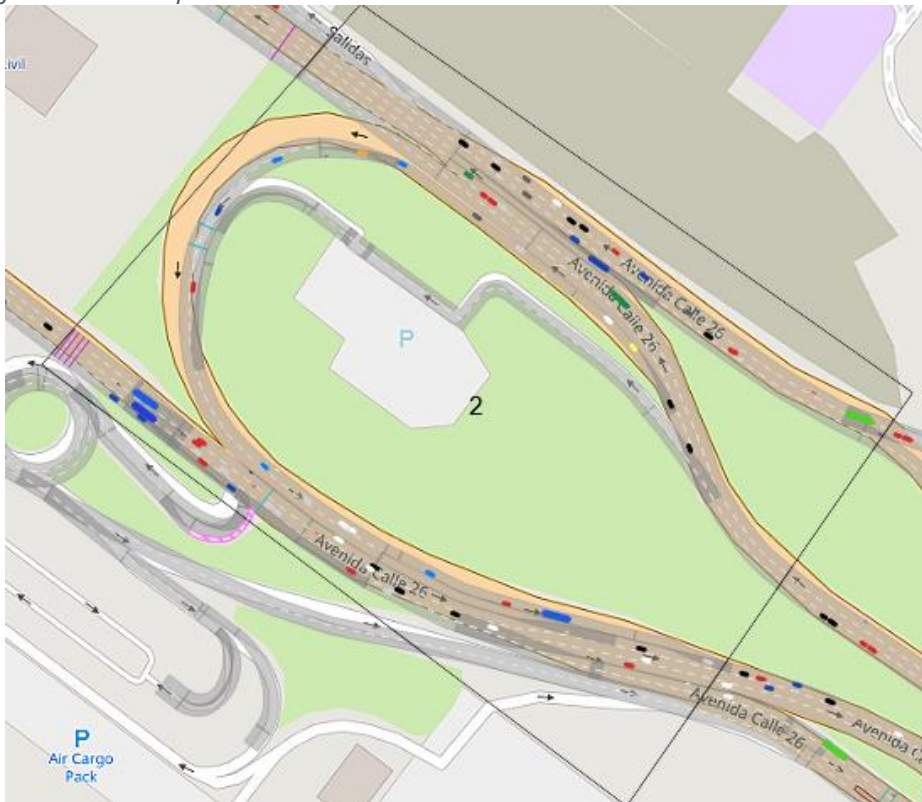
Figura 39 Vista 3D Nodo 1



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.5.1.2. Nodo 2

Figura 40 Vista en planta Nodo 2



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

El nodo 2 de evaluación está compuesto por el movimiento 104 del retorno al aeropuerto arrojando los siguientes resultados de modelación.

Tabla 7 Resultados Modelación Nodo 2

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | Volumen modelado |
|----|--------------|------------|-----------|------------|------------------|
| 2 | 37 | 63 | retorno | 104 | 827 |

Fuente: Elaboración Propia

Y la vista de la modelación en 3D se representa gráficamente a continuación.

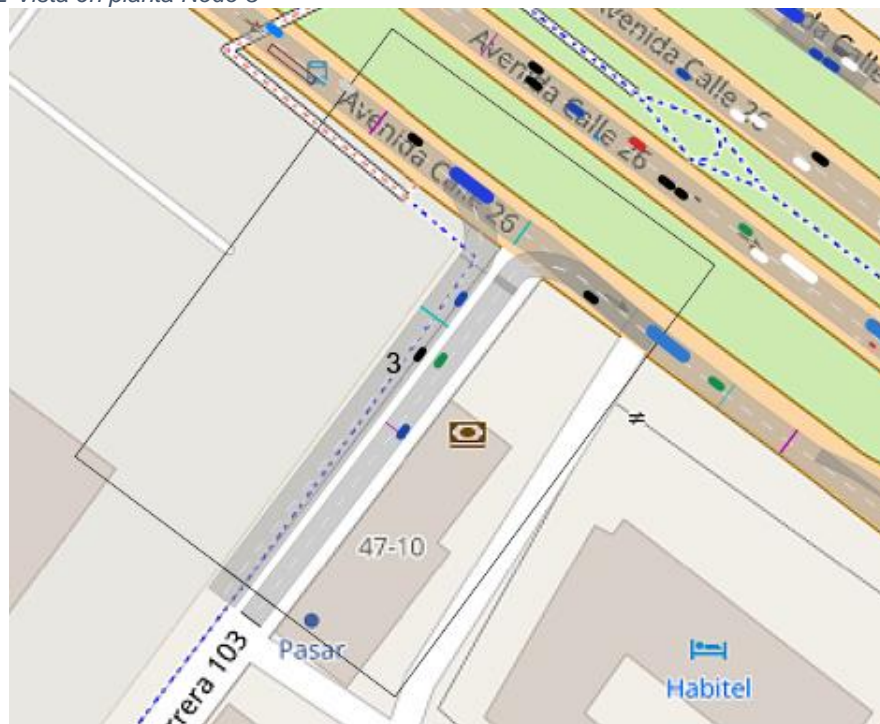
Figura 41 Vista 3D Nodo 2



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.5.1.3. Nodo 3

Figura 42 Vista en planta Nodo 3



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

El nodo 3 de evaluación está compuesto por el movimiento 2 del acceso a la Carrera 103 arrojando los siguientes resultados de modelación.

Tabla 8 Resultados Modelación Nodo 3

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | Volumen modelado |
|----|--------------|------------|-----------|------------|------------------|
| 3 | 83 | 4 | kr 103 | 2 | 560 |

Fuente: Elaboración Propia

Y la vista de la modelación en 3D se representa gráficamente a continuación.

Figura 43 Vista 3D Nodo 3



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.5.1.4. Nodo 4

Figura 44 Vista en planta Nodo 4



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

El nodo 4 de evaluación está compuesto por los movimientos 3, 3B, 4 y 4B de la Avenida el Dorado con Avenida Boyacá arrojando los siguientes resultados de modelación.

Tabla 9 Resultados Modelación Nodo 4

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | Volumen modelado |
|----|--------------|------------|-------------|------------|------------------|
| 4 | 3 | 3 | 26 x Boyacá | 3B | 3104 |
| 4 | 85 | 85 | 26 x Boyacá | 3 | 3537 |
| 4 | 86 | 86 | 26 x Boyacá | 4 | 3338 |
| 4 | 158 | 158 | 26 x Boyacá | 4B | 3455 |

Fuente: Elaboración Propia

Y la vista de la modelación en 3D se representa gráficamente a continuación.

Figura 45 Vista 3D Nodo 4

©OpenStreetMap contributors



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.5.1.5. Nodo 5

Figura 46 Vista en planta Nodo 5



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

El nodo 5 de evaluación está compuesto por el movimiento 2 de la Carrera 100 con Avenida el Dorado arrojando los siguientes resultados de modelación.

Tabla 10 Resultados Modelación Nodo 5

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | Volumen modelado |
|----|--------------|------------|-----------|------------|------------------|
| 5 | 107 | 4 | kr 100 | 2 | 489 |

Fuente: Elaboración Propia

Y la vista de la modelación en 3D se representa gráficamente a continuación.

Figura 47 Vista 3D Nodo 5



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.5.2. Simulación

VISSIM ofrece una amplia gama de evaluaciones que resultan en Presentación de datos durante una simulación, para este caso se realizó la configuración de los parámetros a evaluar con los tiempos y las veces que se realice la iteración, esto se hace con el fin de que la calibración genere un alto nivel de confianza, por ello se decidió realizar la evaluación con 20 iteraciones y su promedio fue el dato usado para la realización de la calibración, contando con 900 segundos de precarga que son 15 minutos y 4500 segundos (75 minutos) de evaluación del modelo. Como se aprecia en la figura 38.

Figura 48 Parámetros de Simulación

Evaluation Configuration

Evaluation output directory: D:\Mis documentos\Desktop\Modelación Tatiana Cifuentes y Sergio

Result Management | Result Attributes | Direct Output

Additionally collect data for these classes:

Vehicle Classes

- 10: Car
- 20: HGV
- 30: Bus
- 40: Tram
- 50: Pedestrian
- 60: Bike
- 70: Motos

Pedestrian Classes

- 10: Man, Woman
- 30: Wheelchair User

| | Collect data | From time | To time | Interval | |
|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------|----------|---------|
| Area measurements | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Areas & ramps | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Data collections | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Delays | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Links | <input checked="" type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | More... |
| Nodes | <input checked="" type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | More... |
| Pedestrian Grid Cells | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | More... |
| Pedestrian network performance | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Pedestrian travel times | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Queue counters | <input type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | More... |
| Vehicle network performance | <input checked="" type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | |
| Vehicle travel times | <input checked="" type="checkbox"/> | 900 | 4500 | 3600 | More... |

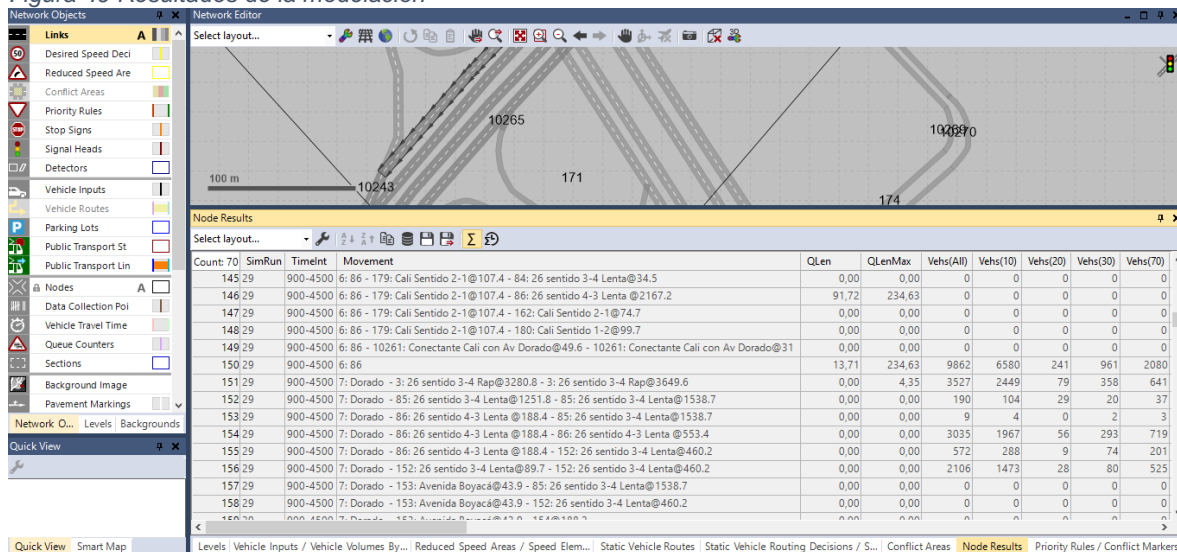
Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.6. Resultados

Los resultados de una Evaluación de Nodo son agrupados por movimientos direccionales, 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.

En este caso se escogen las áreas de mayor intersección para poder obtener información relevante y de igual forma las que contaban con información de volúmenes, por otro lado con el nodo se identifica el tipo de link involucrado y el sentido para poder realizar el análisis de volúmenes y así llegar a tener un modelo calibrado. La representación gráfica de los resultados los arroja por medio de una tabla con los diferentes volúmenes tanto totales como por tipo de vehículo como se puede apreciar en la figura 49. El modelo realizado se puede encontrar en el anexo 6.

Figura 49 Resultados de la modelación



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

7.7. GENERACIÓN DE RESULTADOS MICROMODELO

Una vez finalizadas las iteraciones del modelo se procede a realizar un promedio para obtener un punto confiable de los respectivos datos, con el fin tener los parámetros iniciales para la realización del cálculo de capacidad y nivel de servicio, además de los principales parámetros para realizar la calibración del modelo y confirmar que los datos a procesar son los que se asemejan a la realidad. Los resultados completos del modelo se pueden encontrar en el Anexo 7.

Figura 50 Resultados finales de la modelación

| | | | MODELADO | INGRESADO | vehiculos total | 10 Livianos | 20 camiones | 30 Buses | 70 Motos |
|---|----------|---|----------|-----------|-----------------|-------------|-------------|----------|----------|
| 1 | 900-4500 | 1: 93 - 69: 26 sentido 4-3 Rap@1463.7 - 69: 26 sentido 4-3 Rap@ | 1651 | 1813 | 1217 | 29 | 211 | 194 | 1651 |
| 1 | 900-4500 | 1: 93 - 86: 26 sentido 4-3 Lenta @2742.9 - 86: 26 sentido 4-3 Len | 2456 | 3600 | 783 | 26 | 216 | 520 | 1545 |
| 1 | 900-4500 | 1: 93 - 161: Transversal 93@93.0 - 86: 26 sentido 4-3 Lenta @297 | 911 | 881 | 555 | 37 | 101 | 218 | 911 |
| 1 | 900-4500 | 2: Retorno - 37@134.7 - 63@146.7 | 827 | 689 | 6 | 0 | 4 | 0 | 10 |
| 1 | 900-4500 | 3: 103 - 83: cra 103@5.9 - 4: 26 sentido 3-4 Lenta@8.5 | 560 | 564 | 398 | 91 | 19 | 52 | 560 |
| 1 | 900-4500 | 4: 100 - 107: cra 100@7.3 - 4: 26 sentido 3-4 Lenta@287.0 | 489 | 451 | 267 | 27 | 121 | 74 | 489 |
| 1 | 900-4500 | 5: Dorado - 3: 26 sentido 3-4 Rap@3280.8 - 3: 26 sentido 3-4 Ra | 3104 | 3600 | 2119 | 77 | 362 | 546 | 3104 |
| 1 | 900-4500 | 5: Dorado - 86: 26 sentido 4-3 Lenta @96.6 - 86: 26 sentido 4-3 | 3338 | 3410 | 1776 | 47 | 241 | 659 | 2723 |
| 1 | 900-4500 | 5: Dorado - 158: 26 sentido 4-3 Rap@83.8 - 158: 26 sentido 4-3 | 3455 | 3565 | 1402 | 36 | 317 | 1700 | 3455 |

Fuente: Elaboración Propia

7.8. CALIBRACIÓN

Calibración es un término que describe una amplia gama de ajustes que se pueden hacer a la codificación del modelo, parámetros y demanda con el fin

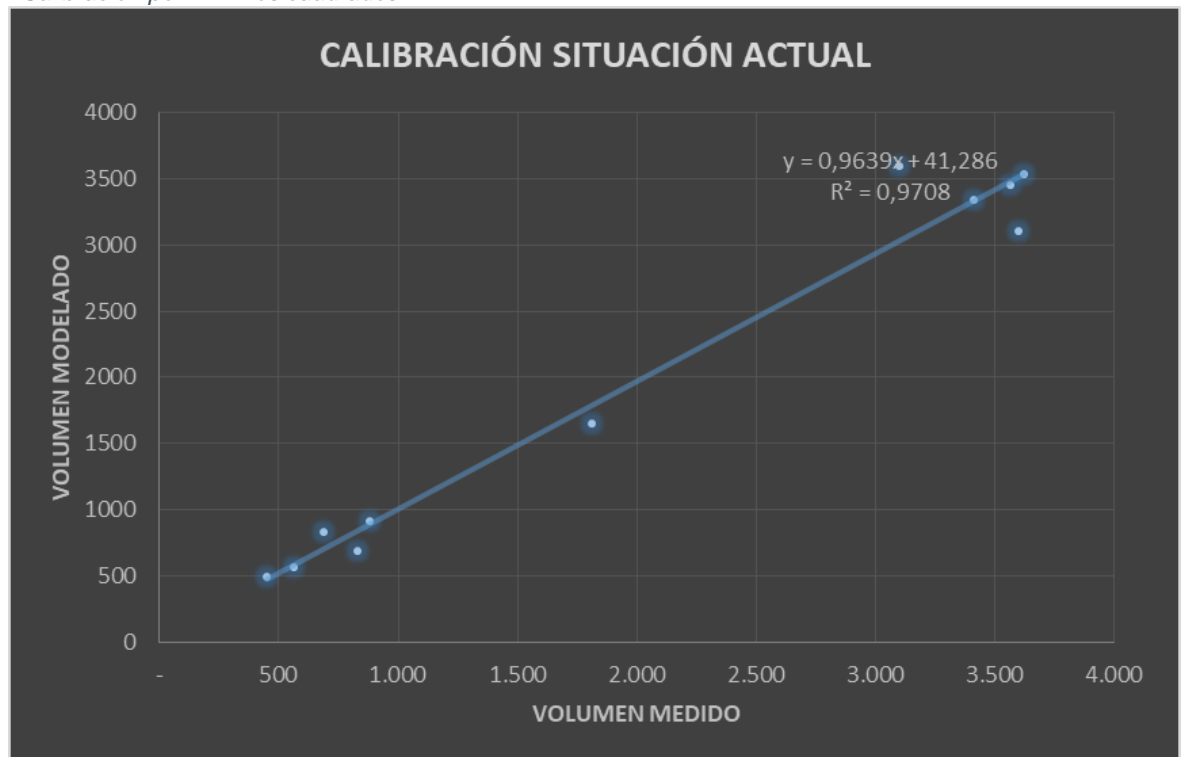
de ayudar en el desarrollo de una simulación precisa, La validación de la calibración es un proceso importante en la simulación del transporte al igual que la revisión general de la consistencia del modelo, En este caso, se utilizan los resultados de los volúmenes mencionados en el capítulo 6,1, estos definen la calibración del modelo. (Transport Roads & Maritime Services, 2013, pág. 83)

El proceso de calibración consta de 3 indicadores; el primero consiste en una regresión por mínimos cuadrados el cual arroja como resultado un coeficiente de correlación R² y una pendiente, valores cercanos a la unidad en los dos casos indican una aproximación deseable del modelo llamado el coeficiente de correlación de Pearson, El ideal para un modelo de transporte corresponde a una regresión lineal definida por una pendiente de 1.0 y un término independiente de 0.

Para este caso en particular los valores de R² y pendiente en este caso son:

R²: 0,97 y pendiente de 0,96

Figura 51 Calibración por mínimos cuadrados



Fuente: Elaboración Propia

Otro indicador es el uso del estadístico GEH (1) se determina la aceptación de la calibración.

Ecuación 1 Determinación del indicador GEH

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

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 arcos modelados y que contienen información de aforos, el indicador GEH (Transport Roads & Maritime Services, 2013, pág. 84) teóricamente no debe ser mayor de 10 como se indica en la tabla 11.

Tabla 11 Criterios de validación GEH

| GEH | |
|----------------|--|
| 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 en el proceso de calibración por medio de este indicador se presentan en la tabla 12.

Tabla 12 Resultados Calibración por GEH

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | Volumen Medido | Volumen modelado | GEH | Aceptación |
|----|--------------|------------|-----------|------------|----------------|------------------|-------|------------|
| 1 | 69 | 69 | 93 | 4B | 1.813 | 1651 | 3,893 | ok |
| 2 | 86 | 86 | 93 | 4 | 3.100 | 3600 | 8,639 | ok |
| 3 | 161 | 86 | 93 | 1 | 881 | 911 | 1,002 | ok |
| 4 | 37 | 63 | retorno | 104 | 689 | 827 | 5,012 | ok |
| 5 | 3 | 3 | 26 x boy | 3B | 3.600 | 3104 | 8,567 | ok |
| 6 | 86 | 86 | 26 x boy | 4 | 3.410 | 3338 | 1,240 | ok |
| 7 | 158 | 158 | 26 x boy | 4B | 3.565 | 3455 | 1,857 | ok |
| 8 | 85 | 85 | 26 x boy | 3 | 3.619 | 3537 | 1,371 | ok |
| 9 | 83 | 4 | kr 103 | 2 | 564 | 560 | 0,169 | ok |
| 10 | 107 | 4 | kr 100 | 2 | 451 | 489 | 1,753 | ok |
| 11 | 37 | 63 | retorno | 104 | 827 | 689 | 5,012 | ok |

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, el indicador RMSE el cual es una medida de desempeño cuantitativa utilizada comúnmente para evaluar métodos de pronóstico de demanda. Este es calculado como se indica en la ecuación 2

Ecuación 2 Determinación del indicador RMSE

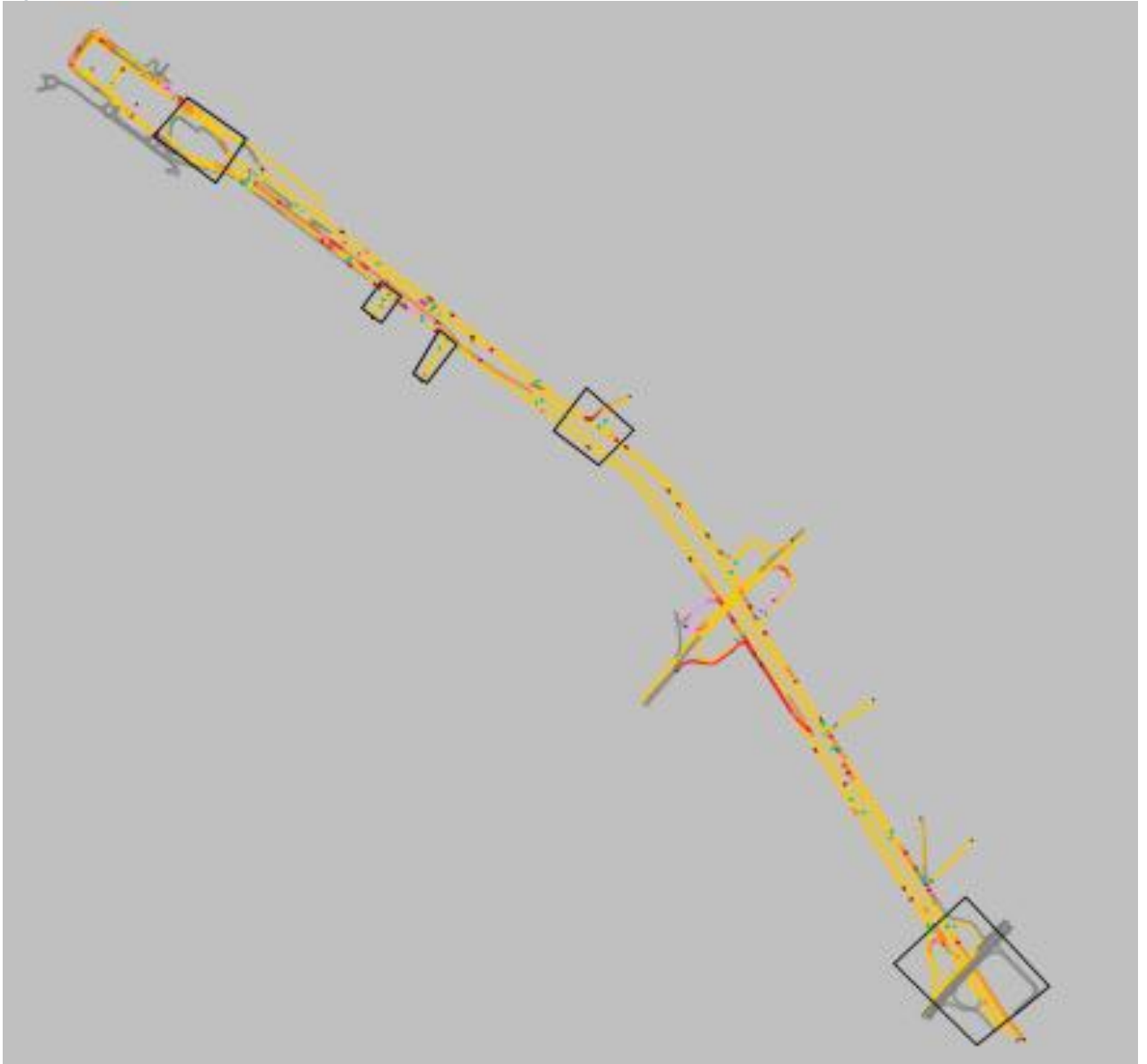
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2}$$

Consiste en la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores cuadráticos y es utilizado 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 es equivalente al **19%**.

Teniendo en cuenta los anteriores resultados se puede concluir que el modelo se encuentra **correctamente calibrado**. Estos resultados se pueden encontrar en el Anexo 7.

Adicionalmente se analizó la velocidad de recorrido obteniendo que la velocidad modelada es de 27 km/h y la medida en campo es de 29 km/h dando así una validación de las velocidades manejadas en el modelo a lo largo de las iteraciones realizadas, al realizar la comparación de la figura 42 con la figura 24 del capítulo 6.2 en donde se representó gráficamente las velocidades iniciales tomadas en campo proporcionadas por la SDM se pueden observar similitudes en el comportamiento de las velocidades de recorrido con las modeladas a partir del volumen ingresado al modelo.

Figura 52 Velocidades Modeladas Vissim



Fuente: Elaboración Propia a partir de (PTV GROUP, 2012)

8. ANALISIS DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Se realizó el cálculo a partir de la metodología propuesta por el HCM para la realización del análisis de capacidad y nivel de servicio de una vía multicarril como es el caso de la zona de estudio (Anexo 7), teniendo como referencia los volúmenes modelados por el software VISSIM y los volúmenes proporcionados por SDM por medio de BBDD.

Para iniciar el análisis se toman como referencia los criterios para la determinación de los niveles de servicio en vías multicarril los cuales se encuentran en la figura 43, teniendo en cuenta la metodología y las condiciones operativas se elige la velocidad de 70 km/ h siendo la más cercana a estas condiciones para una vía multicarril.

Figura 53 criterios de determinación de Niveles de servicio

| Velocidad a flujo libre | Criterio | Nivel de servicio | | | | |
|-------------------------|--|-------------------|------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E |
| 100 km/h | Densidad máxima (Veh/km/carril) | 7 | 11 | 16 | 22 | 25 |
| | Velocidad media (km/h) | 100 | 100 | 98.4 | 91.5 | 88 |
| | Máxima relación volumen / capacidad (Veh/h/carril) | 0.32 | 0.50 | 0.72 | 0.92 | 1 |
| | Máxima tasa de flujo (Veh/h/carril) | 700 | 1100 | 1575 | 2015 | 2200 |
| 90 km/h | Densidad máxima (Veh/km/carril) | 7 | 11 | 19 | 22 | 26 |
| | Velocidad media (km/h) | 90 | 90 | 89.8 | 84.7 | 80.8 |
| | Máxima relación volumen / capacidad (Veh/h/carril) | 0.30 | 0.47 | 0.68 | 0.89 | 1 |
| | Máxima tasa de flujo (Veh/h/carril) | 630 | 990 | 1435 | 1860 | 2100 |
| 80 km/h | Densidad máxima (Veh/km/carril) | 7 | 11 | 16 | 22 | 27 |
| | Velocidad media (km/h) | 80 | 80 | 80 | 77.6 | 74.1 |
| | Máxima relación volumen / capacidad (Veh/h/carril) | 0.28 | 0.44 | 0.64 | 0.85 | 1 |
| | Máxima tasa de flujo (Veh/h/carril) | 560 | 880 | 1280 | 1705 | 2000 |
| 70 km/h | Densidad máxima (Veh/km/carril) | 7 | 11 | 16 | 22 | 28 |
| | Velocidad media (km/h) | 70 | 70 | 70 | 69.6 | 67.9 |
| | Máxima relación volumen / capacidad (Veh/h/carril) | 0.26 | 0.41 | 0.59 | 0.81 | 1 |
| | Máxima tasa de flujo (Veh/h/carril) | 490 | 770 | 1120 | 1530 | 1900 |

Fuente: (Highway capacity manual (HCM), 2010)

8.1. Nivel de servicio

A partir de los resultados de la modelación se determina la máxima tasa de flujo (veh/h/carril) la cual es el punto inicial para la determinación de los rangos del nivel de servicio como se observa en la figura 54 para cada una de las intersecciones modelada se determina el nivel de servicio, esto se debe a que la evaluación se realizó en diferentes nodos y a su vez cada uno cuenta con diferentes planos de carga, lo que genera que el mismo movimiento presente dos tipos de niveles de servicio debido a la congestión presentada en los diferentes puntos, caso específico

de Los movimientos 4B y 4, los cuales fueron evaluados tanto en la Avenida el dorado con Boyacá como a la altura de la transversal 93.

Figura 54 Determinación del nivel de servicio

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | máxima tasa de flujo | Nivel de Servicio | |
|----|--------------|------------|-----------|------------|----------------------|-------------------|------|
| 1 | 69 | 69 | 93 | 4B | 1834 | D | 0,81 |
| 2 | 86 | 86 | 93 | 4 | 2952 | F | 1,1 |
| 3 | 3 | 3 | 26 x boy | 3B | 3265 | F | 1,1 |
| 4 | 86 | 86 | 26 x boy | 4 | 3123 | F | 1,1 |
| 5 | 158 | 158 | 26 x boy | 4B | 2539 | F | 1,1 |
| 6 | 85 | 85 | 26 x boy | 3 | 1804 | D | 0,81 |

Fuente: Elaboración Propia

8.2. Capacidad

Una vez evaluado el nivel de servicio y la máxima tasa de flujo se cuenta con el parámetro de máxima relación volumen / capacidad (veh/ h/ carril) para cada uno de los movimientos obteniendo las diferentes capacidades por carril de la siguiente forma.

Ecuación 3 Nivel de servicio

$$\frac{\text{maxima relación Volumen}}{\text{Capacidad (veh/h/carril)}} = \text{Nivel de servicio}$$

Ecuación 4 Capacidad

$$\text{Capacidad (veh /h /carril)} = \frac{\text{maxima relación Volumen}}{\text{Nivel de servicio}}$$

Para cada uno de los movimientos se realizó el cálculo la capacidad teniendo los siguientes resultados de capacidad en el tramo analizado:

Figura 55 Determinación del Nivel de Servicio

| N° | Link inicial | Link final | Ubicación | Movimiento | máxima tasa de flujo | Nivel de Servicio | CARRILES | CAPACIDAD |
|----|--------------|------------|-----------|------------|----------------------|-------------------|----------|-----------|
| 1 | 69 | 69 | 93 | 4B | 1834 | 0,81 | 2 | 1132 |
| 2 | 86 | 86 | 93 | 4 | 2952 | 1,1 | 2 | 1342 |
| 3 | 3 | 3 | 26 x boy | 3B | 3265 | 1,1 | 2 | 1484 |
| 4 | 86 | 86 | 26 x boy | 4 | 3123 | 1,1 | 2 | 1420 |
| 5 | 158 | 158 | 26 x boy | 4B | 2539 | 1,1 | 2 | 1154 |
| 6 | 85 | 85 | 26 x boy | 3 | 1804 | 0,81 | 2 | 1114 |

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que la máxima capacidad teórica admitida por carril es de 1800 veh/h / carril, se tiene que las capacidades calculadas se encuentran dentro de los parámetros establecidos, definiendo como capacidad para la calzada lenta 1292 veh/h/carril y para la calzada rápida 1257 veh/h/carril.

La evidencia en videos del modelo se encuentra en el anexo 8.

9. POSIBLES ALTERNATIVAS DE MEJORA

- ✓ A partir del comportamiento del modelo se evidencio que el número de paradas de transporte público en cada paradero genera demoras y esto a su vez afecta el nivel de servicio en el tramo vial se plantea como posible solución que los paraderos no sean sobre la vía sino tengan una bahía para realizar las acciones de ascenso y descenso de pasajeros con el fin de acceder al servicio de transporte público.
- ✓ El corredor presenta en general, pero es más notorio en el sector del aeropuerto una sección transversal no prismática lo cual genera confluencias, una posible solución a esto sería realizar la canalización de todo en un solo carril que entre y salga.
- ✓ En general los intercambios no cuentan con carriles de desaceleración lo cual genera interferencias y posibles accidentes a la hora en que los vehículos van a realizar intercambios de calzada por ende sería importante contar con estos carriles para evitar choques o diferentes situaciones que se puedan presentar en estos casos y a su vez afectar el nivel de servicio.
- ✓ Se recomienda la reorganización y regulación del transporte público definiendo para ello rutas principales y frecuencias las cuales no entorpezcan el nivel de servicio del tramo analizado.
- ✓ Otro aspecto a evaluar es la promoción de campañas las cuales concienticen a los conductores ya que las congestiones vehiculares no se producen solo por factores de geometría y señalización sino por falta de cultura por parte de los conductores y peatones los cuales en algunos casos por imprudencias pueden llegar a ser la causa de accidentes y esto lleva a la afectación del nivel de servicio de la vía.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al análisis de las bases de datos proporcionadas por SMD se puede concluir que

- ▶ La hora de máxima demanda (HMD) vehicular del tramo analizado se presenta entre las 17:15 - 18:15 pm.
- ▶ Dentro de la composición vehicular en la HMD obtenida en los aforos realizados por SDM se determinó que el 64% del total de vehículos aforados pertenecen a livianos, 27% pertenecen a motos, 8% pertenece a buses y 3% a camiones.
- ▶ La realización de los planos de carga se basó en la información disponible en las BBDD suministradas por la SDM.
- ▶ Para realizar el análisis de los volúmenes en vehículos equivalentes se utilizaron factores de equivalencia de 1 para el caso de livianos, 2 para los buses, 2.5 para camiones y de 0,16 para el caso de las motocicletas.
- ▶ El total de rutas de transporte público que transitan por el área de estudio fue de 24 entre SITP y alimentadores, con una frecuencia promedio de 20 minutos.
- ▶ En cuanto a los paraderos de SITP, se encuentran dentro del área de estudio un total de 20.
- ▶ La velocidad promedio de recorrido del tramo de estudio es de 29 km/h, registrada a partir de las mediciones de campo en las BBDD.

En cuanto a la modelación realizada en el software Vissim se puede concluir que

- ▶ 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 los cuales son densidad máxima, velocidad media, máxima relación volumen/ capacidad y máxima tasa de flujo.
- ▶ Por medio de la modelación fue posible realizar la evaluación del comportamiento vial partiendo de los volúmenes vehiculares y condiciones imperantes de la infraestructura y operación, lo anterior constituye un paso preliminar para el diseño, planeación de posibles intervenciones de mejora.
- ▶ El proceso de calibración del modelo logró indicadores estadísticos acertados lo cual permite asegurar la consistencia, representatividad y confiabilidad del modelo realizado. Esto se confirma luego de analizar los resultados generados al someterlos ante indicadores de calibración

como: el estadístico GEH, la correlación de Pearson y el indicador RMSE en cada una de las mismas se obtuvieron indicadores de bondad aceptables, para el caso un GEH promedio de 3,5, un RMSE de 19% y una correlación de Pearson con un R^2 de 0,97 y una pendiente 0,96.

- ▶ Una vez finalizada la simulación se procedió a verificar la velocidad de recorrido resultante obteniendo valor de 27 km/h, la cual se asemeja a la medida en campo que como anteriormente se mencionó para el área de estudio es de 29 km/h, teniendo otro parámetro para verificar la confiabilidad del modelo.
- ▶ El software permite realizar la modelación por tipo de vehículo y debido al elevado número de motos se consideró necesario hacerla de esta forma para obtener un comportamiento más cercano a la situación real en este tramo vial.

La evaluación de capacidad y nivel de servicio se realizó por medio de la metodología HCM para una vía multicarril, con esta metodología y las condiciones operativas se toma una velocidad a flujo libre de 70 km/h siendo la más cercana a una vial multicarril.

Para el presente tramo a partir de la modelación y el cálculo por el método HCM el nivel de servicio para este tramo vial es F y una capacidad promedio para calzada lenta de 1292 veh/h/carril y para calzada rápida de 1257 veh/h/carril. Lo anterior se debe básicamente a los grandes volúmenes de tránsito que se generan por ser este el único acceso vial al aeropuerto El Dorado de Bogotá.

Se considera importante conocer este tipo de indicadores ya que son los que determinan el nivel de confort y la calidad del servicio que brinda la infraestructura teniendo que en cuenta su ubicación estratégica como eje conector entre el aeropuerto el dorado y el centro de la capital.

11. REFERENCIAS

- AL-QADI I., S. T. (2009). *Efficient Transportation and Pavement Systems, Characterization, Mechanisms, Simulation and Modeling*. London U. K. BOYCE: Taylor y Francis Group.
- Asociados, C. y. (2005). *Manual de Planeación de Tránsito y Transporte* . Bogotá: C&M.
- Barceló, J. (2010). *Fundamentals of traffic simulation*. Barcelona : Springer.
- Board, T. R. (2010). *Highway capacity manual (HCM)*. Washinton D.C.: National academies.
- CDMX. (10 de 2016). *Educación Ambiental* . Obtenido de <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/educacionambiental/index.php/en/2016/un-enemigo-invisible-de-la-atmosfera-ozono-bueno-y-ozono-malo>
- Dusan Teodorovic, M. J. (2017). *Transportation Engineering*. India : Peter Jardim .
- Google. (02 de 03 de 2018). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/>
- Grisales, R. C. (1994). *Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones* . Mexico: Alfaomega.
- Logistics, P. T. (Mayo de 2012). VISSIM . Alemania .
- Logistics, T. M. (05 de 2012). *Vissim Manual del Usuario* . Obtenido de www.ptv-vision.com
- Martin Fellendorf, P. V. (2010). *Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM*. Austria: University of tecnolog graz, rechbauerstrasse .
- Orozco, G. M. (23 de 02 de 2017). *Prueba de ruta* . Obtenido de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/instituciones/consejo-superior-de-politica-fiscal-confis-de-colombia>
- Rodriguez, N. (29 de Junio de 2014). *Manual de topografía forense aplicado a la investigación y reconstrucción de muertes violentas*. Obtenido de http://nelsonrodriguezforense.mex.tl/308206_ACCIDENTES-DE-TRANSITO.html
- Tránsito, P. (2012). *Manual de diligenciamiento del informe policial de accidente de tránsito* . Bogotá .

Transport Roads & Maritime Services. (2013). *Traffic Modelling Guidelines* . NSW Government.

Valdés, D. P. (26 de Octubre de 2007). *Qué son las bases de datos*. Obtenido de <http://www.maestrosdelweb.com/que-son-las-bases-de-datos/>

12. ANEXOS

Anexo 1: base de datos suministrada por la SDM (Digital)

Anexo 2: Distribución vehicular horaria SDM (Digital)

Anexo 3: Resultados distribución vehicular horaria (Digital)

Anexo 4: Planos de carga (Digital)

Anexo 5: Velocidades de recorrido (Digital)

Anexo 6: Micro modelo realizado en Vissim (Digital)

Anexo 7: Resultados del modelo, Calibración y cálculo de capacidad y nivel de servicio (Digital)

Anexo 8: Videos de micro simulación (Digital)