Evaluación de alternativas para mejorar el Nivel de Servicio en la Intersección Vial entre la Avenida Caracas y la Avenida Ciudad de Villavicencio

Cristian Andrés Pulido

Sergio Daniel Pérez Pintor

Asesor:

Ing. Carlos Herberty Velandia Rodríguez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad Tecnológica

Ingeniería Civil

Bogotá, agosto de 2020

Evaluación de alternativas para mejorar el Nivel de Servicio en la Intersección Vial entre la Avenida Caracas y la Avenida Ciudad de Villavicencio

Cristian Andrés Pulido

Sergio Daniel Pérez Pintor

Asesor:

Ing. Carlos Herberty Velandia Rodríguez

Trabajo para Optar por el Título:

Ingeniero Civil

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad Tecnológica

Ingeniería Civil

Bogotá, agosto de 2020

Contenido

1. Resumen 10
2. Abstract 11
3. Introducción 12
4. Planteamiento del Problema 14
5. Justificación 15
6. Objetivos 16
6.1. Objetivo General 16
6.2. Objetivos Específicos 16
7. Metodología de la investigación 17
8. Marco teórico 18
8.1. Marco de antecedentes 18
8.2. Glosario 19
8.4. Marco Geográfico 22
8.5. Marco metodológico 23
8.5.1. Aforos vehiculares 24
8.5.1.1. Método Manual 24
8.5.1.1.1. Formato para la toma de datos 24
8.5.1.2. Método Mecánico 24
8.5.2. Recopilación de información y Factores asociados a los volúmenes de tránsito 25
8.5.2.1. Volumen de tránsito 25
8.5.2.2. Tasa de flujo 25
8.5.2.3. Demanda 25
8.5.2.4. Capacidad 25
8.5.2.5. Hora de mayor demanda 26
8.5.2.6. Nivel de servicio 26
8.5.3. Ciclovía 26
8.5.3.1. Ciclorruta en sitio propio o andén 26
8.5.3.2. Ciclorruta en vías compartidas 26
8.5.3.3. Vías compartidas para bicicletas 27
8.5.4. Modelo Microscópico para análisis de estudios de tránsito en Vissim 27
8.5.5. Software de simulación de tráfico Vissim 27
8.5.6. Parámetros de diseño Geométrico de Vías para glorietas a Nivel y Desnivel 29

8.5.6.1. Estudio de ingeniería de tránsito 29
8.5.6.2. Sección de Encruzamiento 29
8.5.6.3. Criterios geométricos de las glorietas 30
8.5.6.4. Radio mínimo de diseño 31
8.5.6.5. Ancho de Calzada 31
9. Marco Metodológico 32
9.1. Reconocimiento de la intersección 33
9.2. Caracterización del flujo vehicular por movimientos 35
9.3. Rutas de servicio Público 36
9.4. Infraestructura de la intersección 37
9.4.1. Av. Caracas 37
9.4.2. Av. Ciudad de Villavicencio 37
9.4.3. Calle 46 Sur 38
9.4.4. Esquema general carriles 38
9.5. Aforos vehiculares en la Zona de estudio 38
9.5.1. Formato aforos vehiculares 39
9.6. Información Base de Modelación 40
9.6.1. Geometría de la zona de estudio 40
9.6.2. Estudio de volúmenes vehiculares en la hora de máxima demanda 40
9.6.3. Estudio de velocidades en la zona de estudio 40
9.6.4. Plan Semafórico establecido en las intersecciones de estudio 42
9.7. Modelación de la intersección con condiciones actuales 43
9.7.1. Localización de Zona de estudio en VISSIM 43
9.7.2. Trazado de corredores y conectores 45
9.7.3. Generación de rutas vehiculares 47
9.7.4. Introducción de Red semafórica 49
9.7.5. Selección y creación de vehículos 51
9.7.6. Definición de Composiciones vehiculares 53
9.7.7. Definición de Distribuciones de velocidad 55
9.7.8. Parametrización de comportamientos 55
9.7.9. Introducción de volúmenes HMD 57
9.7.10. Reglas de prioridad y áreas de conflicto 58
9.7.11. Ambientación y bloques 3D 59

9.7.12. Generación de nodos 59
9.7.13. Definición de parámetros de evaluación 60
9.7.14. Simulación de modelo con condiciones iniciales 62
9.8. Modelación de la intersección – Propuesta de mejoramiento 64
9.8.1. Definición de niveles 66
9.8.2. Trazado de corredores y conectores vehiculares 67
9.8.3. Trazado de corredores y conectores peatonales 68
9.8.4. Generación de rutas vehiculares 77
9.8.5. Introducción de Red semafórica 78
9.8.6. Definición de Composiciones vehiculares 79
9.8.7. Definición de Distribuciones de velocidad 80
9.8.8. Controladores de velocidad 80
9.8.9. Parametrización de comportamientos 81
9.8.10. Introducción de volúmenes HMD 81
9.8.11. Reglas de prioridad y áreas de conflicto 83
9.8.12. Ambientación y bloques 3D 84
9.8.13. Generación de nodos 85
9.8.14. Definición de parámetros de evaluación 86
9.8.15. Simulación de modelo – Propuesta de mejoramiento 86
10. Resultados 89
10.1. Volúmenes de tránsito hora de mayor demanda HMD 89
10.1.1. Volúmenes de tránsito Av. Villavicencio Con Av. Caracas para la HMD 90
10.1.2. Composición Vehicular Av. Villavicencio Con Av. Caracas para la HMD 90
10.1.3. Volúmenes de tránsito Calle 46 sur Con Av. Caracas para la HMD 91
10.1.4. Composición Vehicular Av. Villavicencio Con Av. Caracas para la HMD 91
10.2. Diseño geométrico de la intersección 92
10.3. Resultados Modelación inicial 92
10.4. Resultados Modelación de alternativa propuesta 94
10.4.1. Comparación de resultados de modelaciones 96
11. Conclusiones y recomendaciones 99
11.1. Condiciones que afectan el nivel de servicio actual 99
11.1.1. La red semafórica 99
11.1.2. Calzadas compartidas bicicletas – vehículos 100

11.1.3. Estado actual de la malla vial 100
11.1.4. Obstrucciones en la vía por vehículos estacionados 101
11.1.5. La circulación peatonal 101
11.2. Evaluación de modelaciones 102
11.2.1. Adaptación del modelo 102
11.2.2. Mejoras en el Nivel de servicio 102
11.2.3. Principales beneficios de la propuesta 103
11.3. Recomendaciones 103
11.3.1. Limitaciones y propuestas de profundización 103
12. Bibliografía 106

Índice de imágenes

Imagen 1. Esquema Intersección Tipo Glorieta. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008) 30

Imagen 2. Trayectoria Vehículo Buseta. (Corporación Andina Fomento) 31

Imagen 3. Localización de la zona de estudio. (Sitio web mapas.bogota.gov.co) 32

Imagen 4. Desgaste Señalización, Semáforos cola de vehículos movimiento 33

Imagen 5. Cola de vehículos Movimiento 1 33

Imagen 6. Señalización Horizontal 33

Imagen 7. Estado del pavimento 33

Imagen 8. Estado del pavimento 34

Imagen 9. Estado del pavimento 34

Imagen 10. Señalización Horizontal y Vertical 34

Imagen 11. Ciclos semafóricos 34

Imagen 12. Tráfico de vehículos pesados 34

Imagen 13. Cola de vehículos Movimiento 1 34

Imagen 14. Caracterización de movimientos 35

Imagen 15. Esquema general carriles 38

Imagen 16. Formato toma Aforos 39

Imagen 17. Distancia para mediciones de velocidad 41

Imagen 18. Localización ciclos semafóricos 42

Imagen 19. Flujograma modelación inicial en VISSIM 44

Imagen 20. Localización de Link en VISSIM 46

Imagen 21. Representación de rutas VISSIM 48

Imagen 22. Representación red semafórica VISSIM 49

Imagen 23. Programa de control semafórico Av. Caracas – Av. Villavicencio 50

Imagen 24. Programa de control semafórico Av. Caracas – Cll. 46 sur 50

Imagen 25. Interfaz de entorno de edición 2D/3D – PTV Vissim 51

Imagen 26. Inputs iniciales– PTV Vissim 57

Imagen 27. Reglas de prioridad– PTV Vissim 58

Imagen 28. Bloques de embellecimiento– PTV Vissim 59

Imagen 29. Nodos de análisis– PTV Vissim 60

Imagen 30. Parámetros de Análisis– PTV Vissim 61

Imagen 31. Modelación– PTV Vissim 63

Imagen 32. Modelación– PTV Vissim 63

Imagen 33. Modelación– PTV Vissim 63

Imagen 34. Modelación– PTV Vissim 63

Imagen 35. Modelación– PTV Vissim 63

Imagen 36. Modelación– PTV Vissim 63

Imagen 37. Modelación– PTV Vissim 64

Imagen 38. Modelación– PTV Vissim 64

Imagen 39 Flujograma alternativa propuesta 65

Imagen 40. Esquema general de la propuesta..... 66

Imagen 41. Link de vías carros 67

Imagen 42. link Transmilenio 67

Imagen 43. corredor exclusivo peatones y bici-usuario 68

Imagen 44. -planta puentes peatonales propuestos..... 69

Imagen 45. -Puente Diagonal 45 B Sur..... 69

Imagen 46. -Puente Calle 46 Sur 70

Imagen 47. puente ubicado en el costado Sur de la Av. Ciudad de Villavicencio..... 71

Imagen 48. criterios de decisión de rutas..... 77

Imagen 49. Intersección semaforizada..... 78

Imagen 50. Programa de control semafórico Av. Caracas – Cll. 46 Sur 79

Imagen 51. Características de reducción de velocidad 80

Imagen 52. Controladores de velocidad 81

Imagen 53. Ingresos flujo vehicular 82

Imagen 54. Reglas de prioridad..... 83

Imagen 55. Reglas de prioridad 84

Imagen 56. Glorietas con bloques 85

Imagen 57. Nodos para análisis 85

Imagen 58. Modelación Glorieta a nivel y desnivel 87

Imagen 59. Puentes peatonales y ciclo ruta 87

Imagen 60. Puente peatonal 88

Imagen 61. Glorieta superior 88

Imagen 62. Composición vehicular Av. Caracas – Av. Ciudad de Villavicencio 90

Imagen 63. Composición vehicular Av. Caracas – Av. Cll 46 sur 91

1. Resumen

La intersección entre la Avenida Caracas y la Avenida Ciudad de Villavicencio es un punto crucial para la movilidad de las familias que residen al sur de Bogotá, sin embargo, por evidencia empírica de tipo visual, se pudo establecer que el nivel de servicio del sector en mención, no es el adecuado, en términos de velocidad de flujo vehicular y condiciones estructurales del pavimento, lo cual, genera que los tiempos de viajes se aumenten y por tanto la calidad del servicio de dicha intersección disminuya.

Por lo tanto, el presente proyecto tiene como objetivo principal establecer alternativas de diseño geométrico que permitan mejorar la calidad del servicio de la intersección en estudio, para lo anterior, inicialmente, se desarrollará un estudio de movilidad, en el cual, se obtendrán los volúmenes de tránsito actuales en las horas de mayor demanda, para luego, por medio de sistemas digitales realizar una modelación del flujo vehicular, y calcular el nivel de servicio que impera en la intersección de estudio. Luego, se establecerán las posibles causas que generan que el flujo vehicular tenga velocidades bajas y posteriormente se realizará un modelo con alternativas geométricas viales diferentes a las actuales con el propósito de aumentar el nivel de servicio y calidad.

Para finalizar, se presentarán una serie de conclusiones y síntesis que se establecerán a partir de los resultados obtenidos de los métodos empíricos y la experimentación teórica-digital utilizada durante el desarrollo del proyecto, a partir de lo anterior, se establecerá de manera concisa si los resultados cumplen con los objetivos propuestos.

Palabras Claves: Nivel de servicio, intersección, modelación y flujo vehicular.

2. Abstract

The intersection between Caracas Avenue and Villavicencio Avenue is a crucial point for the mobility of families residing in the south of Bogotá, however, by empirical visual evidence, it was established that the service level of the sector in question did not it is adequate, in terms of vehicular flow speed and pavement structural conditions, which generates that travel times are increased and therefore the quality of service at said intersection decreases.

Therefore, the main objective of this project is to establish geometric design alternatives that allow improving the quality of the service of the intersection under study. For this, initially, a mobility study will be carried out, in which the volumes of current traffic at peak hours, and then, using digital systems, perform a vehicle flow modeling and calculate the level of service that prevails at the study intersection. Then, the possible causes that generate the vehicular flow at low speeds will be established and later a model will be made with geometric road alternatives different from the current ones in order to increase the level of service and quality.

To conclude, a series of conclusions and syntheses will be presented that will be established based on the results obtained from the empirical methods and the theoretical-digital experimentation used during the development of the project. Based on the above, it will be established in a concise manner if the Results meet the proposed objectives.

Key Words: Service level, intersection, modeling and vehicular Flow

3. Introducción

En el inicio del presente proyecto, se presentará la justificación que permite evidenciar la importancia de su desarrollo y la incidencia que tendrá en el mejoramiento de la movilidad de los usuarios del sur de Bogotá, posteriormente se describirán los objetivos y alcances propuestos, además, se indicarán las metodologías de investigación que ayudarán a desarrollar el proceso más adecuado para obtener los resultados del estudio.

Posteriormente, se presentará el marco de sustento teórico, que servirá para soportar la metodología que se utilizará para dar solución a los objetivos propuestos; éste se dividirá a su vez, en el marco de antecedentes, que indicará las investigaciones que se han realizado a nivel distrital y nacional respecto al mejoramiento del nivel de servicio de intersecciones, y los estudios ejecutados en la zona de estudio. En el glosario se presentará el significado de los principales conceptos empleados en el desarrollo del proyecto. El marco geográfico, proporcionará la ubicación de la zona de estudio y para finalizar se mostrará el sustento teórico del método utilizado para realizar estudios de tránsito, obtenciones de niveles de servicio, modelaciones con el software seleccionado y las caracterizaciones de los elementos de tránsito de la propuesta a plantear.

Luego, se organizará la información obtenida y se realizarán los cálculos pertinentes para determinar las variables de caracterización de la modelación inicial; esto se realizará, con el método descrito en los sustentos del marco teórico. El cálculo del nivel de servicio de la intersección se obtendrá considerando el diseño geométrico de la vía, según las indicaciones que proporciona el INVIAS y posteriormente se realizará la modelación de las propuestas para mejorar el nivel de servicio. Para finalizar, se analizarán los resultados obtenidos a partir de las modelaciones realizadas, en la cual, se hará una comparación de los servicios a nivel de tráfico

vehicular que la intersección presta actualmente y los resultados obtenidos con propuestas de mejoramiento que se planteen durante el desarrollo del proyecto.

4. Planteamiento del Problema

La intersección entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio es un punto crucial en la movilidad del sur de Bogotá, debido a que fluyen los vehículos privados y públicos que trasportan a la ciudadanía que habita en las localidades Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, Usme y Ciudad Bolívar.

En este punto, el nivel de servicio vial no es el adecuado para el tráfico vehicular que transita en la intersección, dado que, la evidencia empírica permite identificar que la velocidad de los actores viales es baja, y en las horas pico se generan represamientos que afectan los tiempos de viaje de los usuarios de la vía; por esta razón, se plantea una serie de alternativas de adecuación en zona de estudio, con el objetivo de incrementar la capacidad vehicular, disminuir los tiempos de viaje, reducir la accidentalidad y la congestión vehicular de los vehículos del sector aledaño a la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio.

5. Justificación

La intersección entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio es un punto por el que circulan las rutas de Transmilenio que tienen como origen y/o destino el Portal de Usme y el Portal Tunal, adicionalmente, es un acceso para los habitantes de las localidades Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, Usme y Ciudad Bolívar; por tal razón, es un punto trascendental para la movilidad, es por esto, que deben evaluarse alternativas para el mejoramiento del flujo vehicular en dicho punto.

En la intersección mencionada, se observan dificultades en la movilidad de la flota de Transmilenio que transita desde y hacia los portales Tunal y Usme, y de los vehículos particulares que se dirigen por la Av. Caracas hacia el sur; debido a lo anterior, en las horas pico se emplean auxiliares de tránsito para controlar el flujo vehicular, y a pesar de esto, se evidencia que las condiciones de velocidad, tiempo de recorrido y libertad de maniobra no son adecuadas para el volumen de tráfico del sector. Teniendo en cuenta lo anterior, se llevará a cabo un estudio de tránsito para evaluar el nivel de servicio y posteriormente se desarrollarán alternativas de diseño geométrico en la intersección o modificaciones en la circulación malla vial terciaria del barrio Santa Lucia, en la zona aledaña al punto de estudio, que permitan mejorar el nivel de servicio.

La mejora en el nivel de servicio, implica reducir las interrupciones a la circulación de vehículos en la zona de estudio, lo que conlleva mayor libertad de maniobra, incremento en el nivel de comodidad y disminución en los tiempos de viaje para los conductores de vehículos particulares y los usuarios del sistema Transmilenio**.**

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Formular una propuesta de solución vial, que permita mejorar el nivel de servicio en la intersección entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio.

6.2. Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones que afectan el nivel de servicio actual de la intersección.
- Proponer una alternativa de glorieta a nivel con paso de Transmilenio a desnivel.
- Plantear una alternativa a la circulación, en la intersección de la Av. Caracas con Calle 46 sur.
- Representar y evaluar mediante modelación digital cada una de las alternativas planteadas.

7. Metodología de la investigación

Se plantea una clasificación en cuatro etapas para definir la metodología del presente proyecto:

- Toma de información.
- Procesamiento de información recolectada.
- Planteamiento de alternativas de solución.
- Evaluación y análisis de alternativas planteadas.

En la primera etapa, se requiere llevar a cabo recolección visual de información, respaldada por un registro fotográfico y registro de formatos prediseñados; por lo tanto, corresponde a un enfoque cualitativo.

La segunda etapa tiene como fin caracterizar las condiciones de tráfico de la zona de análisis, a partir de los datos anteriormente adquiridos, para posteriormente correlacionar éstos con parámetros teóricos de referencia que permitan identificar el nivel de servicio, es decir, corresponde a un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) descriptivo.

Durante la tercera etapa, se analizan las problemáticas actuales identificadas en la zona de estudio, con el fin de generar propuestas que mitiguen dichas problemáticas. Esta etapa tiene un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) correlacional, dado que las alternativas propuestas dependen de las características actuales de la zona de estudio.

La cuarta etapa, corresponde a la elaboración de simulaciones de tráfico por medio de software especializado para este fin, con el fin de identificar la alternativa más favorable para mejorar el nivel de servicio; de tal forma que se requiere un enfoque cuantitativo experimental.

8. Marco teórico

8.1. Marco de antecedentes

El análisis de intersecciones viales en Bogotá, ha sido un área considerablemente investigada por las instituciones de educación superior, por la Secretaria de Tránsito y Transporte y por la Secretaría de Movilidad, debido a que las condiciones de las principales avenidas e intersecciones que caracterizan la movilidad de la ciudad en horas pico, representan baja favorabilidad para la ciudadanía Bogotana (Agudelo Ospina, 2002).

Diferentes estudiantes de pregrado y postgrado han realizado estudios sobre aumento de nivel de servicio en intersecciones a partir de modificaciones geométricas, tales como:

- Estudio de tránsito y diseño geométrico para la implementación de la intersección vial a desnivel tipo trébol sobre la Av. Boyacá con Av. Jorge Gaitán Cortés localizada en la ciudad de Bogotá D. C. Como resultado del estudio "*se especifica que la Intersección a desnivel tipo trébol, es una propuesta viable de solución, porque (…) aumenta la capacidad y nivel de servicio, además reduce los riesgos de accidentalidad*". (Pineda, Romero, & Ian, 2016)

- Solución de diseño geométrico vial para la intersección Av. Boyacá –av. Alsacia, usando como implementación una glorieta con deprimido. "*El diseño presentado en el actual proyecto no solo mejoraría notablemente las condiciones de flujo vehicular de la zona, sino que disminuiría los tiempos de recorrido del sur de la ciudad, al ser esta intersección punto vital de la movilidad de Bogotá*" (Correa, 2019).

- Propuesta de diseño geométrico para el mejoramiento de la intersección Carrera 30 con Calle 53b Bis. Bogotá. Los resultados del estudio indican que "*el diseño geométrico que se planifica en este trabajo para la intersección de la Carrera 30 con calle 53 B con respecto al desempeño en el tránsito vehicular mejorará considerablemente en cuanto al nivel de servicio en los diferentes periodos del día, aumentando el promedio de velocidad de operación en la red*

entre 3 – 5 kilómetros/hora, es decir que la intersección mantendrá su velocidad de diseño en 60 kilómetros pero aquellas afectaciones que se derivan de una intersección controlada semafóricamente y aquellos movimientos que no se lograban realizar en las condiciones existentes se verán superados mediante la implementación geométrica descrita en el presente trabajo" (Socha Castro, Prieto Mora, Morales Rodríguez, & Zambrano López, 2017).

- Prediseño Geométrico a nivel y a desnivel de la Intersección El Jazmín. Presenta como concusión dentro de las alternativas planteadas que "*La alternativa a nivel, pese a registrar el menor costo de construcción entre las tres, evita la solución de los conflictos vehiculares sin perder prelación de los flujos principales, o la comodidad que, hasta la intersección, los usuarios perciben tanto desde Santa Rosa, como desde la Troncal*" (Suarez & Pantoja, 2005).

La intersección de interés del presente proyecto está clasificada dentro de la malla vial arterial de Bogotá y su estructura está construida con un pavimento combinado entre flexible y rígido. La intersección fue construida en el año 1933 y modificada en 1989, con el objetivo de incluir carriles exclusivos para Transmilenio, desde entonces, no se le han hecho modificaciones estructurales, solo mantenimientos de malla vial; sin embargo, después de la adecuación realizada en 1989 se evidencian congestionamientos vehiculares que generan que el nivel de servicio no sea el adecuado para el flujo vehicular que se presenta en dicha intersección. Teniendo en cuenta la importancia de la intersección para el tráfico vehicular del Sur de la ciudad, es pertinente realizar un estudio de factibilidad de la propuesta objeto del presente trabajo, el cual debe apoyarse en recolección de información primaria de flujos vehiculares durante periodos superiores a los contemplados en el presente estudio.

8.2.Glosario

- **Transito:** flujo de vehículos que circulan por una calle, una ruta, una autopista o cualquier otro tipo de camino, así como también del peatón.

- **Flujo vehicular:** Movimiento de vehículos en un punto específico.
- **Nivel de servicio**: Medida de calidad de flujo, describe las condiciones operativas y la percepción de una vía por los usuarios.
- **Diseño Geométrico**: Condiciones geométricas iniciales de una vía para su construcción.
- **Hora de mayor demanda:** Es la hora en la cual hay un mayor flujo vehicular en una intersección, se toma de acuerdo a aforos con temporalidades de día (Navarro H, 2017)
- **Movimientos:** Es la dirección de giro de un vehículo en una intersección. (Grisales, 2013)
- **Intersección:** Solución vial, tanto a nivel como a desnivel, que busca racionalizar y articular correctamente los flujos vehiculares del sistema vial, con el fin de incrementar la capacidad vehicular, disminuir los tiempos de viaje y reducir la accidentalidad, la congestión vehicular y el costo de operación de los vehículos (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)
- **Composición vehicular:** La composición vehicular se mide se mide en términos de porcentajes sobre el volumen en términos de porcentajes sobre el volumen total. Por ejemplo, porcentaje de total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses auto-buses y de camiones. (Navarro H, 2017)
- **Actores viales:** Son actores de la vía, todas las personas que asumen un rol determinado, para hacer uso de las vías, con la finalidad de desplazarse de un lugar a otro. En la seguridad vial interviene el ser humano como actor de tránsito en su rol de: peatón, pasajero, ciclista, motociclista o conductor. (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)
- **Volúmenes de tránsito:** Es el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado (Navarro H, 2017)

- **Aforos:** Los aforos son métodos de conteo de vehículos en vías primarías, secundarias, terciarias, al igual, que intersecciones, puentes y demás estructuras de tránsito. Que permiten caracterizar el flujo vehicular, para establecer algún tipo de medida de mejoramiento para la circulación de vehículos (Motos, Carros, Buses, bicicletas, etc.) y peatones (Navarro H, 2017)
- **Intersección Tipo Glorieta:** Constituida por una calzada anular (generalmente circular) con sentido de circulación único y prioritario, en la que las conexiones o los accesos a las vías que concurren son interdependientes. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

Radio mínimo de diseño: Depende de la comodidad de diseño para el usuario, el radio mínimo de diseño está en función del peralte máximo, la velocidad específica de diseño y el coeficiente de fricción máximo. Éste debe permitir al usuario conductor recorrer la vía con seguridad y comodidad. (Grisales, 2013)

- **Vías**: Elemento constituido por pavimentos que sirve para el flujo vehicular.
- **Pavimentos:** Estructura multicapa que constituye una vía, su función es la trasmisión de cargas cíclicas a la subrasante.
- **Pavimento combinado:** Pavimentos en asfalto y en losas de concreto
- **Intersección vial:** Encuentro de varias vías en un mismo punto.
- **Movilidad:** Flujo de vehículos en un tiempo y espacio determinado
- **Actores viales**: Vehículos, Motos, Ciclistas, peatones y demás factores influyen en el tránsito de una vía. (Agudelo Ospina, 2002), (Vargas Vargas & Mario, 2012).

8.3.Marco legal

En el presente proyecto se tomará para cualquier análisis que realice con respecto a la intersección las siguientes decretos, leyes y normas. (Secretaría de Planeación , 2004)

- Norma INVIAS.
- Norma IDU.
- Ley 769 de 2002 (Código Nacional de Tránsito).
- Ley 1383 de 2010 (Reforma del Código Nacional de Tránsito).
- Decreto 279 del 2003.
- Decreto 190 del 2004 (Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.).
- Decreto 1538 de 2005.
- Decreto 319 de 2006 (Plan Maestro de Movilidad para Bogotá).
- Acuerdo 645 de 2016 (Plan de desarrollo económico, social, ambiental y de obras públicas para Bogotá).
- Resolución 171 de 2003 y Resolución 463 de 1999 (Manual para el manejo del tránsito por obras civiles en zonas urbanas de la SDM).

8.4. Marco Geográfico

La intersección de interés, se encuentra en la localidad 6, Tunjuelito, en el límite entre el barrio Santa Lucia y los barrios Marco Fidel Suarez y Marco Fidel Suarez I; UPZ 39, 54 y 62. La intersección tiene influencia sobre las localidades Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, Usme y Ciudad Bolívar; dado que, existen 7 rutas de Transmilenio con origen en el Portal de Transmilenio de Usme y 5 rutas con origen en el Portal Tunal, que deben transitar por esta intersección, lo que, de acuerdo con el Informe No. 64 de “Transmilenio en cifras - Estadísticas de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público - SITP”, correspondiente al periodo febrero de 2020, equivale a una participación sobre la demanda total de 2.0% para el Portal Tunal y 2.4% para la Cabecera Usme, es decir 9.163 y 12.273 Entradas en hora pico AM, respectivamente. (Transmilenio S. A.; Alcaldía de Bogotá, 2020).

8.5. Marco metodológico

Para la metodología de recolección y análisis de datos, se consultaron diferentes bibliografías que permitieron establecer y consolidar un método para la obtención de las diferentes variables necesarias para modelación de la intersección de estudio. Las principales bibliografías contempladas para el presente estudio son:

- Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones: Se empleó como base para identificar los criterios de evaluación a tener en cuenta para desarrollar adecuadamente el estudio de tránsito. (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)
- MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS: Se utilizó para determinar los parámetros geométricos de referencia para establecer las condiciones de las glorietas planteadas como propuesta de mejoramiento. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)
- Guía para el diseño de vías urbanas en Bogotá D.C.: Esta guía fue utilizada para consultar las características de diseño y parametrización vehicular propias de vehículos de transporte público (Transmilenio y SITP) en Bogotá. (Corporación Andina Fomento)
- Guía Práctica Vissim 6.0.: Guía consultada para conocer los procedimientos recomendados por el fabricante del Software PTV Vissim para realizar una modelación óptima que genere resultados confiables. (Jiménez, 2014)

Inicialmente se debe realizar unos aforos vehiculares, que permitirán calcular los volúmenes de tránsito, velocidades promedias, horas de mayor demanda, composición vehicular típica y tiempos de semaforización, entre otros datos. A continuación, se dará una explicación de cada una de las variables.

8.5.1. Aforos vehiculares

Los aforos son métodos de conteo de vehículos en vías primarías, secundarias, terciarias, al igual, que intersecciones, puentes y demás estructuras de tránsito que permiten caracterizar el flujo vehicular, para establecer algún tipo de medida de mejoramiento para la circulación de vehículos (Motos, Carros, Buses, bicicletas, etc.) y peatones. El tiempo ideal para la toma de datos, sería durante un año seguido, sin embargo, por cuestiones económicas, generalmente es muy complejo realizarlo de esta manera, por lo cual, se realiza un día completo entre semana y uno completo en el fin de semana, para que los resultados sean consistentes. Para la toma de datos existen 2 métodos manual y mecánico. (Navarro H, 2017)

8.5.1.1. Método Manual

Consiste en el conteo de vehículos utilizando formatos que caracterizan la composición vehicular según tiempos que pueden estar entre 30min y 5min dependiendo del flujo vehicular que se presente es la vía de estudio. Se debe realizar de manera continua en el trascurso del día, para no tener afectación en las métricas vehiculares. (Navarro H, 2017)

8.5.1.1.1. Formato para la toma de datos

Se debe utilizar formatos que contengan la información necesaria para el posterior análisis de los resultados, tal como, Nombre del aforador, intervalos de toma de datos, condiciones climáticas del intervalo de tiempo, movimiento aforado, composición vehicular que transita por la vía de estudio, entre otros, a continuación, se presenta un ejemplo del formato. (Navarro H, 2017)

8.5.1.2. Método Mecánico

Este método, consiste en utilizar herramientas tecnológicas para realizar la toma de datos, como cámaras, sensores, contadores mecánicos, contadores portátiles, estaciones de conteo entre otras tecnologías. Las ventajas que trae realizar los análisis de volúmenes de tránsito con estos métodos, es que mejora la precisión en aproximadamente 5% respecto al método manual, en ocasiones, es más económico y la toma de datos se puede prolongar por

lapsos de tiempos extensos, como semanas, meses hasta años de manera continua. (Navarro H, 2017)

8.5.2. Recopilación de información y Factores asociados a los volúmenes de tránsito

Para la unificación de la información se deben utilizar software que permitan el manejo matemático de los datos, tal como, Microsoft, SAP, Oracle entre otros. La información se debe organizar de tal manera que se evidencie de manera clara la composición vehicular, los totales por intervalo de tiempo escogido, los totales por hora, día, mes años, según sea la metodología escogida por los investigadores. (Navarro H, 2017)

Entre las variables más importantes a calcular después de recopilar, organizar y analizar la información obtenida por los aforos, son: Volúmenes de tránsito en tiempo determinados, Tasa de flujo, demanda y capacidad de los medios físico y estáticos del tránsito, tal como carreteras, intersecciones, terminales, entre otras. (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)

8.5.2.1. Volumen de tránsito

Número de vehículos o personas que pasan por un punto en un tiempo determinado (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)

8.5.2.2. Tasa de flujo

Frecuencia con la cual pasa los vehículos en un tiempo determinado. (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)

8.5.2.3. Demanda

Número de vehículos que desean viajar y pasan por un punto determinado de tiempo, Donde existe congestión la demanda es mayor que el volumen actual. (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)

8.5.2.4. Capacidad

Número de vehículos que pueden pasar por un punto en un tiempo en específico, característica del sistema vial y representa su oferta (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)

8.5.2.5. Hora de mayor demanda

Es el máximo volumen horario que pasa por un punto o sección de un carril durante 60 minutos consecutivos, es el representativo de periodos de máxima demanda de un día. (Cal, Mayor , & Cardenas Grisales , 2007)

8.5.2.6. Nivel de servicio

Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad, los deseos del usuario y la seguridad vial. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

8.5.3. Ciclovía

Franjas para ciclistas segregadas físicamente del tránsito motorizado, localizadas sobre andenes o separadores centrales. La canalización con respecto al tránsito peatonal puede ser física, con señalización y/o cambios de textura. (Calderón Moreno, 2015)

8.5.3.1. Ciclorruta en sitio propio o andén

Los bici-carriles están de forma separada o aislada de la vía vehicular, ya que se construyen sobre un andén a cualquier lado de la vía o hasta en el centro de la calzada (Calderón Moreno, 2015)

8.5.3.2. Ciclorruta en vías compartidas

Este modo de infraestructura permite designar una parte de la vía vehicular para compartirla con la movilidad de las bicicletas dándole prioridad a ellas, de este modo las bicicletas obtienen una parte de la calzada para su desplazamiento, presentando su debida demarcación, señalización y delimitación adyacente a la vía vehicular (Calderón Moreno, 2015)

8.5.3.3. Vías compartidas para bicicletas

En las vías compartidas, los vehículos y las bicicletas comparten un mismo ancho de carril, siendo que cada uno debe respetar el espacio del otro, se debe tener más precaución en el momento del adelanto. (Calderón Moreno, 2015)

8.5.4. Modelo Microscópico para análisis de estudios de tránsito en Vissim

Modelos de simulación de los movimientos individuales de los vehículos y la interacción entre estos y las condiciones de control del tráfico, para esto hacen uso de teorías de cambio de carril y seguimiento de vehículos. (Jiménez, 2014)

Un modelo microscópico analiza individualmente cada unidad de vehículo, analizando el tipo de vehículo, curvas de aceleración, velocidad, etc. Por lo que cada vehículo es una base de datos que se calcula en repetidas ocasiones dentro de un periodo definido. (Guía de Capacitación Básica VISSIM – Universidad Nacional) (Jiménez, 2014).

8.5.5. Software de simulación de tráfico Vissim

PTV Vissim “Verkehr In Städten - SIMulation” (“Simulación de tránsito en ciudades") es un software para planificación del tráfico y transporte Desarrollado por PTV (Planung Transport Verkehr) en Karlsruhe, Alemania. Vissim es un instrumento para la elaboración de estudios de movilidad y planificación del transporte, que cuenta con herramientas para sincronización y planificación de ciclos semafóricos, sistemas de control y gestión del tránsito, experimentación con sistemas inteligentes de transporte y visualizaciones en 3D para presentaciones. (Jiménez, 2014)

PTV Vissim utiliza modelos de comportamiento detallados, de tal forma que permite reproducir las condiciones y características definidas para una zona particular de estudio, incluyendo condiciones de selección de rutas, elección y cambio de carril, curvas de velocidad y aceleración aplicables según la clasificación vehicular definida y comportamiento asignado por

cada composición vehicular. El comportamiento del flujo en Vissim es de manera estocástica en función de muchas variables, es decir, distribuye le generación de datos estadísticamente.

Esta herramienta de micro simulación utiliza el modelo llamado “Modelo de seguimiento de vehículos”, desarrollado por el profesor Wiedermann en la universidad de Karlsruhe, Alemania, por medio del cual es posible parametrizar el comportamiento y percepción psico-físico del conductor, con el fin de analizar los flujos de tráfico existentes para su posterior optimización. El concepto básico de este modelo es que el conductor de un vehículo de más rápido movimiento comienza a desacelerarse cuando llega a su umbral de percepción individual a un vehículo de movimiento lento. (Jiménez, 2014)

El análisis de las características de tráfico de la zona de estudio, se realizó por medio de una modelación microscópica elaborada en el software Vissim 9.0. como herramienta de soporte el software VISSIM 9.0., para modelación microscópica. El programa puede analizar el tráfico y las operaciones de tránsito con restricciones como la configuración de carril, composición del tráfico, señales de tráfico y paradas de transporte público, por lo que es una herramienta útil para la evaluación de diversas alternativas basadas en la ingeniería de tránsito y medidas de planificación de transporte. (Jiménez, 2014)

El software permite visualizar en tiempo real el comportamiento de la operación del tráfico mientras que internamente genera archivos con datos estadísticos como tiempo de viaje y longitud de cola. La precisión del modelo está soportada en la metodología empleada para simular el movimiento de los vehículos en la red, considerando el comportamiento psicofísico del conductor desarrollado por el profesor Wiedemann (1974) con distribuciones estocásticas de la velocidad y distancia de desplazamiento. Este modelo ha sido calibrado a través de múltiples mediciones de campo en la Universidad Técnica de Karlsruhe de Alemania. (Valderrama Mejía , 2016)

El “Modelo del Seguimiento de Vehículos” (Car Following Model) planteado por Wiedemann en el año de 1974, es un prototipo microscópico multimodal utilizado por el

programa PTV VISSIM para procesar el flujo del tránsito vehicular. Su trayectoria de aplicación se emplea de modo directa a las calles en zonas urbanas. En el modelo planteado por Wiedemann se analiza la interacción de dos conductores y sus respectivos vehículos que circulan en un mismo carril, uno tras de otro, considerando la contemplación personal de cada individuo en el tiempo, espacio, diferencia de velocidades y comportamiento, a fin de sincronizar la separación necesaria para escapar de una colisión. Para el evento de trabajar con dos o más carriles se adicionan la toma de decisiones del conductor para determinar una salida para el cambio de carril. (Jiménez, 2014) (Valderrama Mejía , 2016)

8.5.6. Parámetros de diseño Geométrico de Vías para glorietas a Nivel y Desnivel

Una glorieta es una intersección que se caracteriza por permitir que los flujos vehiculares se conecten mediante una geometría circular (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008), para el diseño geométrico del mismo, se requieren una serie de variables que se mencionan a continuación.

8.5.6.1. Estudio de ingeniería de tránsito

Se debe hacer el estudio de tránsito para calcular los factores asociados a los volúmenes en la hora de mayor demanda en la intersección (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

8.5.6.2. Sección de Encruzamiento

Es la capacidad de la glorita y se calcula en función de la longitud de encruzamiento que debe ser compatible con la geometría de diseño, Luego se calcula la capacidad de encruzamiento de la glorieta con la siguiente fórmula. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

$$Qp = (160\, w(\frac{1+e}{w}))/(1+\frac{W}{l})$$

$$e = \frac{(e_1 + e_2)}{2}$$

$Qp = Capacidad\ de\ la\ sección\ de\ encruzamiento\ \ (Veh/h)$

$W = Ancho\ se\ la\ sección\ de\ encruzamiento\ (m)$

$e = Ancho\ promedio\ de\ las\ entradas\ de\ la\ sección\ de\ encruzamiento\ (m)$

$l = Longitud\ de\ la\ sección\ de\ encruzamiento\ (m)$

8.5.6.3. Criterios geométricos de las glorietas

La norma INVIAS proporciona una serie de parámetros geométricos para el diseño de glorietas que se mencionan a continuación.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MAGNITUD
1	Diámetro mínimo de la isleta central	m	25
2	Diámetro mínimo del círculo inscrito	m	50
3	Relación W/L (sección de entrecruzamiento)		Entre 0,25 y 0,40
4	Ancho sección de entrecruzamiento (W)	m	Máximo 15
5	Radio interior mínimo en los accesos entrada	m	30
6	Radio interior mínimo en los accesos entrada	m	40
7	Ángulo ideal de entrada		60°
8	Ángulo ideal de salida		30°

Tabla N°1 Condiciones de diseño geométrico (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

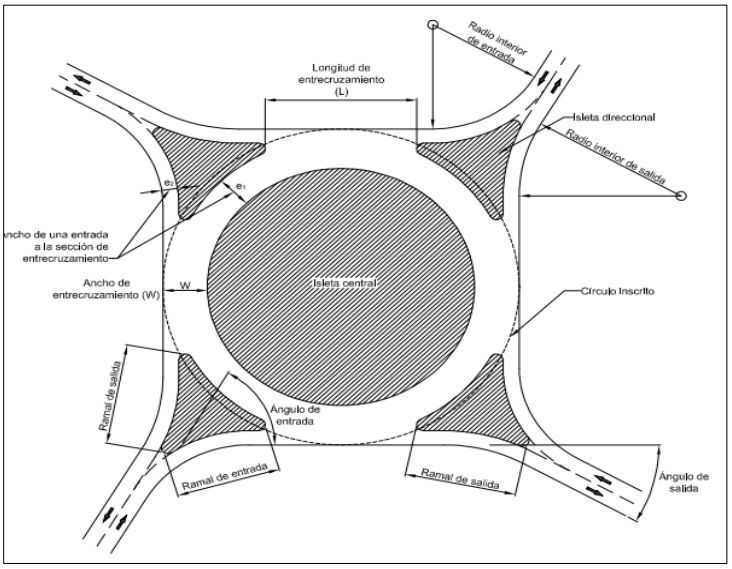


Imagen 1. Esquema Intersección Tipo Glorieta. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

8.5.6.4. Radio mínimo de diseño

Depende de la comodidad de diseño para el usuario, el radio mínimo de diseño está en función del peralte máximo, la velocidad específica de diseño y el coeficiente de fricción máximo. Éste debe permitir al usuario conductor recorrer la vía con seguridad y comodidad. (Grisales, 2013)

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(e_{máx} + f_{máx})}$$

$Rmin = Radio\ Mínimo$

$v = Velocidad\ específica\ de\ diseño\ S.I$

$e = Peralte$

$f = Coeficiente\ de\ fricción$

8.5.6.5. Ancho de Calzada

Para calcular el ancho de la calzada de la intersección tipo glorieta se utilizó el parámetro de visibilidad de giro en curvas según la categoría del vehículo, para el presente proyecto se utilizó el bus rígido, entonces, el ancho de la calzada es la diferencia del radio máximo y mínimo para la cual el bus rígido puede girar sin afectar la visibilidad del conductor.

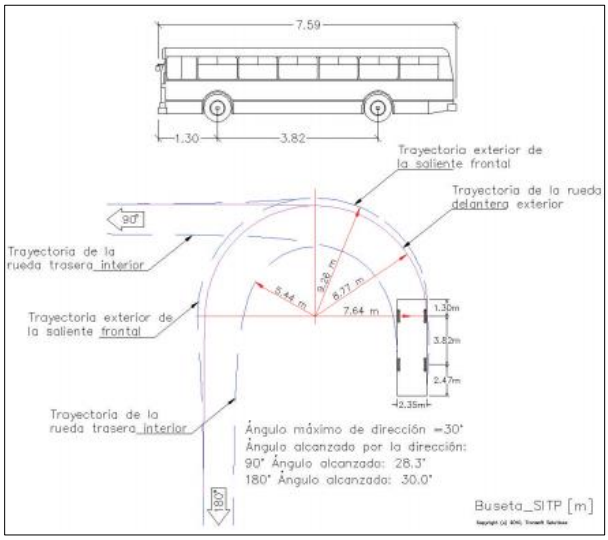


Imagen 2. Trayectoria Vehículo Buseta. (Corporación Andina Fomento)

9. Marco Metodológico

La intersección de interés, se encuentra en la localidad 6, Tunjuelito, en el límite entre el barrio Santa Lucia y los barrios Marco Fidel Suarez y Marco Fidel Suarez I; UPZ 39, 54 y 62. La intersección tiene influencia sobre las localidades Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, Usme y Ciudad Bolívar; dado que, existen 7 rutas de Transmilenio con origen en el Portal de Transmilenio de Usme y 5 rutas con origen en el Portal Tunal, que deben transitar por esta intersección, lo que, de acuerdo con el Informe No. 64 de "Transmilenio en cifras - Estadísticas de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público - SITP", correspondiente al periodo febrero de 2020, equivale a una participación sobre la demanda total de 2.0% para el Portal Tunal y 2.4% para la Cabecera Usme, es decir 9.163 y 12.273 Entradas en hora pico AM, respectivamente. (Transmilenio S. A.; Alcaldía de Bogotá, 2020).



Imagen **3.** Localización de la zona de estudio. (Sitio web mapas.bogota.gov.co)

9.1. Reconocimiento de la intersección

Se realizaron visitas técnicas de reconocimiento a la zona de estudio desde el primero de junio hasta el 14 junio de 2020. Durante las visitas se realizó un registro fotográfico y una toma de datos iniciales de las principales características de la intersección como: Movimientos, ciclos semafóricos, anchos de calzada, anchos de carriles, anchos de separadores.



Imagen 4. Desgaste Señalización, Semáforos cola de vehículos movimiento



Imagen 6. Señalización Horizontal

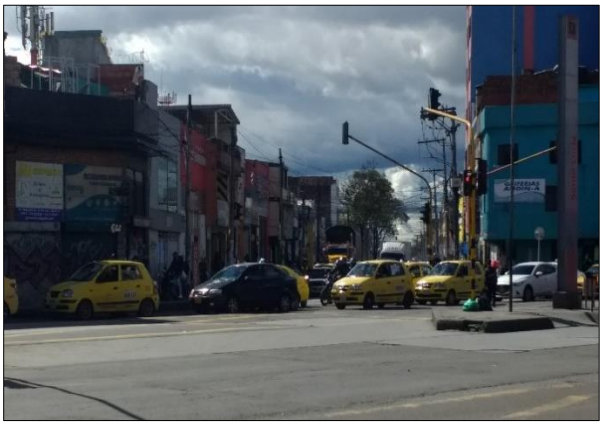


Imagen 5. Cola de vehículos Movimiento 1



Imagen 7. Estado del pavimento



Imagen 8. Estado del pavimento



Imagen 11. Ciclos semafóricos



Imagen 9. Estado del pavimento



Imagen 12. Tráfico de vehículos pesados



Imagen 10. Señalización Horizontal y Vertical



Imagen 13. Cola de vehículos Movimiento 1

Durante la inspección realizada en campo se identificó la importancia de la intersección de la Av. Caracas con Calle 46 Sur debido a su influencia sobre las condiciones de tráfico de la Intersección entre la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio, por lo que se tomó la decisión de contemplar dicha intersección en el alcance del presente proyecto.

9.2. Caracterización del flujo vehicular por movimientos

En la visita técnica se pudo establecer que los movimientos vehiculares se pueden dividir en dos, los particulares y los del Transmilenio dado que ambos tienen calzadas independientes. En la imagen 14 se puede evidenciar las caracterizaciones por movimientos que se le asignó a la intersección.

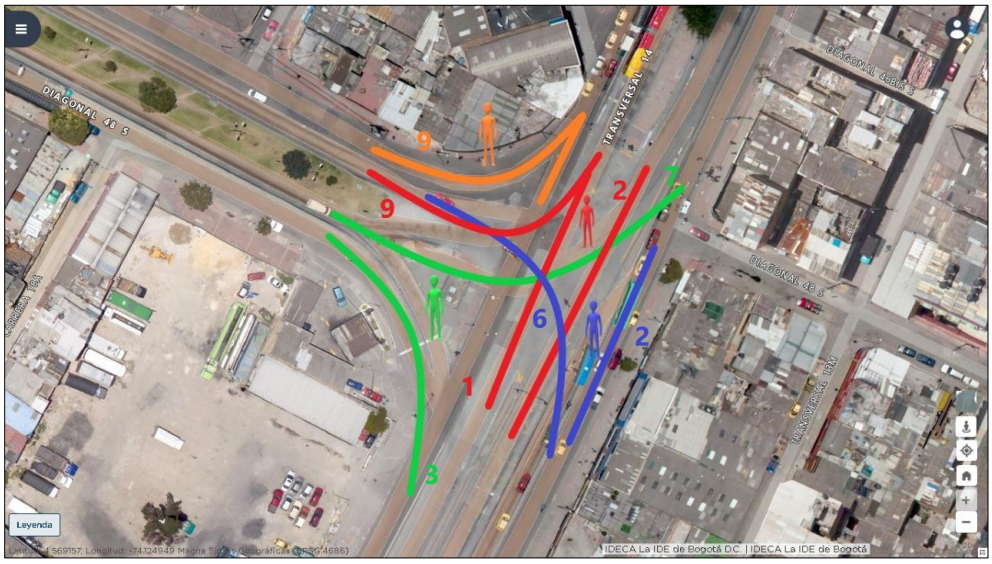


Imagen **14**. Caracterización de movimientos

Color anaranjado representa los movimientos 1 y 9 de los vehículos particulares que transitan de norte a sur.

- Color azul representa los movimientos 2 y 6 de los vehículos particulares que transitan de sur a norte
- Color verde representa los movimientos 3 y 7 de los vehículos particulares que transitan de este a oeste.

- Color rojo representa todos los movimientos de los vehículos del sistema Transmilenio que transitan por la intersección.

9.3. Rutas de servicio Público

La estación de Transmilenio más cercana es Santa Lucía, en esta estación se puede adquirir transporte para gran parte de la ciudad a continuación se mencionarán algunas de las rutas que pasan por dicha intersección, además también se pueden evidenciar algunas paradas de SITP que se mencionaran a continuación.

RUTAS TRANSMILENIO

- Ruta 3 que es la ruta que para en toda la estación y va del portal de Usme al Portal del norte.
- B71 Ruta de portal Usme hasta estación Toberín.
- B75 Ruta del Portal Usme hasta portal Norte.
- C17 Ruta del portal Usme hasta Portal Suba
- D20 Ruta del portal Usme hasta portal 80
- D21 Ruta del portal Tunal hasta portal 80
- H17 Ruta del portal Suba hasta portal Usme
- H20 Ruta del portal 80 hasta portal Usme
- H21 Ruta del portal 80 hasta portal tunal
- H75 Ruta del portal Norte hasta portal Usme.
- G502 Aeropuerto- Boíta

RUTAS SITP

- TC 14 Nueva Roma
- 577 Diana Turbay
- 624 veinte de Julio
- 703 Galicia
- C1101 Providencia.

9.4.Infraestructura de la intersección

Dadas las características de la vía, en términos de anchos de calzadas y separadores de las misma se pudo establecer que en la intersección de estudio, hay 2 tipos de categorías según el Anexo 3 de perfiles viales contenidos en el plan de ordenamiento territorial POT. El primero es la vía de 2 calzadas de sur a norte que contiene 8 carriles de los cuales 4 son exclusivos de loa vehículos de servicio público (Transmilenio), por lo anterior, se establece según dicha norma que la vía pertenece a la categoría V2D, la segunda es una vía de 2 calzadas con 6 carriles, de los cuales dos les pertenecen a los vehículos de servicio público, por lo tanto, se categoriza como V2B.

9.4.1. Av. Caracas

Como se mencionó anteriormente, la AV Caracas es de categoría V2B[1], tiene dos calzadas de 3 carriles cada una, con uno ellos exclusivo para los vehículos de transporte público, tiene una longitud de 27.98 mts más andenes, tiene un separador de 7.50 mts, el pavimento es combinado entre rígido para el carril de Transmilenio y flexible para los carriles de vehículos particulares.

9.4.2. Av. Ciudad de Villavicencio

Como se mencionó anteriormente, la AV Caracas es de categoría V2D[2], tiene dos calzadas de 4 carriles cada una, tiene un carril exclusivo para los vehículos de transporte público, tiene una longitud de 32.74 mts más andenes, tiene un separador de 5.30 mts, el pavimento es combinado entre rígido para el carril de Transmilenio y flexible para los carriles de vehículos particulares.

[1] Anexo 3 de perfiles viales contenidos en el plan de ordenamiento territorial POT
[2] Anexo 3 de perfiles viales contenidos en el plan de ordenamiento territorial POT

9.4.3. Calle 46 Sur

Como se mencionó anteriormente, la Calle 46 sur es de categoría V7[3], tiene una calzada de dos carriles, tiene una longitud de 6.30 mts más andenes, el pavimento es flexible.

9.4.4. Esquema general carriles

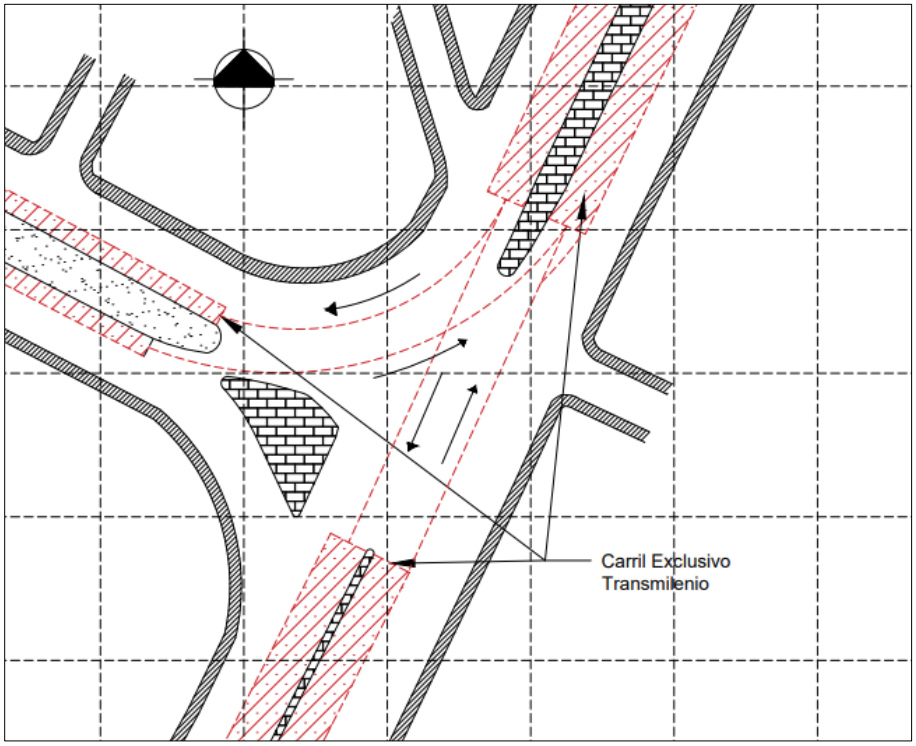


Imagen 15. Esquema general carriles

9.5.Aforos vehiculares en la Zona de estudio

Los aforos se realizaron de manera Manual, el día 14 y 19 de junio del 2020. Se realizaron en dos posiciones diferentes, la primera la intersección uno entre la Av. Caracas con Av. Villavicencio (1)y la segunda en la intersección dos de la calle 16 Sur con Av. Villavicencio(2) Se utilizaron, 6 aforadores,5 en la intersección 1 y 1 en la intersección 2,cada uno con sus respectivas herramientas (Formatos, lápices, esferos, borradores Etc.) los datos se tomaron con

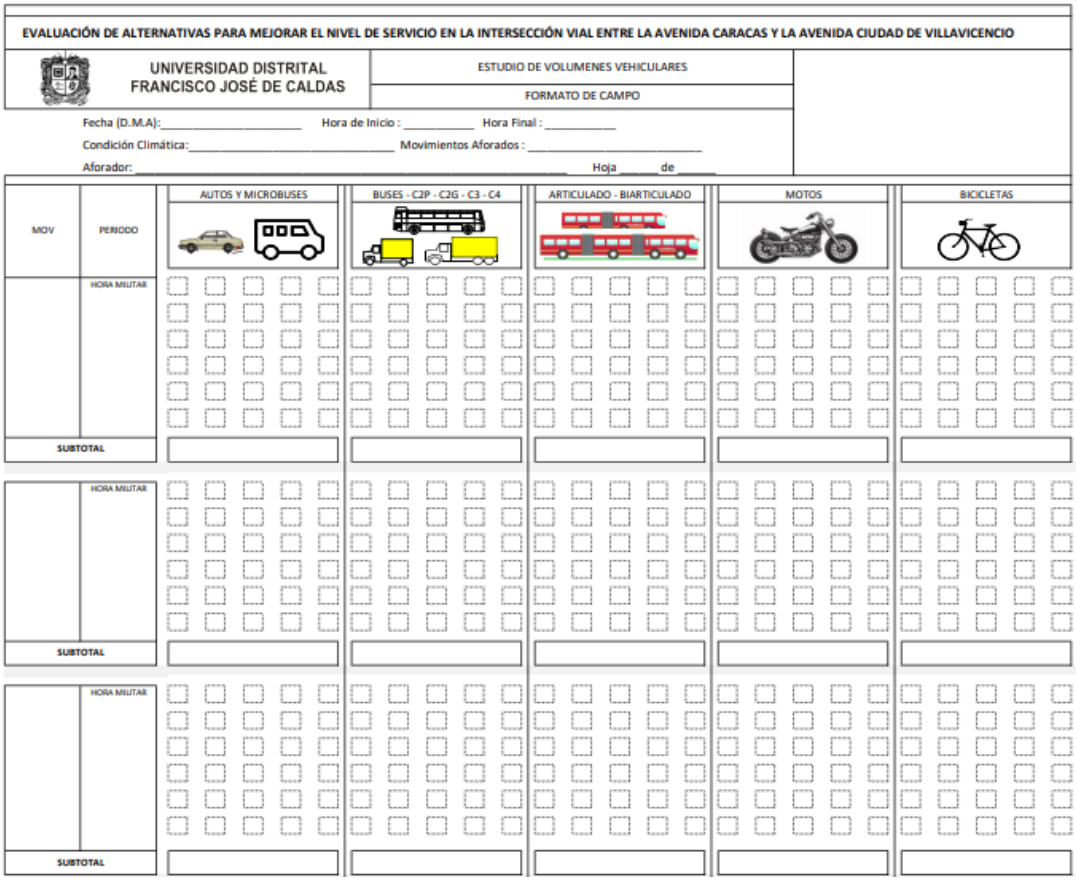
[3] Anexo 3 de perfiles viales contenidos en el plan de ordenamiento territorial POT

un intervalo de tiempo de 15 min por hora, es decir, en cada hora del día se tomaron 4 registros de 15 min cada uno.

Se aforaron, buses, camiones, motos, Transmilenios, bicicletas entre otros vehículos, éstos se realizaron para los movimientos dispuestos en la caracterización de movimientos para intersección 1 y 2 (ver imagen 14). Cada aforador utilizó un formato que registraba información tal como: Nombre Aforador, Clima por hora, movimiento aforado, tipo de carro aforado, total de vehículos aforados en la hora.

Por otro lado, se encontraba un aforador grabando desde una posición estratégica todo el tráfico vehicular de las intersecciones, con objeto, de utilizar los videos como rectificación de los datos

9.5.1. Formato aforos vehiculares



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO EN LA INTERSECCIÓN VIAL ENTRE LA AVENIDA CARACAS Y LA AVENIDA CIUDAD DE VILLAVICENCIO

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

ESTUDIO DE VOLUMENES VEHICULARES

FORMATO DE CAMPO

Fecha (D.M.A):_____ Hora de Inicio : _____ Hora Final : _____

Condición Climática:_____ Movimientos Aforados : _____

Aforador:_____ Hoja _____ de _____

MOV	PERIODO	AUTOS Y MICROBUSES	BUSES - C2P - C2G - C3 - C4	ARTICULADO - BIARTICULADO	MOTOS	BICICLETAS
	HORA MILITAR					
	SUBTOTAL					
	HORA MILITAR					
	SUBTOTAL					
	HORA MILITAR					
	SUBTOTAL					

Imagen **16**. Formato toma Aforos

Se utilizó el siguiente formato para registro de la información necesaria para obtener el tráfico por hora de mayor demanda.

9.6.Información Base de Modelación

Como base para realizar la micro modelación de la zona de estudio, como punto de inicio fue necesario recopilar la información que caracteriza las condiciones actuales de movilidad en la intersección, por lo que se consolidó la siguiente información:

9.6.1. Geometría de la zona de estudio

De acuerdo con la sección 9.5 Infraestructura de la intersección donde se muestran los diferentes tramos y las divisiones de sus carriles, a partir de los cuales se realizó la identificación de la tipología de la vía de acuerdo con las secciones establecidas en el Anexo 3 “Perfiles viales” del Decreto 190 de 2004.

La geometría de la zona de estudio fue corroborada con la base de datos de Calzadas publicada por el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU en el sitio web https://mapas.bogota.gov.co/, la cual fue actualizada en el 2019.

9.6.2. Estudio de volúmenes vehiculares en la hora de máxima demanda

El estudio de volúmenes vehiculares se desarrolló según lo indicado en la sección 8.5.2 Recopilación de información y Factores asociados a los volúmenes de tránsito, posteriormente se analizaron los datos recopilados y se determinaron los volúmenes vehiculares para la hora de máxima demanda; los cuales se emplearon como insumo para la evaluación del modelo.

9.6.3. Estudio de velocidades en la zona de estudio

Las velocidades empleadas para la determinación de distribuciones de velocidad requeridas en la modelación, fueron definidas con el siguiente procedimiento:

Tomando como base los videos tomados en campo para la intersección de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio, se realizaron mediciones aproximadas al segundo, empleando cronómetro. Los datos recolectados corresponden al tiempo requerido por cada tipo de vehículo para recorrer una distancia de 80 metros, la cual fue identificada en campo para posteriormente tomarla como referencia en los videos.



Imagen **17**. Distancia para mediciones de velocidad

A partir de los datos recolectados para mínimo cinco vehículos de cada categoría a lo largo de la hora de máxima demanda, se calcularon las respectivas velocidades, obteniendo los siguientes resultados aproximados a kilómetros / hora:

	Rango de Velocidad [km/h]	
Automóviles	15	55
Buses – SITP	15	50
C2P- C2G - C3 - C4	15	43
TM Articulado	12	34
TM Biarticulado	12	32
Motocicletas	20	60
Bicicletas	14	22

Tabla N°2 Rangos de Velocidad

9.6.4. Plan Semafórico establecido en las intersecciones de estudio

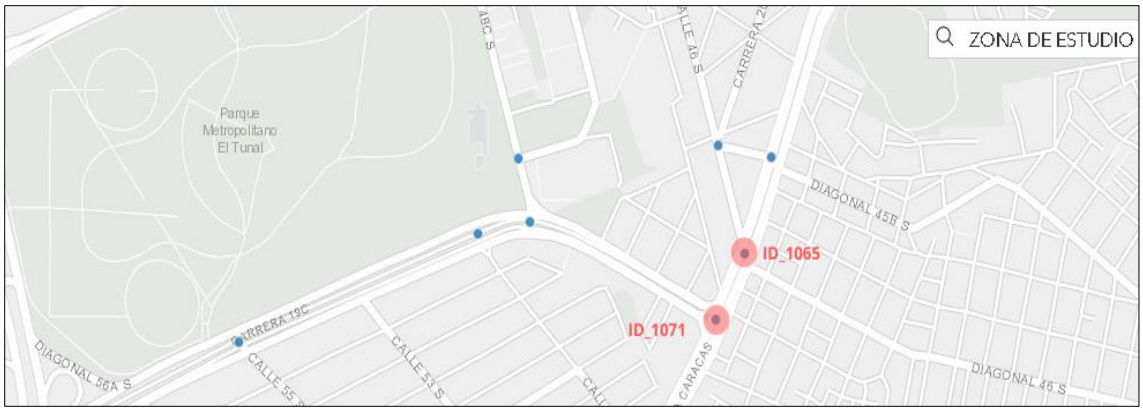


Imagen **18.** Localización ciclos semafóricos

Id Intersección	Dirección	Tipo Intervención	Infraestructura Ciclo usuario
1071	Av. Caracas (AK 14) X Av. Ciudad de Villavicencio (DG 48 S)	Vehicular, Peatonal	No
1065	Av. Caracas (TV 14) X Cll. 46 Sur	Vehicular, Peatonal	No

Tabla N° 3 Identificación de red de semáforos en las intersecciones

La red semafórica de la zona de estudio fue identificada en la etapa de Caracterización de los elementos de tránsito. En esta etapa, se midieron los periodos para los ciclos semafóricos en mínimo tres veces para obtener un valor promedio por cada semáforo. Los tiempos tomados mediante mediciones con cronómetro, se relacionan a continuación con las intersecciones semafóricas definidas en la base de datos “Red Semafórica de Bogotá” publicada en el sitio web Datos Abiertos Secretaría Distrital de Movilidad.

Id Intersección	Semáforo	t 1	t 2	t 3	t 4	t 5	t 6	t 7	t 8	t 9	Ciclo
1065	C1	00'04''	01'36''			00'02''	00'48''				02'30''
	C2	01'48''					00'02''	00'30''	00'02''	00'08''	02'30''
	C7	00'04''	01'36''			00'02''	00'48''				02'30''
	T1	00'04''	01'34''		00'02''	00'50''					02'30''
	T6	00'04''	01'34''		00'02''	00'50''					02'30''

Tabla N° 4 Ciclo semafórico intersección 1065

Id Intersección	Semáforo	t 1	t 2	t 3	t 4	t 5	t 6	t 7	t 8	t 9	t 10	t 11	t 12	t 13	Ciclo
1071	C3	00'04''	01'10''	00'02''	01'14''										02'30''
	C4	01'26''				00'02''	00'54''						00'03''	00'05''	02'30''
	C5	01'45''									00'02''	00'35''	00'03''	00'05''	02'30''
	C6	00'04''	01'10''	00'02''	01'14''										02'30''
	T2	00'04''	01'10''	00'02''	01'14''										02'30''
	T2a	01'26''				00'02''	00'16''	00'02''	00'84''						02'30''
	T3	01'26''				00'02''	00'16''	00'02''	00'84''						02'30''
	T4	01'26''				00'02''	00'54''						00'03''	00'05''	02'30''
	T5	01'45''									00'02''	00'35''	00'03''	00'05''	02'30''

Tabla N° 5 Ciclo de intersección de 1071

9.7. Modelación de la intersección con condiciones actuales

Una vez consolidada la información requerida, se procede a iniciar la etapa de modelación de condiciones actuales en la zona de estudio de acuerdo con el siguiente proceso:

9.7.1. Localización de Zona de estudio en VISSIM

Como base para iniciar la introducción de elementos al Software PTV Vissim, se obtuvo un mapa satelital a partir de Google Earth, el cual fue ajustado en escala y coordenadas para referenciarlo dentro del programa con la zona de estudio.

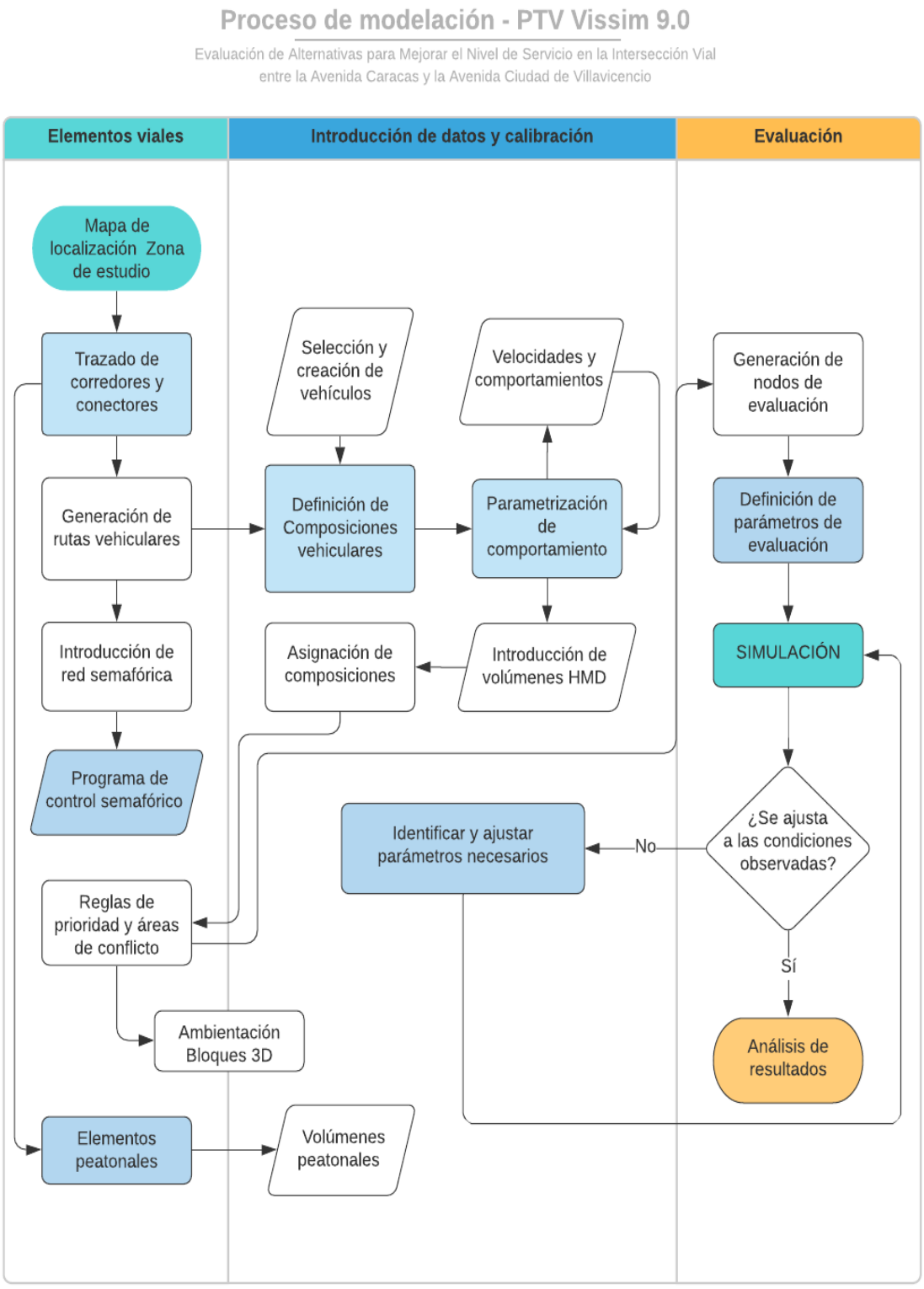


Imagen 19. Flujograma modelación inicial en VISSIM

9.7.2. Trazado de corredores y conectores

Por medio de la herramienta “Links” del menú “Network Objects” se introducen los diferentes corredores viales, indicando como parámetros adicionales a la geometría de puntos dispuesta manualmente los siguientes elementos:

- Generales: Nombre, Comportamiento en el Link, Tipo de visualización y Nivel.
- Carriles: Cantidad, Ancho de carril, Comportamiento en el carril (opcional), Bloqueo de carril para determinadas composiciones vehiculares (opcional), Bloqueo de cambio de carril para determinadas composiciones vehiculares (opcional).
- Visualización: Desfase en altura inicial y final, Espesor de la calzada.
- Otros: Se incluyen parámetros especiales aplicables para zonas peatonales o dentro de modelos dinámicos, además, es posible asignar parámetros de valor unitario de construcción con el fin de obtener un presupuesto estimado dentro del software.

En cuanto a los conectores entre corredores viales, la parametrización se realiza de manera semejante que con los corredores. Las principales diferencias radican en que para su generación es necesario definir inicio y fin sobre corredores viales previamente definidos y en que los anchos de carril y desfases en altura se generan automáticamente.



Imagen 20. Localización de Link en VISSIM

En la imagen 20 se presentan los corredores viales generados para el proyecto, representados con líneas azules y se presentan los conectores entre corredores viales correspondientes a las líneas magenta.

Para la modelación de las condiciones iniciales se definieron 56 elementos tipo Links, de los cuales 30 corresponden a corredores viales y 26 a conectores para un total de 84 carriles y una longitud total de trazado de 5687 metros.

LINK: NO	NAME	LINK BEHAV TYPE	DISPLAY TYPE	LEVEL	NUM LANES	LENGTH 2D
1	Caracas_NS2	1	1	1	2	96.921
2	Caracas_NS1	1	1	1	2	441.194
3	Caracas_NS3	1	1	1	2	185.111
4	Caracas_SN1	1	1	1	2	373.726
5	Caracas_SN_carril3	1	1	1	1	59.375
6	Villav_EO	1	1	1	2	132.078
7	Villav_OE	1	1	1	2	131.432
8	Caracas_SN2	1	1	1	2	465.397
9	Cll46OE	1	1	1	2	395.718
10	Cll46OE2	1	1	1	2	24.696
11	Calle47EO	1	1	1	2	46.553

LINK: NO	NAME	LINK BEHAV TYPE	DISPLAY TYPE	LEVEL	NUM LANES	LENGTH 2D
12	Calle48OE	1	1	1	1	27.296
13	Calle48EO	1	1	1	1	27.813
14	Calle46OE_conect	1	1	1	2	15.238
15	CaracNS1_T	1	1	1	2	441.158
16	CaracNS2_T	1	1	1	2	74.417
17	CaracNS3_T	1	1	1	2	179.583
18	CaracSN1_T	1	1	1	2	211.615
19	CaracSN2_T	1	1	1	2	74.667
20	CaracSN3_T	1	1	1	2	437.871
21	Villav_OE_T	1	1	1	1	130.876
22	Villav_EO_T	1	1	1	1	122.088
23	peat4SN	4	21	1	1	71.412
24	Peat1NS	4	21	1	1	18.025
25	Peat2OE	4	21	1	1	48.885
26	Peat1SN	4	21	1	1	17.141
31	Peat2EO	4	21	1	1	48.801
50	peat4NS	4	21	1	1	72.065
51	Peat3OE	4	21	1	1	42.299
57	Peat3EO	4	21	1	1	44.117

Tabla N° 6 Corredores viales del modelo inicial

9.7.3. Generación de rutas vehiculares

Una vez definida la red vial dentro del modelo, se procede con la generación de los Criterios estáticos de decisión de rutas (Static Vehicle Routing Decisions). Éstos son generados con origen en los corredores de acceso de vehículos, indicando los diferentes destinos que puede tener cada vehículo que se movilice por dicho corredor. Cada posible ruta de destino tiene asignado un flujo relativo que indica la ponderación relativa sobre el total de vehículos que evalúen la decisión de rutas.



Imagen **21.** Representación de rutas VISSIM

En la imagen 21 se visualiza un ejemplo de Criterios estáticos de decisión de rutas, dónde el origen se definió en el corredor de acceso de tráfico mixto de la Av. Ciudad de Villavicencio O-E y los posibles destinos se ubican sobre los corredores de la Av. Caracas en sentido N-S y S-N.

En la modelación de condiciones iniciales se definieron orígenes en ocho corredores viales entre tráfico mixto y Transmilenio, en correspondencia a esto, se definieron 13 destinos de decisión de ruta vehicular como se presenta a continuación:

VEHICLE ROUTING DECISION STATIC	LINK	LINK NAME	VEHICLE ROUTING DECISION	NO	DESTINATION LINK	RELATIVE FLOW
1	16	CaracNS2_T	1	1	17: CaracNS3_T	0.666
2	18	CaracSN1_T	2	1	20: CaracSN3_T	1.000
3	21	Villav_OE_T	3	1	19: CaracSN2_T	1.000
3	21	Villav_OE_T	3	2	17: CaracNS3_T	0.000
4	2	Caracas_NS1	4	1	3: Caracas_NS3	0.682
4	2	Caracas_NS1	4	2	6: Villav_EO	0.318
5	4	Caracas_SN1	5	1	8: Caracas_SN2	0.716
5	4	Caracas_SN1	5	2	6: Villav_EO	0.284
6	7	Villav_OE	6	1	3: Caracas_NS3	1.000
7	9	Cll46OE	7	1	6: Villav_EO	0.201

VEHICLE ROUTING DECISION STATIC	LINK	LINK NAME	VEHICLE ROUTING DECISION	NO	DESTINATION LINK	RELATIVE FLOW
7	9	Cll46OE	7	2	10: Cll46OE2	0.368
7	9	Cll46OE	7	3	3: Caracas_NS3	0.431
8	16	CaracNS2_T	8	1	22: Villav_EO_T	0.333

Tabla N° 7 Rutas vehiculares

9.7.4. Introducción de Red semafórica

Teniendo en cuenta los ciclos semafóricos identificados en la etapa de Caracterización de los elementos de tránsito, se incorporaron en el modelo los semáforos vehiculares y peatonales empleando la herramienta “Signal Heads”; posteriormente, a través del menú “Signal Control” se definieron los dos grupos de señales, uno para la intersección de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio y otro para la intersección de la Av. Caracas con Calle 46 sur.



Imagen **22.** Representación red semafórica VISSIM

En la imagen 22, se presentan los semáforos de la zona de estudio. Las franjas rojas representan las líneas de PARE donde se detienen los vehículos y los cuadros azules representan los bloques tridimensionales de semáforos, incluidos mediante la herramienta “3D Traffic Signals”, los cuales están ubicados en las coordenadas correspondientes a cada semáforo en

campo. A la derecha de la imagen 22 se presentan los semáforos C3, T2 y T2a de la intersección de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio.

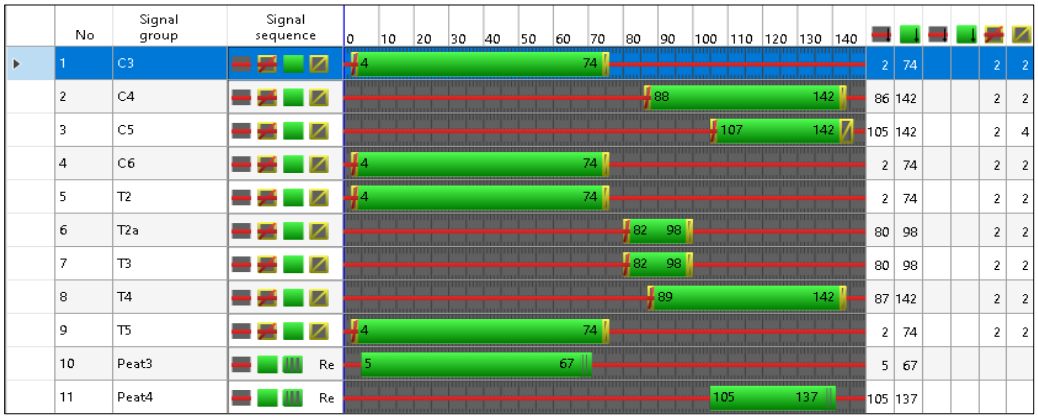


Imagen 23. Programa de control semafórico Av. Caracas – Av. Villavicencio

Una vez definidos los Grupos de señales e introducidos los semáforos en sus respectivas posiciones, se realizó la configuración de los Programas de ciclos semafóricos (Signal Program) para cada uno de los grupos definidos, obteniendo las siguientes programaciones en ciclos de 150 segundos para los dos casos:

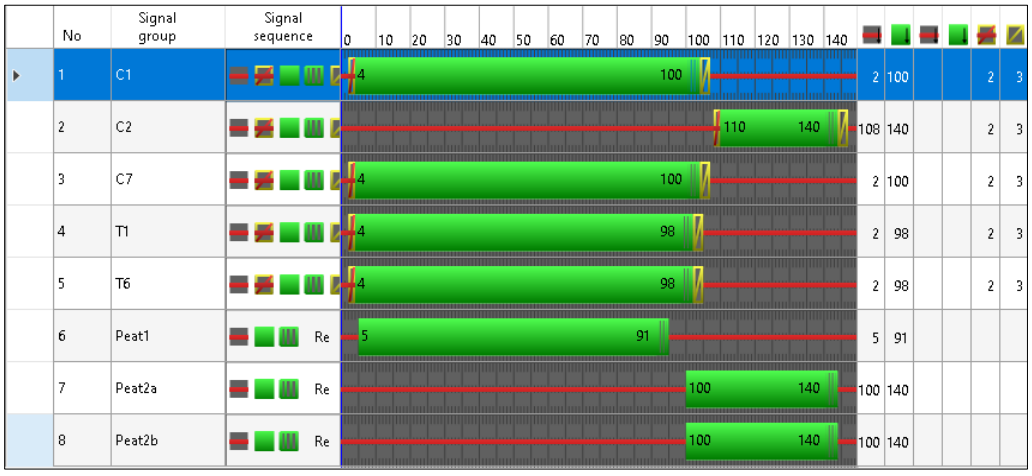


Imagen **24.** Programa de control semafórico Av. Caracas – Cll. 46 sur

9.7.5. Selección y creación de vehículos

El software PTV Vissim cuenta con una biblioteca que incluye modelos tridimensionales de diferentes tipos de vehículos; predefinidos por su uso común; dentro de los modelos cargados por defecto en los Tipos de vehículos “Vehicle Types” requeridos para las composiciones vehiculares, no están incluidos elementos especiales como Motocicletas, Volquetas o Transmilenios articulados y Biarticulados; a pesar de esto, el software cuenta con herramientas que permiten agregar los vehículos requeridos, bien sea desde la biblioteca del programa o importando archivos tipo .kmz generados en software de diseño como SketchUp.

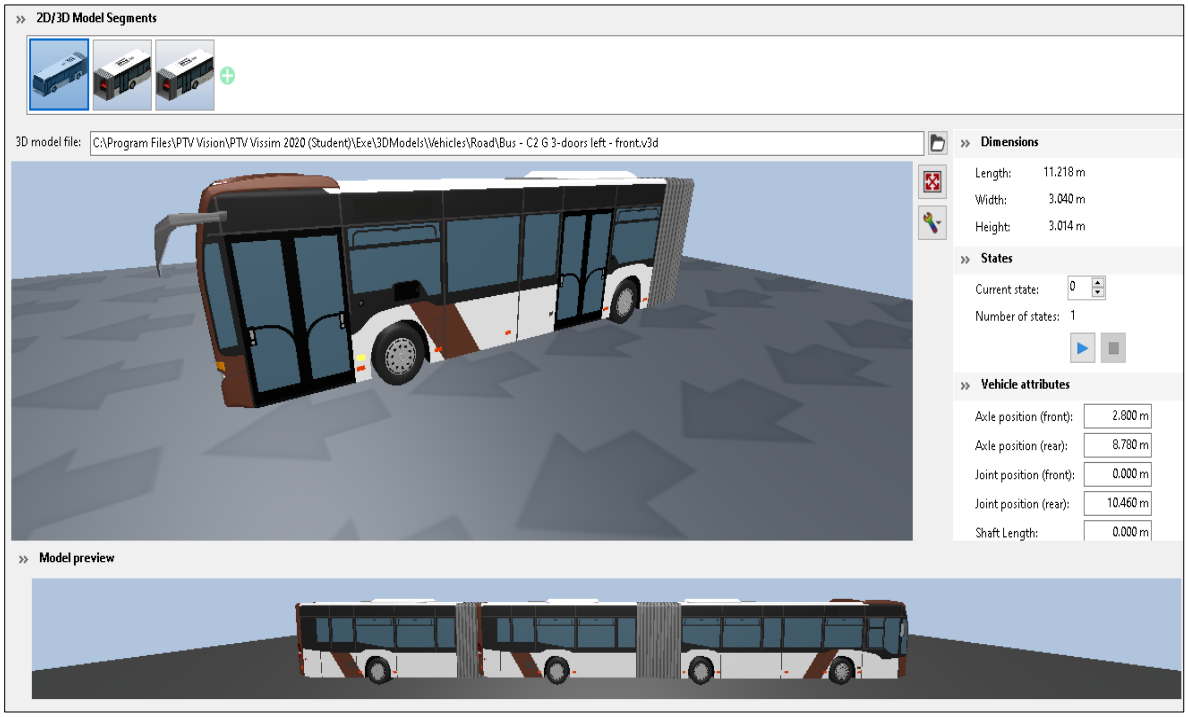


Imagen **25.** Interfaz de entorno de edición 2D/3D – PTV Vissim

En la imagen 25, se presenta un ejemplo de la interfaz de edición de modelos 2D y 3D con la que cuenta PTV Vissim. En este caso, se visualiza el cargue de tres modelos preestablecido, para conformar el vehículo Transmilenio biarticulado, de gran relevancia para la zona de estudio.

MODEL 2D/3D :NO	NAME	LENGTH
1	Car - Volkswagen Golf	4.21
2	Car - Audi A4	4.61
3	Car - Mercedes CLK	4.64
4	Car - Peugeot 607	4.76
5	Car - Nissan Quest 95	4.81
6	Car - Plymouth Voyager 99	4.88
7	Car - Toyota Yaris	3.75
9	Car - Volkswagen Golf 94	4.11
10	LtTruck - Chevrolet Silverado 08	6.67
11	LtTruck - Ford F150 09	5.41
15	SUV - Ford Explorer 08	4.89
16	SUV - Jeep Grand Cherokee 02	4.64
17	Van - Stepvan 01	6.18
21	HGV - EU 04	10.22
22	HGV - EU 05	8.80
23	HGV - US Flatbed	9.93
24	HGV - US WB-40	5.44
31	Bus - C2 Standard	12.40
61	Bike - Cycle Man	1.78
62	Bike - Cycle Woman	1.78
70	Motocicleta	2.00
71	Moto_Scooter	1.80
101	Ped - Man 01	0.46
102	Ped - Man 02	0.41
103	Ped - Man 03	0.44
104	Ped - Man 04	0.44
201	Ped - Woman 01	0.36
202	Ped - Woman 02	0.34
203	Ped - Woman 03	0.40
204	Ped - Woman 04	0.31
251	Ped - Woman & Child	0.36
301	Ped - Wheelchair	1.24
5001	Biarti-1	26.07
5002	Articulado	20.11
5003	Transmi_peq	12.40
5004	Biarti-9	26.07

Tabla N° 8 Vehículos Modelos de VISSIM

En la Tabla N° 8 se incluye el listado de modelos 2D/3D empleados dentro de las modelaciones del presente proyecto.

9.7.6. Definición de Composiciones vehiculares

Las composiciones vehiculares fueron elaboradas teniendo en cuenta la tipología de los vehículos observados durante la toma de datos en campo. Cada composición incorporada en el modelo, corresponde a ponderación por tipología de vehículo observada en cada uno de los orígenes definidos. La ponderación por composición se realizó considerando la sumatoria de volúmenes aforados en los movimientos asociados a un origen correspondiente.

Para la modelación inicial, se crearon diez diferentes composiciones vehiculares, de las cuales tres corresponden a los orígenes del sistema Transmilenio, cuatro corresponden a los orígenes de tráfico mixto y una última de peatones empleada para todos los tramos peatonales considerados.

Veh Composition: 3 TransmilenioNS		
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
2000: Transmil	1047: 10: 50 km/h	0.643
2100: Biarticulados	1047: 10: 50 km/h	0.357
4	TransmilenioSN	
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
2000: Transmil	1047: 10: 50 km/h	1.000
5	Transmilenio_Villav	
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
2100: Biarticulados	1047: 10: 50 km/h	1.000
6	CaracNS	
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
100: Car	1047: 10: 50 km/h	0.217
200: HGV	1047: 10: 50 km/h	0.070
300: Bus	1047: 10: 50 km/h	0.046
610: Bike Man	20: 20 km/h	0.263
620: Bike Woman	20: 20 km/h	0.200
700: Motocicletas	1048: MOTOS 20-60	0.204
Veh Composition: 7 CaracSN		
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
100: Car	1047: 10: 50 km/h	0.342

200: HGV	1047: 10: 50 km/h	0.100
300: Bus	1047: 10: 50 km/h	0.075
610: Bike Man	20: 20 km/h	0.100
620: Bike Woman	20: 20 km/h	0.090
700: Motocicletas	1048: MOTOS 20-60	0.294
Veh Composition: 8 VillavOE		
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
100: Car	1047: 10: 50 km/h	0.207
200: HGV	1047: 10: 50 km/h	0.062
300: Bus	1047: 10: 50 km/h	0.060
610: Bike Man	20: 20 km/h	0.261
620: Bike Woman	20: 20 km/h	0.250
700: Motocicletas	1048: MOTOS 20-60	0.160
Veh Composition: 9 Cll46OE		
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
100: Car	1047: 10: 50 km/h	0.206
200: HGV	1047: 10: 50 km/h	0.040
300: Bus	1047: 10: 50 km/h	0.022
610: Bike Man	20: 20 km/h	0.014
620: Bike Woman	20: 20 km/h	0.010
700: Motocicletas	1048: MOTOS 20-60	0.708
Veh Composition: 10 Peatones		
Vehicle Type	**Desired Speed Distribution**	**Relative Flow**
550: Peatones	5: 5 km/h	1.000

Tabla N° 9 Composiciones Vehiculares

En la Tabla 9 se presenta el listado de composiciones vehiculares empleada para la modelación de condiciones iniciales. Se evidencia que las composiciones vehiculares definidas cuentan con su respectiva distribución de velocidad deseada; éstas distribuciones fueron generadas posterior a la creación de composiciones, por lo que la asignación de velocidades no se realizó inicialmente para cada composición.

9.7.7. Definición de Distribuciones de velocidad

Tomando como base la información recopilada durante el Estudio de velocidades a las intersecciones de estudio, fueron creadas tres distribuciones por medio del módulo “Desired Speed Distributions”. La asignación de distribuciones por composición se realizó de acuerdo a lo descrito en la Tabla 9 de composiciones vehiculares.

9.7.8. Parametrización de comportamientos

El comportamiento de los conductores se parametrizó tomando como base el modelo Wiedemann 1974 “Driving Behavior – Urban (motorized)” cargado en el software por defecto para el flujo general de vehículos. Para las motocicletas, se adaptó una copia del modelo “Driving Behavior – Urban (motorized)”, habilitando el comportamiento de sobrepaso lateral dentro de un mismo carril manteniendo distancias mínimas con los vehículos a adelantar y habilitando el cambio aleatorio de carril y la aglomeración en cola; estos ajustes se realizaron para incrementar la similitud del comportamiento en el modelo con el comportamiento real analizado en campo y algunos parámetros fueron replicados de manera similar en las bicicletas. Adicionalmente, para los peatones se empleó el comportamiento “Footpath (no interaction)”, de tal manera que los peatones no tienen en cuenta el comportamiento de los demás para su desplazamiento.

DRIVING BEHAVIOR: NO	NAME	STANDDIST	W74BXADD	W74BXMULT	LNCHGRULE	ADVMERG	DESLATPOS	OVTLDEF	OVTRDEF	LATDISTDRIVDEF	LATDISTSTANDDEF
1	Urban (motorized)	0.5	2	3	Free lane selection	SI	Middle of lane	SI	SI	0.5	0.2
4	Footpath (no interaction)	0.5	2	3	Free lane selection	SI	Any	NO	NO	1.0	0.3
2	Right-side rule (motorized)	31	2	3	Slow lane rule	SI	Middle of lane	NO	SI	1.0	1.0
5	Urban 2 (motorized)	0.5	1	2	Free lane selection	SI	Any	SI	SI	0.3	0.1

Tabla N° 10 Parámetros de conducción

Los parámetros relacionados en la Tabla 10 son los siguientes:

- STANDDIST: “Standstill distance in front of static objects” hace referencia a la distancia mínima que debe mantener el vehículo frente a elementos estáticos como semáforos, áreas de conflicto, reglas de prioridad y señales de PARE.
- W74BXADD: “Additive Factor for Security distance” es la distancia deseada de seguridad, dependiendo del vehículo precedente. (Jiménez, 2014)
- W74BXMULT: “Multplicative factor for Security distance” corresponde el valor de distribución del factor de distancia de seguridad, donde a mayor valor, mayor desviación estándar. (Jiménez, 2014)
- LNCHGRULE: “Lane change rule” indica el parámetro que aplica el conductor para seleccionar el carril de desplazamiento y los casos en los que puede cambiar de carril, “Free lane selección” habilita a los conductores a cambiar de carril de izquierda a derecha y de derecha a izquierda, siempre que cuenten con la distancia requerida para la maniobra. (Jiménez, 2014)
- ADVMERG: “Advanced merging” permite a los vehículos realizar cambios de carril anticipado considerando su destino, esto con el fin de evitar bloqueos innecesarios al momento de realizar un giro a derecha o izquierda. (Jiménez, 2014)
- DESLATPOS: “Desired lateral position” hace referencia a la ubicación deseada dentro del carril. En general se maneja “middle of lane” para que los vehículos se desplacen por el centro del carril y “Any” en el caso de motocicletas, bicicletas y peatones que de acuerdo a la evidencia empírica, tienden a posicionarse en cualquier parte del carril. (Jiménez, 2014)
- OVTLDEF / OVTRDEF: “Overtake Left / Overtake Rigth” habilita a los vehículos a adelantar por derecha o izquierda. (Jiménez, 2014)
- LATDISTDRIVDEF: “Lateral minimun distance at 50 km/h” Distancia mínima que se debe mantener con los vehículos continuos para adelantar a una velocidad de 50 km/h. (Jiménez, 2014)

- LATDISTSTANDDEF: Lateral minimun distance at 0 km/h" Distancia mínima que se debe mantener con los vehículos continuos al detenerse y/o estacionarse. (Jiménez, 2014)

9.7.9. Introducción de volúmenes HMD

Al consolidar los cálculos de volúmenes vehiculares a partir de los aforos tomados en campo para la HMD (Hora de máxima demanda), se ingresa la información a Vissim por medio de la herramienta "Vehicle inputs". Para esto, se identifican los corredores viales de origen por donde ingresaran los vehículos al modelo.

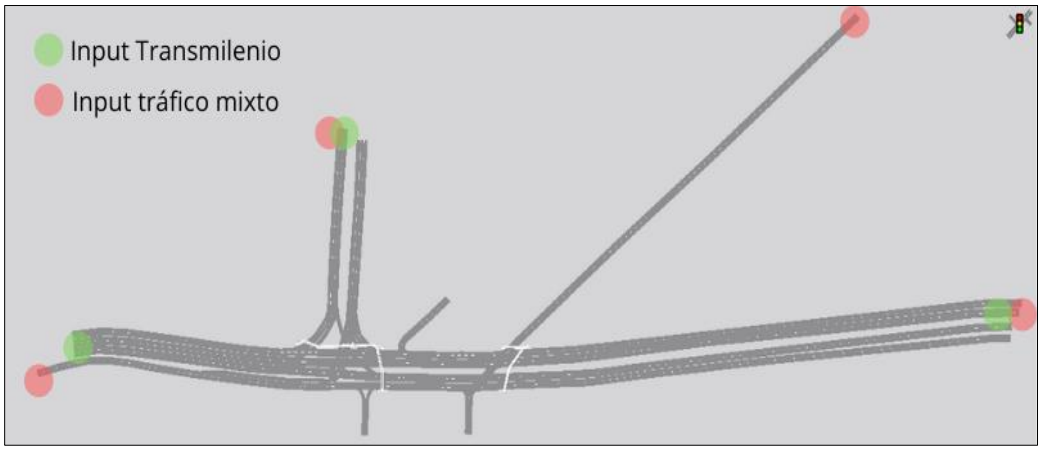


Imagen **26.** Inputs iniciales– PTV Vissim

En la imagen 26 se muestran los orígenes donde se ingresaron los volúmenes vehiculares (Inputs) tanto para tráfico mixto como para Transmilenio.

VEHICLE INPUT: NO	LINK	LINK NAME	VOLUME	VEHICLE COMPOSITION	VEHICLE COMP NAME
1	15	CaracNS1_T	227	3	Veh Composition: 3 TransmilenioNS
2	18	CaracSN1_T	137	4	Veh Composition: 4 TransmilenioSN
3	21	Villav_OE_T	83	5	Veh Composition: 5 Transmilenio_Villav
4	2	Caracas_NS1	2044	6	Veh Composition: 6 CaracNS
5	4	Caracas_SN1	1594	7	Veh Composition: 7 CaracSN
6	7	Villav_OE	188	8	Veh Composition: 8 VillavOE
7	9	Cll46OE	1131	9	Veh Composition: 9 Cll46OE

VEHICLE INPUT: NO	LINK	LINK NAME	VOLUME	VEHICLE COMPOSITION	VEHICLE COMP NAME
8	31	Peat2EO	100	10	Veh Composition: 10 Peatones
9	26	Peat1SN	152	10	Veh Composition: 10 Peatones
10	57	Peat3EO	128	10	Veh Composition: 10 Peatones
11	23	peat4SN	124	10	Veh Composition: 10 Peatones
12	50	peat4NS	136	10	Veh Composition: 10 Peatones
13	51	Peat3OE	136	10	Veh Composition: 10 Peatones
14	24	Peat1NS	172	10	Veh Composition: 10 Peatones
15	25	Peat2OE	184	10	Veh Composition: 10 Peatones

Tabla N° 11 Volúmenes por Input Vehicular

Cómo se evidencia en la Tabla 11, con la herramienta "Vehicle Input" también se puede introducir los volúmenes peatonales en los corredores diseñados para esta información. Adicionalmente, en la Tabla 11, se identifica la composición vehicular asignada a cada Input en función de su origen.

9.7.10. Reglas de prioridad y áreas de conflicto

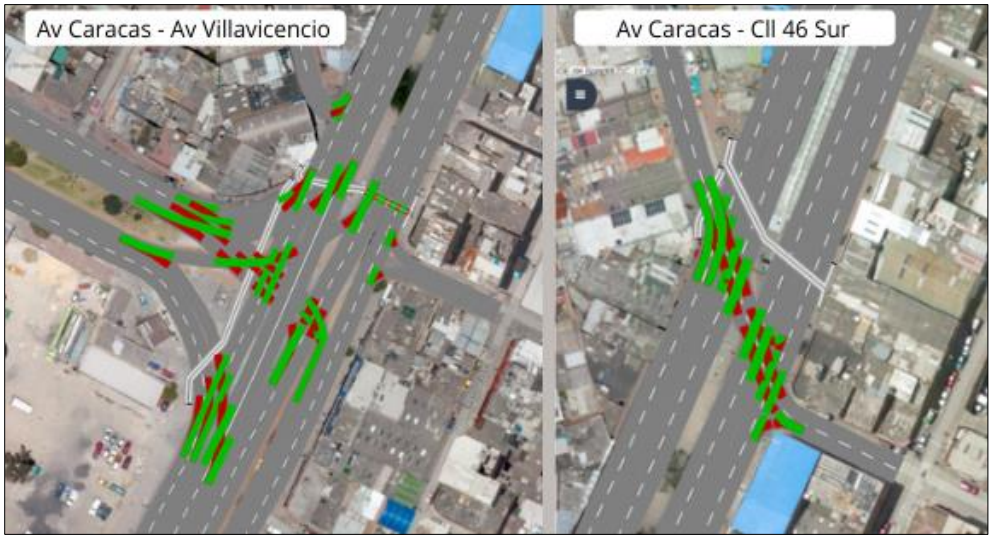


Imagen **27.** Reglas de prioridad– PTV Vissim

Dentro de las herramientas clasificadas como elementos de control con los que cuenta el software PTV Vissim, las herramientas "Conflict Areas" y "Priority Rules", son de gran utilidad

para regular el comportamiento de vehículos en zonas de intersección o de reducción de calzadas.

En la imagen 27, las áreas de conflicto de la zona de estudio. Las franjas verdes indican el movimiento que tiene prioridad sobre el movimiento marcado en rojo. La prioridad indica que, en caso de llegar a un punto en común al mismo tiempo, el vehículo con prioridad puede primero y el otro se detiene para pasar después. Esta herramienta es equivalente a la señal de tránsito “Ceda el paso”.

9.7.11. Ambientación y bloques 3D

Con el fin de generar una simulación más cercana a la realidad, se empleó el software SketchUp Pro 2020 para la elaboración de bloques tridimensionales que se insertaron en las zonas correspondientes dentro del modelos por medio de la herramienta “Static 3D Model”.



Imagen **28.** Bloques de embellecimiento– PTV Vissim

En la imagen 28, se presentan los bloques de manzanas elaborados y otros bloques como árboles y estación de combustible, introducidos en el modelo como ambientación.

9.7.12. Generación de nodos

Dentro de los elementos de generación de indicados del software Vissim, está la herramienta “Nodes”, por medio de la cual es posible evaluar los atributos que se definan para

un área definida por medio de un polígono, de tal manera que, los resultados obtenidos por nodo, son una ponderación de los diferentes elementos que concurren en dicho nodo.

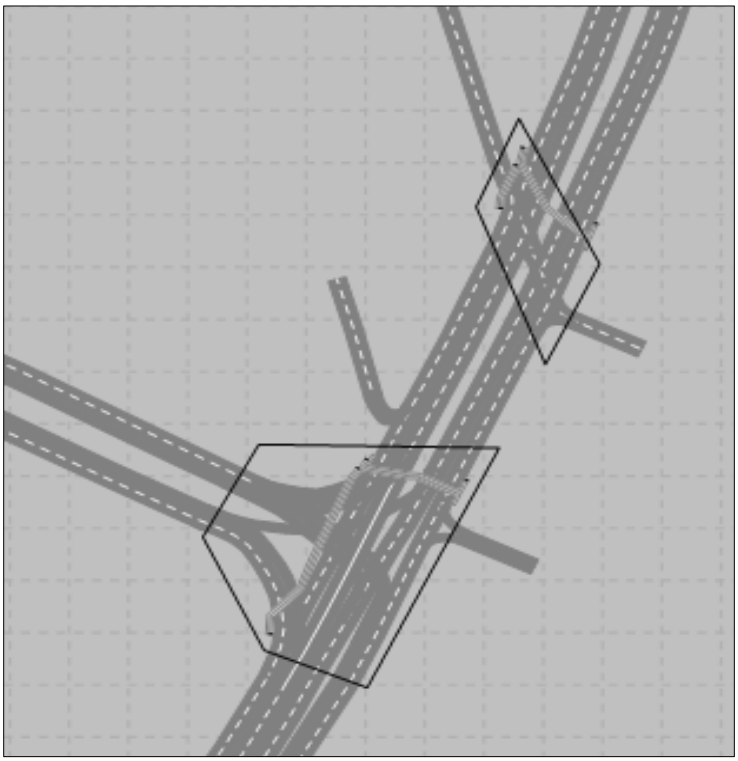


Imagen **29.** Nodos de análisis– PTV Vissim

Como se evidencia en la imagen 29, para el modelo de condiciones iniciales se definieron dos nodos, uno en cada una de las intersecciones críticas contempladas en la evaluación de la zona de estudio.

9.7.13. Definición de parámetros de evaluación

Como parámetros de evaluación se indica en la configuración los datos a recolectar con sus respectivos e intervalos de toma de datos. Para la modelación se definió un periodo de simulación de 4500 segundos, de los cuales, los primeros 900 segundos no se consideran dentro de la evaluación, ya que según las recomendaciones de PTV, para un modelo con menos de 100 km de longitud de tramos viales “Links”, este es un tiempo prudente para que el modelo se calibre según las condiciones reales de tránsito, de tal forma que la evaluación se realizó desde el

segundo 900 hasta el segundo 4500, es decir, en un periodo de 3600 segundos correspondientes a la hora de máxima demanda.

Los atributos considerados dentro de la evaluación del modelo con condiciones iniciales fueron los siguientes:

	Collect data	From-time	To-time	Interval	
Area measurements	☐	900	4500	60	
Areas & ramps	☐	900	99999	99999	
Data collections	☐	0	99999	99999	
Delays	☑	900	4500	60	
Links	☑	900	4500	60	More...
Meso edges	☐	0	99999	99999	
Nodes	☑	900	4500	60	More...
OD pairs	☐	0	99999	99999	
Pedestrian Grid Cells	☐	0	99999	99999	More...
Pedestrian network performance	☐	0	99999	99999	
Pedestrian travel times	☐	0	99999	99999	
Queue counters	☑	900	4500	60	More...
Vehicle network performance	☑	900	4500	60	
Vehicle travel times	☑	900	4500	60	More...

Imagen **30.** Parámetros de Análisis– PTV Vissim

Los atributos indicados en la imagen 30 corresponden a:

- Delays: Demora en el recorrido promedio, obtenida a partir de la diferencia entre el tiempo empleado por un vehículo para cada recorrido y el tiempo teórico ideal del mismo recorrido.
- Queue counters: Mediciones de longitud de cola en los puntos definidos para este fin.
- Vehicle Network performance: Resultados de comportamiento desde el punto de vista del vehículo.
- Vehicle travel times: Tiempos de viaje promedio por Tipo de vehículos dentro de las rutas definidas en el modelo.

- Links: Resultados de densidad, demoras, velocidades de viaje y caudales (vehículos por hora) para cada uno de los corredores o conectores habilitados para ser contemplados dentro de la evaluación.

Los resultados generados a partir de cada simulación, se generan según la calibración realizada, cada 60 segundos.

9.7.14. Simulación de modelo con condiciones iniciales

Para generar los resultados correspondientes a los atributos definidos durante la configuración de parámetros de evaluación, se lleva a cabo la simulación desde la vista 3D con la mínima velocidad de paso permitida por el sistema; esto con el fin de analizar si el modelo se ajusta a las condiciones observadas en campo. En caso de evidenciar discrepancias o errores en la simulación, se rectifica la información y se ajustan los parámetros de comportamiento y disposición de elementos viales hasta obtener una simulación acorde a la realidad.

Una vez terminada la calibración de la simulación, se activa la grabación de datos de evaluación. Teniendo en cuenta que el sistema de modelación fue definido como estocástico, debido a que se basa en el modelo de seguimiento de vehículos Wiedemann 74, descrito en el numeral 8.5.5 “Software de simulación de tráfico Vissim”, en cada simulación los resultados obtenidos son diferentes, por tal razón, se realizó la recopilación de cinco ejecuciones de simulación para cada modelo y los datos presentados dentro de los resultados corresponden a los datos promedio de las cinco simulaciones.

La cantidad de cinco ejecuciones fue determinada como recomendación del Ingeniero Civil Experto en Modelación de Transporte, Diego Parra, quien suministro la herramienta PTV Vissim en su versión completa para correr los modelos del presente estudio, puesto que esta opción no está habilitada en la versión estudiantil con la que se elaboró el presente proyecto.

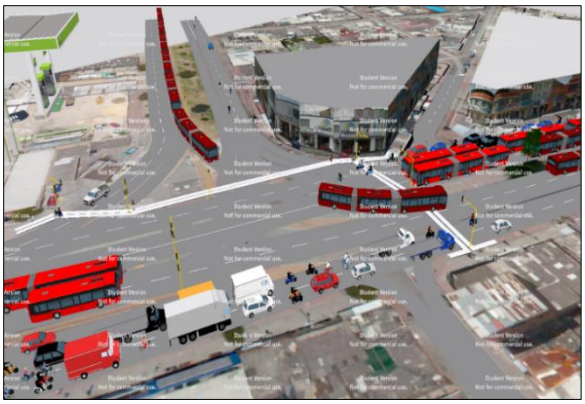


Imagen **31.** Modelación– PTV Vissim



Imagen **34.** Modelación– PTV Vissim



Imagen **32.** Modelación– PTV Vissim



Imagen **35.** Modelación– PTV Vissim



Imagen **33.** Modelación– PTV Vissim

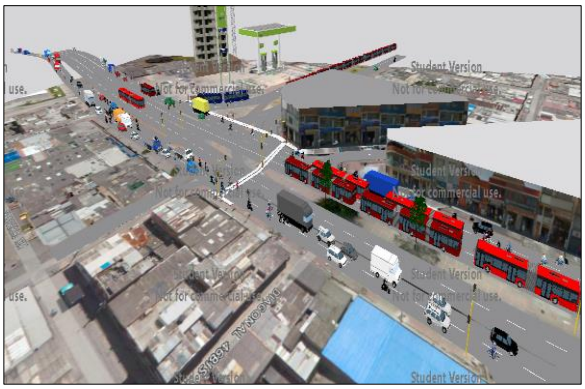


Imagen **36.** Modelación– PTV Vissim



Imagen **37.** Modelación– PTV Vissim



Imagen **38.** Modelación– PTV Vissim

9.8. Modelación de la intersección – Propuesta de mejoramiento

De acuerdo con el diseño geométrico planteado dentro a la sección 8.5.2 Factores de tránsito, se define el proceso a llevar a cabo para la modelación de la alternativa de mejoramiento de las condiciones de tránsito de la zona de estudio.

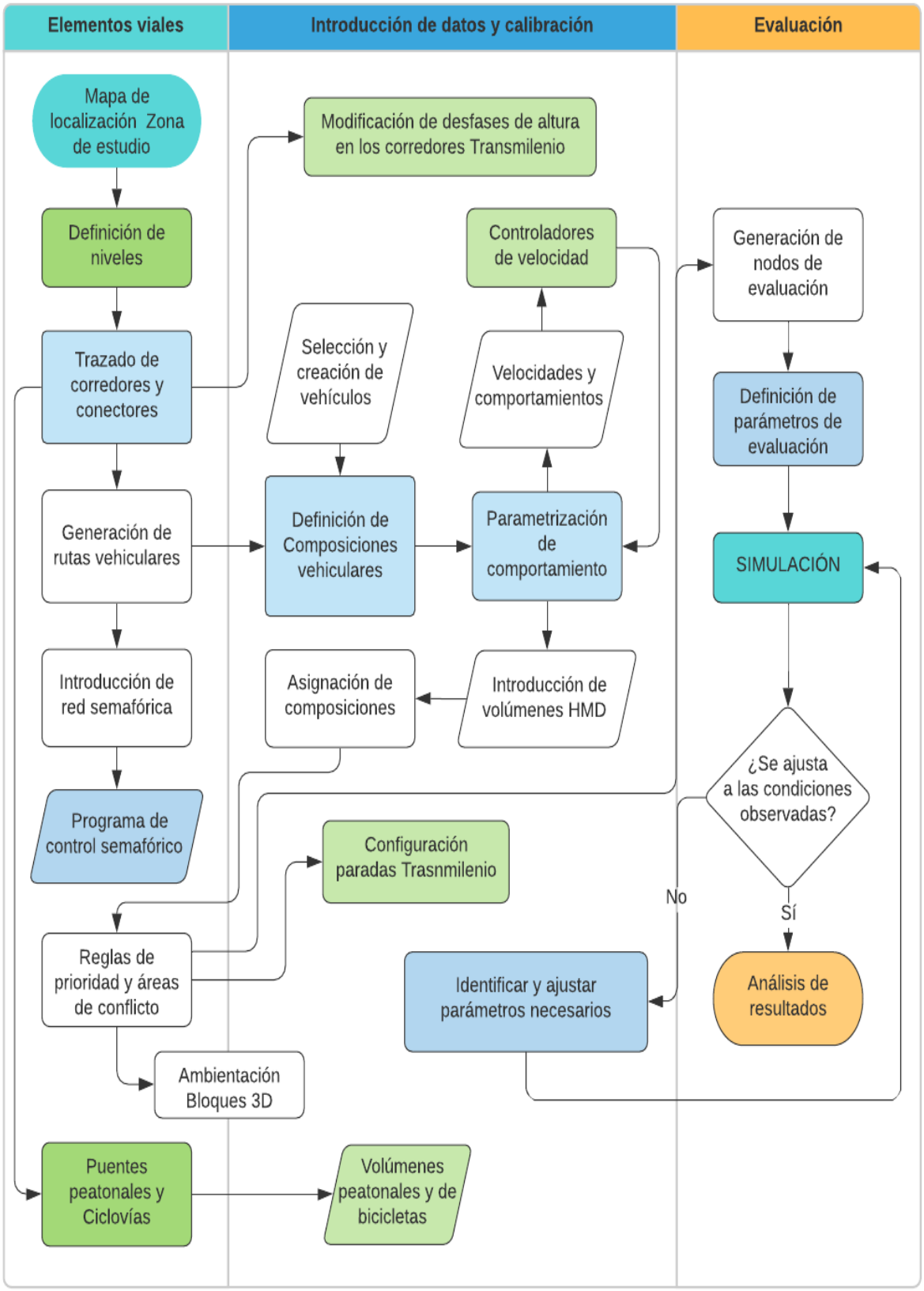


Imagen **39** Flujograma alternativa propuesta

En el proceso presentado en la imagen 39 para la modelación de la alternativa de solución, se incluyen en verde las actividades adicionales requeridas en comparación con la modelación de condiciones iniciales.

9.8.1. Definición de niveles

Los principales criterios para la selección de la alternativa de solución consisten en reducir la interrupción en el flujo vehicular en los diferentes sentidos y en incrementar la seguridad de bici usuarios y peatones; por esta razón, se recurre al uso de variación de niveles para el desplazamiento de los diferentes actores viales, de tal forma que se separan los bici usuarios y peatones de los demás usuarios de las vías, generando condiciones de seguridad para su desplazamiento. Por otro lado, al plantear un paso a desnivel para las rutas del sistema Transmilenio, se reducen los tiempos de detención por semáforos tanto de los vehículos de tráfico mixto como de los vehículos del sistema Transmilenio.

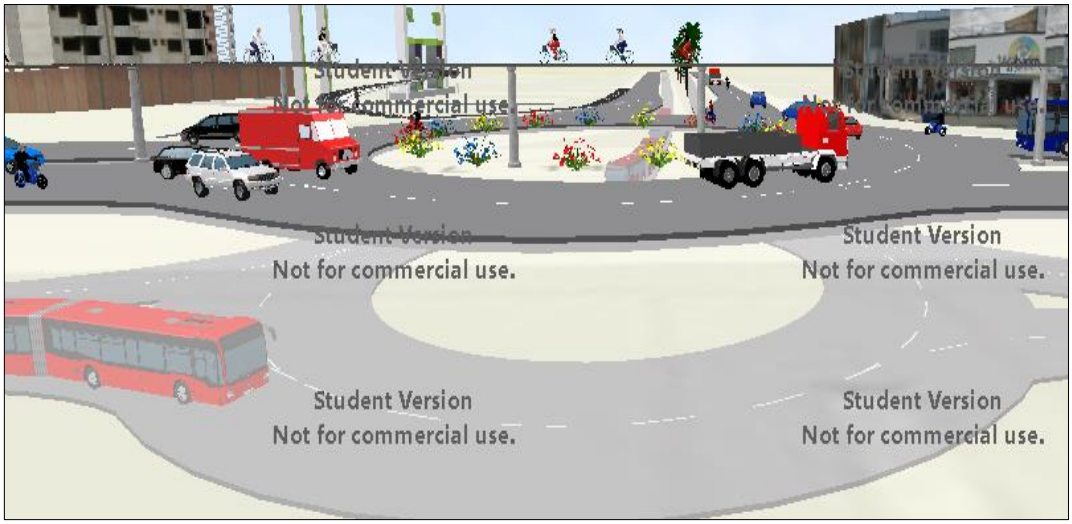


Imagen **40.** Esquema general de la propuesta

En la imagen 40 se identifican los tres niveles manejados para la alternativa planteada, el nivel inferior (N -8.00) para Transmilenio, el nivel base (N ±0.00) para el tráfico mixto y el nivel superior (N + 5.00) para el paso de bici usuarios y peatones.

9.8.2. Trazado de corredores y conectores vehiculares



Imagen **41.** Link de vías carros

En la imagen 41 se presentan los corredores viales generados en el nivel base del proyecto, representados con líneas azules y se presentan los conectores entre corredores viales correspondientes a las líneas magenta. Se identifican dentro de los Links generados, las bases de los puentes peatonales diseñados.

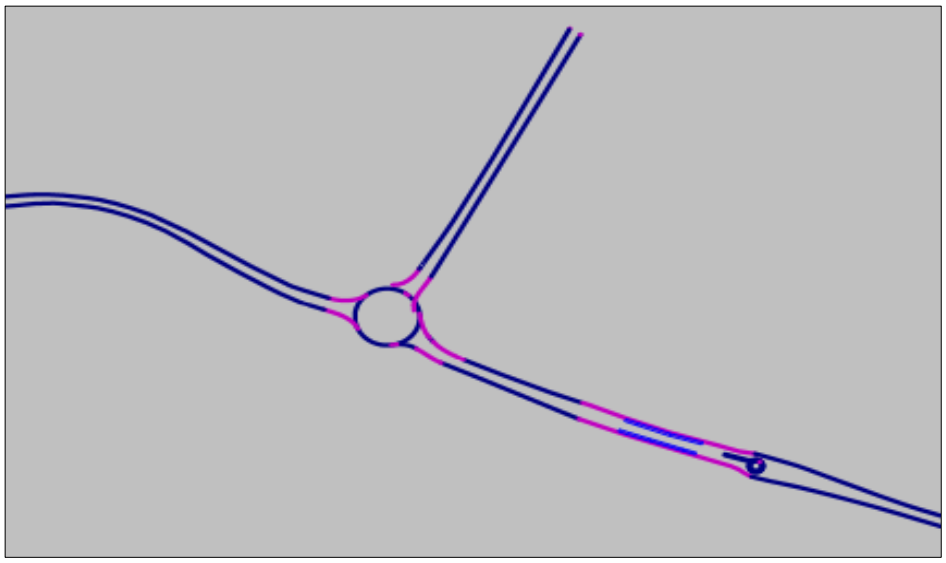


Imagen 42. link Transmilenio

En la imagen 42 se presentan los corredores viales generados en el nivel inferior, de Transmilenio, representados de la misma manera que los del nivel base.

9.8.3. Trazado de corredores y conectores peatonales

Con el fin de generar unas condiciones de seguridad para peatones y bici usuarios, se incorporaron en la zona estudiada dentro del presente proyecto, corredores exclusivos para la circulación de bicicletas, de tal forma que estás se puedan separar del tráfico vehicular.



Imagen **43.** corredor exclusivo peatones y bici-usuario

En la imagen 43 se muestra el trazado principal de la red de Ciclorruta, la cual se plantea en el separador central de la Av. Caracas, cruzando la Glorieta de la Intersección de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio a través de un puente, que se conecta en el sur con una salida hacia el costado Oriental para continuar por ese costado en el sentido Sur – norte de la Caracas y otra salida en el costado Occidental para conectarse con la Av. Ciudad de Villavicencio. En el extremo Norte del trazado central, a la altura de la Diagonal 45 B Sur, la Ciclorruta se conecta mediante un puente con el costado Oriental de la Av. Caracas, donde la Ciclorruta continua hacia el Norte.

Los pasos peatonales sobre la Av. Caracas, fueron planteados en tres puntos diferentes, dos de los cuales coindicen con los puentes definidos para la Ciclorruta y uno adicional ubicado en el costado Norte de la Calle 46 Sur.



Imagen **44.** -planta puentes peatonales propuestos

En la imagen 44 se presenta a la izquierda la ubicación en planta de los puentes peatonales propuestos para cruzar de en de Oriente a Occidente y de Occidente a Oriente. A continuación, se presentan las características de cada puente planteado



Imagen **45.** -Puente Diagonal 45 B Sur

La imagen 45, muestra el puente ubicado en el costado sur de la Diagonal 45 B, el cual tiene Acceso peatonal desde los costados Oriente y Occidente hacia la Estación de Transmilenio

De Santa Lucia que se encuentra subterránea. Adicionalmente, cuenta con acceso de Ciclorruta hacia el separador central de la Av. Caracas.

			Rampas Peatonales						Rampas Ciclorruta					
			Occidente		Central		Oriente		Occidente		Central		Oriente	
Altura Galibo (m)	Long plataforma (m)	# Luces	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)
4.50	51.5	2	71.0	6.3	127.5	6.5	72.0	6.3	N.A.	N.A.	70.0	6.5	74.00	6.3
Observaciones		Puente de acceso peatonal a la Estación de Transmilenio Santa Lucia por el costado Norte.												

Tabla N° 12 Características puente Santa Lucía



Imagen **46.** -Puente Calle 46 Sur

La imagen 46, muestra el puente ubicado en el costado norte de la calle 46 sur, el cual cuenta únicamente con acceso peatonal para cruzar la Av. Caracas en los sentidos Oriente y Occidente.

			Rampas Peatonales						Rampas Ciclorruta					
			Occidente		Central		Oriente		Occidente		Central		Oriente	
Altura Galibo (m)	Long plataforma (m)	# Luces	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)
4.5	58	2	68	6.6	N.A.	N.A.	68	6.6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Observaciones														

Tabla N° 13 Características puente Calle 16 Sur



Imagen **47.** puente ubicado en el costado Sur de la Av. Ciudad de Villavicencio

En la imagen 47, se presenta el puente ubicado en el costado Sur de la Av. Ciudad de Villavicencio, el cual cuenta tiene paso peatonal para cruzar la Av. Caracas en los sentidos Oriente y Occidente y conexión con la Ciclorruta tanto en los sentidos Oriente y Occidente como en los Sentidos norte y Sur.

			Rampas Peatonales						**Rampas Ciclorruta**					
			Occidente		Central		Oriente		Occidente		Central		Oriente	
Altura Galibo (m)	Long plataforma (m)	# Luces	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)	Long horizontal (m)	Pendiente (%)
4.5	58	2	74	6.1	N. A.	N. A.	74	6.1	76	5.9	N. A.	N. A.	76	5.9
Observaciones		Cuenta con conexión de Ciclorruta en sentidos Sur y norte sobre la glorieta de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio.												

Tabla N° 14 Puente costado sur Av. Ciudad de Villavicencio

A continuación, se relacionan los elementos tipo Link creados para la generación de corredores viales de tráfico mixto, de Transmilenio, ciclorrutas y pasos peatonales.

g	NAME	LINK BEHAV TYPE	LEVEL	NUM LANES	LENGTH 2D
1	Caracas_NS2	1: Urban (motorized)	1: Base	3	102.855586
2	Caracas_NS1	1: Urban (motorized)	1: Base	2	464.323989
3	Caracas_NS3	1: Urban (motorized)	1: Base	2	226.849628
4	Rampa_bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	52.78445
5	CaracSN1	1: Urban (motorized)	1: Base	2	218.302795
6	Acceso_Rot1	1: Urban (motorized)	1: Base	2	2.871756

g	NAME	LINK BEHAV TYPE	LEVEL	NUM LANES	LENGTH 2D
7	Villav_OE	1: Urban (motorized)	1: Base	2	197.737734
8	Caracas_SN3	1: Urban (motorized)	1: Base	2	508.07802
9	Cll46OE	1: Urban (motorized)	1: Base	2	230.130001
10	Cll46OE2	1: Urban (motorized)	1: Base	2	78.628794
11	Ent_est_Transmi	4: Footpath (no interaction)	2: tunel	1	24.289539
12	PuenteSN_b	5: Cycle-Track (free overtaking)	3: Puente	1	53.853018
13	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	8.175872
14	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	7.96805
15	CaracNS1_T	1: Urban (motorized)	1: Base	2	60.631
16	CaracNS2_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	95.223048
17	CaracNS3_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	271.546867
18	CaracSN1_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	269.066547
19	CaracSN2_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	111.752119
20	CaracSN3_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	271.762
21	Villav_OE_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	1	230.827293
22	Villav_EO_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	1	231.933149
23	Salid_rot1-CaracSN2	1: Urban (motorized)	1: Base	2	5.959907
24	CaracSN2_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	14.920245
25	Peat_cll46	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	35.540767
26	PuenteSN_b	5: Cycle-Track (free overtaking)	3: Puente	1	54.296934
27	Rampa_Bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	35.754268
28	Base_rampa_b-S	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	255.037017
29	Carril_parqueo	2: Right-side rule (motorized)	1: Base	1	43.528215
30	Peat_cll46	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	35.444273
31	Villav_OE_T	1: Urban (motorized)	1: Base	1	35.652808
32	Base_rampa_b-S	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	253.260563
33	Base_rampa_b-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	176.374525
34	Rampa_Bici-NE	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	27.168899
35	Rampa_Bici-NE	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	51.474915
36	Ent_est_Transmi	4: Footpath (no interaction)	2: tunel	1	24.683952
37	Villav_EO_T	1: Urban (motorized)	1: Base	1	40.943801
38	Rampa_Bici-N	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	43.142896
39	Rampa_peat-N-est	4: Footpath (no interaction)	2: tunel	1	32.650449
40	Rot1-S	1: Urban (motorized)	1: Base	2	58.534291
41	lim_lote	1: Urban (motorized)	1: Base	1	14.292583
42	CaracNS1_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	274.804102
43	Rot1-N	1: Urban (motorized)	1: Base	2	83.680662
44	lim_lote	1: Urban (motorized)	1: Base	1	20.175017
45	lim_lote2	1: Urban (motorized)	1: Base	1	51.441839
46	lim_lote2	1: Urban (motorized)	1: Base	1	34.395706
47	PTE_bici-S	5: Cycle-Track (free overtaking)	3: Puente	1	43.34141
48	CaracSN2	1: Urban (motorized)	1: Base	2	36.202998
49	Rampa_bici-SE	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	75.00306

g	NAME	LINK BEHAV TYPE	LEVEL	NUM LANES	LENGTH 2D
50	Rampa_bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	46.022454
51	PTE_bici-S	5: Cycle-Track (free overtaking)	3: Puente	1	43.461656
52	Rampa_peat-N	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	32.843428
53	Rampa_bici_SE	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	65.525603
54	PTE_bici-S	4: Footpath (no interaction)	3: Puente	1	43.159126
55	Rampa_peat_SE	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	43.871842
56	Rampa_peat_SE	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	37.826851
57	PTE_peat-S	4: Footpath (no interaction)	3: Puente	1	43.217
58	Rampa_Bici-SO	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	54.422798
59	Rampa_Bici-SO	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	48.597862
60	PTE_P-N	4: Footpath (no interaction)	3: Puente	1	50.211989
61	Rampa_peat-SO	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	42.850188
62	Rampa_peat-SO	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	37.56601
63	PTE_bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	3: Puente	1	20.775132
64	PTE_bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	3: Puente	1	20.777458
65	Base_rampa_b-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	194.633077
66	Rampa_peat-N	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	26.814349
67	Base_rampa_b-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	194.648883
68	PTE_P-N	4: Footpath (no interaction)	3: Puente	1	50.531012
69	Rampa_peat-N	1: Urban (motorized)	2: tunel	1	26.660596
70	Acceso_S-Rot1	1: Urban (motorized)	1: Base	2	5.940894
71	Salid_rot1-CaracNS	1: Urban (motorized)	1: Base	2	2.227558
72	Villav_EO	1: Urban (motorized)	1: Base	2	206.529189
73	Acceso_N-Rot1	1: Urban (motorized)	1: Base	2	2.950073
74	Acceso_N-Rot1	1: Urban (motorized)	1: Base	1	7.5413
75	CaracSN3_T	1: Urban (motorized)	1: Base	2	58.233283
76	Rampa_PTE-peat2	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	42.759515
77	Rampa_PTE-peat2	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	34.029655
78	Rampa_PTE-peat2	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	34.397527
79	Rampa_PTE-peat2	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	42.472554
80	PTE_Peat1	4: Footpath (no interaction)	3: Puente	1	57.601556
81	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	2.836965
82	lim_lote	1: Urban (motorized)	1: Base	1	18.313036
83	lim_lote	1: Urban (motorized)	1: Base	1	19.514572
84	CaracNS2_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	4.531157
100	Rot_T	1: Urban (motorized)	2: tunel	2	147.550165
10015	Rampa_Bici-S	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	32.843836
10020	Rampa_Bici-S	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	26.813837
10024	PTE_Peat1	4: Footpath (no interaction)	3: Puente	1	57.813807
10039	Rampa_peat-N-centro	4: Footpath (no interaction)	2: tunel	1	32.844348
10041	Conect_Carac_NS-Rot1	1: Urban (motorized)	1: Base	2	12.817065
10053	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	4.159803
10054	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	4.079528

g	NAME	LINK BEHAV TYPE	LEVEL	NUM LANES	LENGTH 2D
10061	BaseEO_bici	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	45.569777
10062	BaseOE_bici	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	45.573318
10063	Rampa_peat-N_cent	4: Footpath (no interaction)	2: tunel	1	26.631395
10084	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	12.450122
10085	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	9.9688
10087	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	2.836965
10089	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	11.650497
10090	ini_PTE-P	4: Footpath (no interaction)	1: Base	1	11.314416
10091	lim_lote	1: Urban (motorized)	1: Base	1	13.07622
19981	Base_rampa_b-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1: Base	1	176.387858

LINK: NO	NAME	LINK BEHAV TYPE	NUM LANES	LENGTH 2D	FROM LINK	TO LINK
101	conect_CaracSN_T-Rot_T	1: Urban (motorized)	2	30.860	18: CaracSN1_T	100: Rot_T
102	conect_Rot_T-CaracSN_T	1: Urban (motorized)	2	29.249	100: Rot_T	17: CaracNS3_T
103	Conect_VillavOE_T-Rot_T	1: Urban (motorized)	1	25.423	21: Villav_OE_T	100: Rot_T
104	Conect_CaracNS_T-Rot_T	1: Urban (motorized)	2	27.788	16: CaracNS2_T	84: CaracNS2_T
105	Conect_Rot_T-CaracSN_T	1: Urban (motorized)	2	22.109	24: CaracSN2_T	19: CaracSN2_T
106	Conect_Rot_T-VillavEO_T	1: Urban (motorized)	1	32.697	100: Rot_T	22: Villav_EO_T
110	CaracNS_T-estac	1: Urban (motorized)	2	134.727	42: CaracNS1_T	16: CaracNS2_T
111	CaracSN_T-estac	1: Urban (motorized)	2	136.898	19: CaracSN2_T	20: CaracSN3_T
202	Conect_Rot1-VillavEO	1: Urban (motorized)	2	17.409	43: Rot1-N	71: Salid_rot1-CaracNS
205	Conect_VillavOE-Rot1	1: Urban (motorized)	2	3.835	70: Acceso_S-Rot1	40: Rot1-S
206	Conect_Rot1-CaracNS	1: Urban (motorized)	2	18.996	40: Rot1-S	6: Acceso_Rot1
207	Conect_CaracSN-Rot1	1: Urban (motorized)	2	6.472	10041: Conect_Carac_NS-Rot1	43: Rot1-N
10000	Rampa_bici_N1	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	80.510	65: Base_rampa_b-N	26: PuenteSN_b
10001		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.165	63: PTE_bici-N	4: Rampa_bici-N
10002		1: Urban (motorized)	1	36.812	9: Cll46OE	29: Carril_parqueo
10003	Conect_salid-parqueo	1: Urban (motorized)	1	27.263	29: Carril_parqueo	1: Caracas_NS2
10004		1: Urban (motorized)	2	1.960	40: Rot1-S	43: Rot1-N
10005	Salid_Rot1-CaracSN	1: Urban (motorized)	2	17.869	43: Rot1-N	23: Salid_rot1-CaracSN2
10006		4: Footpath (no interaction)	1	0.244	34: Rampa_Bici-NE	68: PTE_P-N
10007		4: Footpath (no interaction)	1	0.335	55: Rampa_peat_SE	57: PTE_peat-S
10008	Conect_bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	33.272	35: Rampa_Bici-NE	33: Base_rampa_b-N
10009	Conect_bici-N	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	32.679	19981: Base_rampa_b-N	38: Rampa_Bici-N
10010	Rampa_bici_N1	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	81.057	12: PuenteSN_b	67: Base_rampa_b-N
10011	Base_pte_peat-SO	4: Footpath (no interaction)	1	3.363	61: Rampa_peat-SO	13: ini_PTE-P
10012	Base_pte_bici-SO	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	36.035	58: Rampa_Bici-SO	10061: BaseEO_bici

LINK: NO	NAME	LINK BEHAV TYPE	NUM LANES	LENGTH 2D	FROM LINK	TO LINK
10013	Base_pte_bici-SO	4: Footpath (no interaction)	1	34.823	10062: BaseOE_bici	59: Rampa_Bici-SO
10014		4: Footpath (no interaction)	1	0.910	38: Rampa_Bici-N	63: PTE_bici-N
10016		4: Footpath (no interaction)	1	3.275	14: ini_PTE-P	62: Rampa_peat-SO
10017		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	3.047	51: PTE_bici-S	12: PuenteSN_b
10018		4: Footpath (no interaction)	1	4.609	26: PuenteSN_b	47: PTE_bici-S
10019	Rot1	1: Urban (motorized)	2	1.535	43: Rot1-N	40: Rot1-S
10021		4: Footpath (no interaction)	1	0.174	50: Rampa_bici-N	64: PTE_bici-N
10022		4: Footpath (no interaction)	1	0.584	60: PTE_P-N	27: Rampa_Bici-N
10023		4: Footpath (no interaction)	1	1.154	64: PTE_bici-N	35: Rampa_Bici-NE
10025	Link_Cll46OE-CaracNS	1: Urban (motorized)	2	31.627	9: Cll46OE	1: Caracas_NS2
10026		4: Footpath (no interaction)	1	2.898	27: Rampa_Bici-N	10087: ini_PTE-P
10027	Rampa_bici-N-centro	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	15.050	67: Base_rampa_b-N	50: Rampa_bici-N
10028		4: Footpath (no interaction)	1	0.296	10063: Rampa_peat-N_cent	69: Rampa_peat-N
10029		4: Footpath (no interaction)	1	0.530	39: Rampa_peat-N-est	10039: Rampa_peat-N-centro
10030	Rampa_bici-N-centro	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	17.514	4: Rampa_bici-N	65: Base_rampa_b-N
10031	Conect_Rampa_peat-N	4: Footpath (no interaction)	1	8.883	60: PTE_P-N	52: Rampa_peat-N
10032	Conect_Rampa_peat-N	4: Footpath (no interaction)	1	10.388	66: Rampa_peat-N	68: PTE_P-N
10033		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	2.180	81: ini_PTE-P	34: Rampa_Bici-NE
10034		4: Footpath (no interaction)	1	3.227	10089: ini_PTE-P	10015: Rampa_Bici-S
10035		4: Footpath (no interaction)	1	2.877	10020: Rampa_Bici-S	10090: ini_PTE-P
10036		4: Footpath (no interaction)	1	1.180	68: PTE_P-N	60: PTE_P-N
10037		1: Urban (motorized)	2	4.369	100: Rot_T	24: CaracSN2_T
10038		1: Urban (motorized)	1	0.767	22: Villav_EO_T	37: Villav_EO_T
10040		1: Urban (motorized)	1	0.541	52: Rampa_peat-N	39: Rampa_peat-N-est
10042		1: Urban (motorized)	1	0.176	69: Rampa_peat-N	66: Rampa_peat-N
10043	Conect_Rot1-CaracNS	1: Urban (motorized)	2	35.414	6: Acceso_Rot1	3: Caracas_NS3
10044		4: Footpath (no interaction)	1	0.312	54: PTE_bici-S	56: Rampa_peat_SE
10045		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.275	49: Rampa_bici-SE	51: PTE_bici-S
10046		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.330	47: PTE_bici-S	53: Rampa_bici_SE
10047	Conect_base_PTE_bici-S	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.989	32: Base_rampa_b-S	49: Rampa_bici-SE
10048	Conect_base_PTE_bici-S	5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.671	53: Rampa_bici_SE	28: Base_rampa_b-S
10049	Conect_base_PTE_Peat-Ncent	4: Footpath (no interaction)	1	2.659	36: Ent_est_Transmi	10063: Rampa_peat-N_cent
10050	Conect_CaracNS-Rot1	1: Urban (motorized)	2	17.566	1: Caracas_NS2	73: Acceso_N-Rot1
10051	Conect_CaracNS-Rot1	1: Urban (motorized)	1	16.953	1: Caracas_NS2	74: Acceso_N-Rot1
10052	CaracNS1_carr3	1: Urban (motorized)	1	151.174	2: Caracas_NS1	1: Caracas_NS2

LINK: NO	NAME	LINK BEHAV TYPE	NUM LANES	LENGTH 2D	FROM LINK	TO LINK
10055	Conect_base_PTE_peatSE	1: Urban (motorized)	1	11.293	10053: ini_PTE-P	55: Rampa_peat_SE
10056	Conect_base_PTE_peatSE	4: Footpath (no interaction)	1	8.213	56: Rampa_peat_SE	10054: ini_PTE-P
10057		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.278	51: PTE_bici-S	58: Rampa_Bici-SO
10058		5: Cycle-Track (free overtaking)	1	0.270	59: Rampa_Bici-SO	47: PTE_bici-S
10059		4: Footpath (no interaction)	1	0.265	57: PTE_peat-S	61: Rampa_peat-SO
10060		4: Footpath (no interaction)	1	0.211	62: Rampa_peat-SO	54: PTE_bici-S
10064	Conect_base_PTE_Peat-Ncent	4: Footpath (no interaction)	1	3.605	10039: Rampa_peat-N-centro	11: Ent_est_Transmi
10065		4: Footpath (no interaction)	1	1.488	68: PTE_P-N	10015: Rampa_Bici-S
10066		4: Footpath (no interaction)	1	2.127	10020: Rampa_Bici-S	60: PTE_P-N
10067	link_CaracSN-Cll46	1: Urban (motorized)	1	13.458	48: CaracSN2	10: Cll46OE2
10068	CaracSN1	1: Urban (motorized)	2	44.711	5: CaracSN1	10041: Conect_Carac_NS-Rot1
10069	CaracSN2	1: Urban (motorized)	2	49.378	23: Salid_rot1-CaracSN2	48: CaracSN2
10070	Villav_OE1	1: Urban (motorized)	2	52.649	7: Villav_OE	70: Acceso_S-Rot1
10071	Villav_EO	1: Urban (motorized)	2	37.079	71: Salid_rot1-CaracNS	72: Villav_EO
10072		1: Urban (motorized)	2	4.726	73: Acceso_N-Rot1	43: Rot1-N
10073		1: Urban (motorized)	1	4.754	74: Acceso_N-Rot1	43: Rot1-N
10074		1: Urban (motorized)	1	1.102	31: Villav_OE_T	21: Villav_OE_T
10075	CaracNS1_T	1: Urban (motorized)	2	1.002	15: CaracNS1_T	42: CaracNS1_T
10076	CaracSN3_T	1: Urban (motorized)	2	1.002	20: CaracSN3_T	75: CaracSN3_T
10077		4: Footpath (no interaction)	1	1.591	10084: ini_PTE-P	79: Rampa_PTE-peat2
10078		4: Footpath (no interaction)	1	1.479	10024: PTE_Peat1	78: Rampa_PTE-peat2
10079		4: Footpath (no interaction)	1	1.488	79: Rampa_PTE-peat2	10024: PTE_Peat1
10080		4: Footpath (no interaction)	1	1.455	80: PTE_Peat1	77: Rampa_PTE-peat2
10081		4: Footpath (no interaction)	1	1.477	76: Rampa_PTE-peat2	80: PTE_Peat1
10082		4: Footpath (no interaction)	1	6.535	30: Peat_cll46	76: Rampa_PTE-peat2
10083		4: Footpath (no interaction)	1	4.292	78: Rampa_PTE-peat2	25: Peat_cll46
10086		4: Footpath (no interaction)	1	2.382	77: Rampa_PTE-peat2	10085: ini_PTE-P
10088	Conect_CaracNS_T-Rot_T	1: Urban (motorized)	2	22.165	84: CaracNS2_T	100: Rot_T
15000	Link_CaracNS1_CaracNS2	1: Urban (motorized)	2	27.813	2: Caracas_NS1	1: Caracas_NS2
15003	link_CaracSN-Cll46	1: Urban (motorized)	1	9.079	48: CaracSN2	10: Cll46OE2
15004	Link_CaracSN-CaracSN	1: Urban (motorized)	2	12.938	48: CaracSN2	8: Caracas_SN3
20000	Coect_Rot-T	1: Urban (motorized)	2	3.139	100: Rot_T	100: Rot_T

Tabla N° 15 Link de alternativa propuesta

Para la modelación de las condiciones iniciales se definieron 194 elementos tipo Links, de los cuales 102 corresponden a corredores viales y 92 a conectores para un total de 252 carriles y una longitud total de trazado de 9466 metros.

Teniendo en cuenta que los Links correspondientes a la red de Transmilenio al igual que los correspondientes a rampas tanto de ciclo rutas como peatonales tienen cambios de nivel en su trayectoria, fue necesario ajustar estos desfases de altura para los puntos de inicio y o de salida de los Links que lo requirieran según el diseño definido.

9.8.4. Generación de rutas vehiculares



Imagen **48.** criterios de decisión de rutas

En la imagen 48 se visualiza un ejemplo de Criterios estáticos de decisión de rutas, dónde el origen se definió en el corredor de acceso de tráfico mixto de la Av. Caracas S-N y los posibles destinos se ubican sobre el corredor de la Av. Ciudad de Villavicencio E-O, los corredores de la Av. Caracas en sentido N-S y S-N; es importante aclarara que este último movimiento no se encuentra habilitado en la intersección actualmente, puesto que, cómo se evidenció durante la toma de datos, la señal de Tránsito encontrada en el lugar de estudio indica un “Prohibido giro en U” para ese punto.

VEHICLE ROUTING DECISION STATIC	LINK	LINK NAME	VEHICLE ROUTING DECISION	DESTINATION LINK	RELATIVE FLOW
1	16	CaracNS2_T	1	17: CaracNS3_T	0.666
2	18	CaracSN1_T	2	20: CaracSN3_T	1.000
3	21	Villav_O E_T	3	19: CaracSN2_T	1.000
3	21	Villav_OE_T	3	17: CaracNS3_T	0.000
4	2	Caracas_NS1	4	3: Caracas_NS3	0.682
4	2	Caracas_NS1	4	6: Villav_EO	0.318
5	4	Caracas_SN1	5	8: Caracas_SN2	0.716
5	4	Caracas_SN1	5	6: Villav_EO	0.284
6	7	Villav_OE	6	3: Caracas_NS3	1.000
7	9	Cll46OE	7	6: Villav_EO	0.201
7	9	Cll46OE	7	10: Cll46OE2	0.368
7	9	Cll46OE	7	3: Caracas_NS3	0.431
8	16	CaracNS2_T	8	22: Villav_EO_T	0.333

Tabla N° 16 Rutas alternativa propuesta

En la modelación de la propuesta evaluada, se definieron 10 orígenes y 26 destinos de decisión de ruta vehicular como se presenta a continuación

9.8.5. Introducción de Red semafórica

Uno de los cambios principales de la modelación propuesta respecto a la modelación de condiciones iniciales, es la Red semafórica; lo anterior, debido a que para la modelación de la alternativa propuesta se eliminaron de la zona de estudio 16 de 19 semáforos existentes en la actualidad. Los semáforos que se mantienen, son los correspondientes al control vehicular de vehículos de tráfico mixto en la Av. Caracas N-S en la intersección con la Cll 46 sur; el otro semáforo vehicular que se mantiene, es el de control de tráfico mixto en la misma intersección, pero sobre la Cll. 46 sur. Adicionalmente, se mantiene el semáforo peatonal que controla el cruce sobre la Cll 46 sur en la misma intersección dónde se mantienen los demás semáforos.



Imagen 49. Intersección semaforizada

En la imagen 49, se presenta la única intersección semaforizada contemplada dentro de la zona de estudio. Se presentan los semáforos C1, C2 y Peat1 de la intersección de la Av. Caracas con Cll. 46 Sur.

La programación semafórica contemplada con un periodo de 150 segundos se describe a continuación:

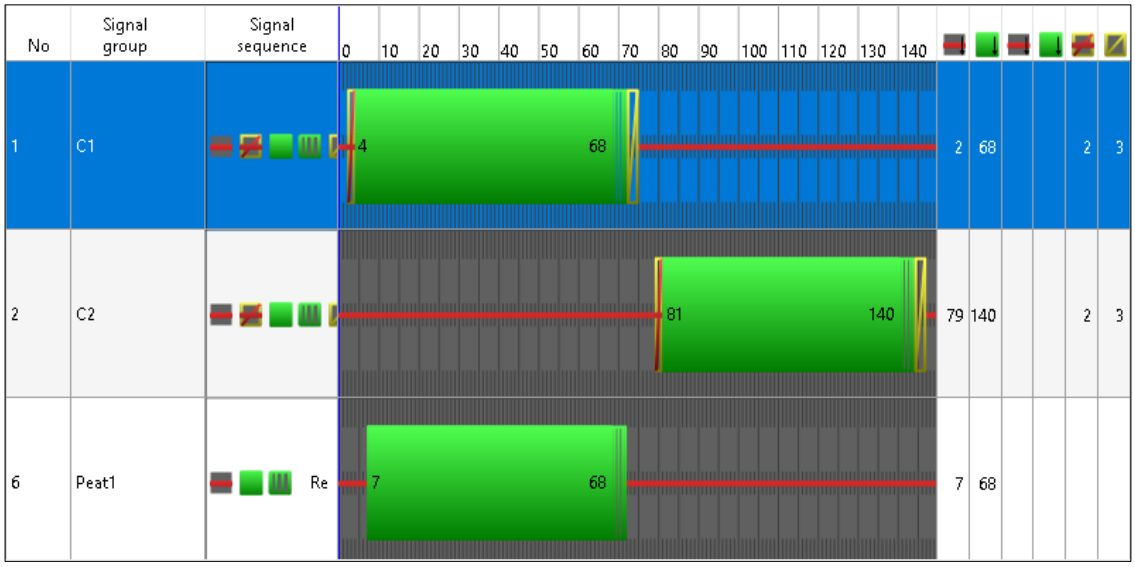


Imagen **50.** Programa de control semafórico Av. Caracas – Cll. 46 Sur

Es importante anotar que, los semáforos retirados del sistema de tránsito de la zona de estudio, se eliminaron debido a que los elementos viales planteados permiten que tanto el flujo vehicular mixto, de Transmilenios, bicicletas y peatones, sea continuo en la intersección de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio. Además, los semáforos de la Av. Caracas S-N fueron retirados, ya que el paso directo de los vehículos con origen en la Cll. 46 Sur cuyo sentido es Occidente - Oriente, fue eliminado, por lo que estos semáforos ya no son necesarios.

9.8.6. Definición de Composiciones vehiculares

Dado que el objetivo de la modelación propuesta es realizar una comparación con la modelación de condiciones iniciales, los vehículos empleados para este modelo son semejantes a los definidos para la modelación inicial. Las composiciones vehiculares definidas en el modelo

inicial fueron modificadas únicamente con el fin de retirar las bicicletas, por lo que fueron recalculadas las ponderaciones de Tipo de vehículos en cada composición.

9.8.7. Definición de Distribuciones de velocidad

Para la modelación de la alternativa planteada, se emplearon las distribuciones de velocidad correspondientes a las composiciones vehiculares indicadas en el primer modelo; Adicionalmente se generó una nueva Distribución de velocidad deseada

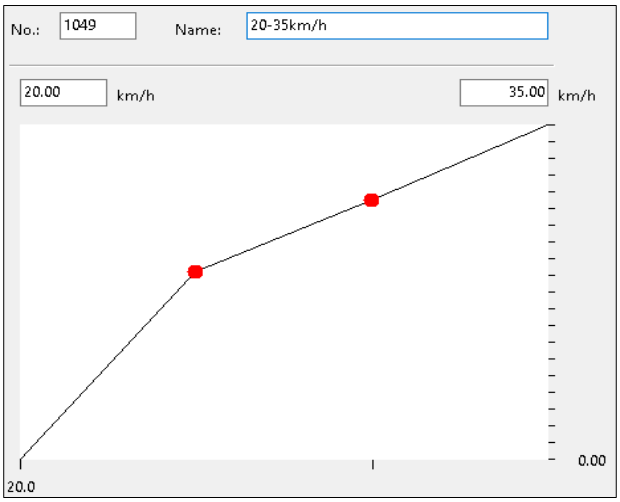


Imagen **51.** Características de reducción de velocidad

La nueva distribución de velocidad creada para el modelo de la propuesta de mejoramiento, no se asigna a ninguna composición vehicular y se emplea según lo dispuesto en el siguiente numeral

9.8.8. Controladores de velocidad

Según los parámetros de diseño para la intersección principal de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio, expuestos anteriormente; dentro de las glorietas planteadas se debe manejar una velocidad de 30 km/h. Por esta razón, y considerando las distribuciones de velocidad asignadas a los vehículos de la red, se generaron Áreas de reducción de velocidad por medio de la herramienta “Reduced Speed Areas”.



Imagen **52.** Controladores de velocidad

Los elementos de reducción de velocidad presentados por franjas amarillas en la Imagen 52, fueron insertados en los corredores de acceso a las intersecciones y dentro de la rotonda, garantizando así que las desaceleraciones experimentadas por los vehículos tengan una transición orgánica y no sea forzada.

9.8.9. Parametrización de comportamientos

El comportamiento de los conductores se mantuvo de acuerdo con lo definido en el modelo de condiciones iniciales; esto con el fin de mantener equilibrados los ambientes de simulación, de tal forma que la comparación realizada sea objetiva y arroje resultados confiables.

9.8.10. Introducción de volúmenes HMD

Tras identificar los corredores viales de origen por donde ingresaran los vehículos al modelo, se introducen los volúmenes para la Hora de Máxima Demanda mediante la herramienta “Vehicle inputs”.

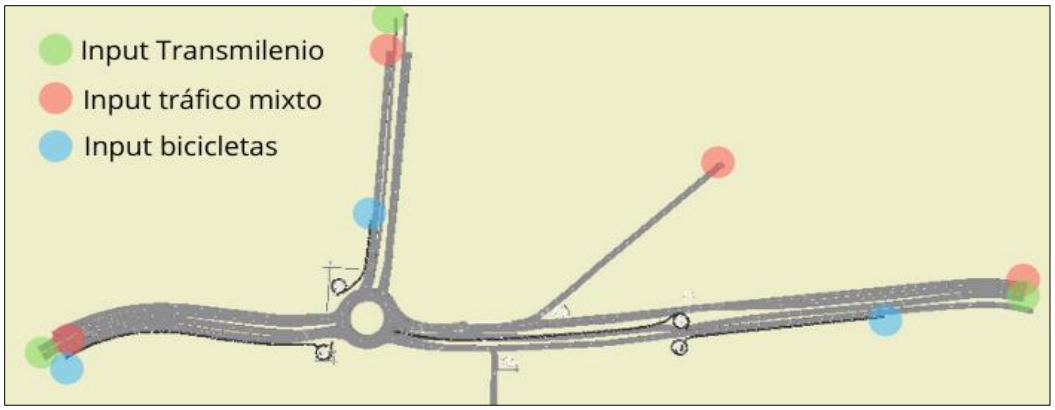


Imagen **53.** Ingresos flujo vehicular

En la imagen 53 se muestran los orígenes donde se ingresaron los volúmenes vehiculares (Inputs) tanto para tráfico mixto como para Transmilenio y bicicletas.

VEHICLE INPUT: NO	LINK NAME	VOLUME	VEHICLE COMPOSITION
1	15: CaracNS1_T	227	3: TransmilenioNS
2	18: CaracSN1_T	137	4: TransmilenioSN
3	31: Villav_OE_T	83	5: Transmilenio_Villav
4	2: Caracas_NS1	1099	6: CaracNS
6	7: Villav_OE	92	8: VillavOE
7	9: Cll46OE	1131	9: Cll46OE
9	30: Peat_cll46	152	10: Peatones
14	25: Peat_cll46	172	10: Peatones
15	5: CaracSN1	1292	7: CaracSN
16	32: Base_rampa_b-S	302	11: Bicicletas
18	19981: Base_rampa_b-N	945	11: Bicicletas
19	14: ini_PTE-P	100	10: Peatones
20	10053: ini_PTE-P	100	10: Peatones
21	10084: ini_PTE-P	100	10: Peatones
22	81: ini_PTE-P	70	10: Peatones
23	36: Ent_est_Transmi	120	10: Peatones
24	10089: ini_PTE-P	100	10: Peatones

Tabla N° 17 Input vehiculares

Cómo se evidencia en la Tabla 17, con la herramienta “Vehicle Input” también se introdujeron los volúmenes peatonales en los corredores diseñados con este fin; además, en la Tabla 17, se identifica la composición vehicular asignada a cada Input en función de su origen.

9.8.11. Reglas de prioridad y áreas de conflicto

Dentro de las herramientas clasificadas como elementos de control con los que cuenta el software PTV Vissim, las herramientas “Conflict Areas” y “Priority Rules”, son de gran utilidad para regular el comportamiento de vehículos en zonas de intersección o de reducción de calzadas.

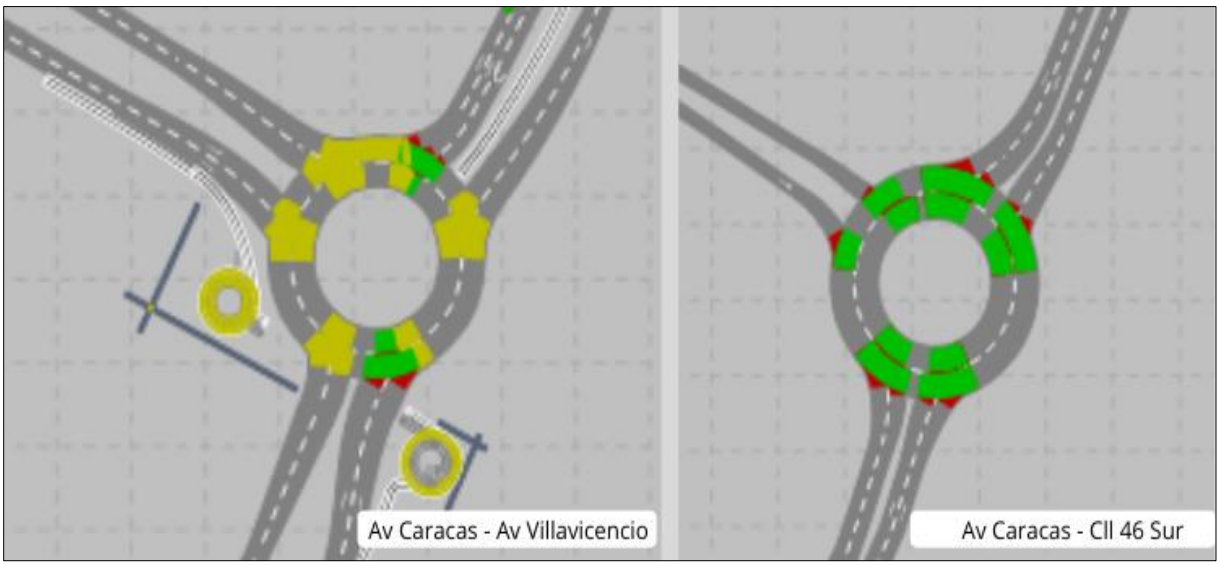


Imagen **54.** Reglas de prioridad

En la imagen 54, se presentan las áreas de conflicto de la zona de estudio. Las franjas verdes muestran el movimiento que tiene prioridad sobre el movimiento marcado en rojo. Las

franjas amarillas representan áreas de conflicto no resueltas, debido a que éstas se calibraron empleando la herramienta “Priority Rules”.

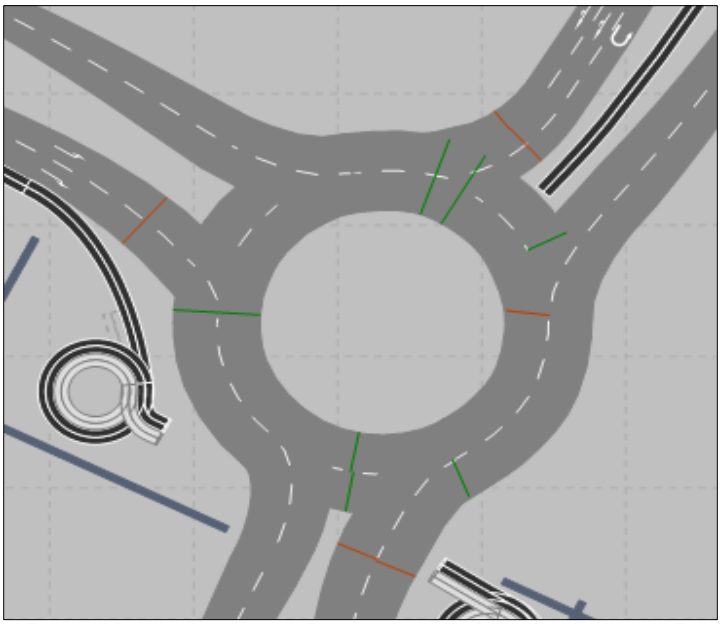


Imagen **55.** Reglas de prioridad

Las reglas de prioridad están compuestas por dos elementos, una línea de PARE “stop line” representada por una franja roja, la cual se parametriza indicando el número de carriles a los cuales aplica y el tipo de vehículos que deben detenerse en esta línea; el otro elemento son las marcas de conflicto “Conflict markers” representadas con líneas verdes, que son parametrizables con el carril e aplicación, la brecha mínima a tener en cuenta “Min. Gap Time”, la separación que considera el vehículo de la línea de PARE para dar paso al otro vehículo “Min. Headway” y una velocidad máxima “max Speed”.

9.8.12. Ambientación y bloques 3D

Adicional a los bloques empleados en la modelación de condiciones iniciales, para la modelación de propuesta se incorporaron bloques tridimensionales para las bases de los puentes, elaborados en SketchUp Pro 2020 y se incluyeron imágenes de fondo “Backgrounds” que permitieran una mejor visualización de los niveles y características de la alternativa planteada.



Imagen **56.** Glorietas con bloques

En la imagen 56, se identifican los elementos tipo bloques e imágenes que permiten una ambientación para facilitar la comprensión de la alternativa de diseño planteada.

9.8.13. Generación de nodos



Imagen **57.** Nodos para análisis

En la imagen 57, se muestran los dos nodos definidos dentro de la alternativa de solución planteada; al igual que en el modelo de condiciones iniciales, se generó uno en cada una de las intersecciones críticas contempladas en la evaluación de la zona de estudio; sin embargo, el nodo de la Av. Caracas con Cll. 46 Sur solo se contempla en el sentido Norte – Sur debido a que en el sentido Sur Norte el flujo vehicular es libre por la eliminación de los semáforos existentes

en este punto. El nodo de la intersección principal, de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio permite evaluar tanto los Links del nivel base (Tráfico mixto) como los Links del nivel inferior (Transmilenio).

9.8.14. Definición de parámetros de evaluación

Como parámetros de evaluación se mantienen los definidos para la modelación inicial, con un periodo de simulación de 4500 segundos, de los cuales, los primeros 900 segundos no se consideran dentro de la evaluación, ya que según las recomendaciones de PTV, para un modelo con menos de 100 km de longitud de tramos viales “Links”, este es un tiempo prudente para que el modelo se calibre según las condiciones reales de tránsito, de tal forma que la evaluación se realizó desde el segundo 900 hasta el segundo 4500, es decir, en un periodo de 3600 segundos correspondientes a la hora de máxima demanda.

9.8.15. Simulación de modelo – Propuesta de mejoramiento

A diferencia de la modelación inicial, la verificación de la simulación tridimensional se realizó considerando los comportamientos esperados a partir de las alternativas de diseño definidas, puesto que, en este caso no era posible comparar con lo observado en campo. Durante la calibración se realizaron los siguientes ajustes:

- Planteamiento y redistribución de conectores vinculados a las glorietas para facilitar el acceso y salida de los vehículos.
- Pruebas con diferentes casos de priorización en las áreas de conflicto, incluyendo y eliminando reglas de prioridad para ajustar las brechas y distancias mínimas entre vehículos hasta evidenciar un comportamiento adecuado a las expectativas del diseño.
- Experimentación con variaciones en los ciclos semafóricos de la intersección de la Av. Caracas con Cll.46 Sur, hasta reducir la longitud de cola equilibradamente al mínimo sobre los dos corredores.

- Esbozo de diferentes alternativas de puentes peatonales, modificando su distribución y estructura empíricamente en función de reducir las áreas de predios afectados manteniendo propuestas que generen confort y seguridad para los peatones del sector.
- Trazado de alternativas de la red de ciclo rutas, evaluando empíricamente las condiciones de facilidad de acceso, facilidad y viabilidad de construcción, seguridad de los bici usuarios, disposición con un impacto visual positivo y relación óptima con los peatones evitando intersecciones entre estos.

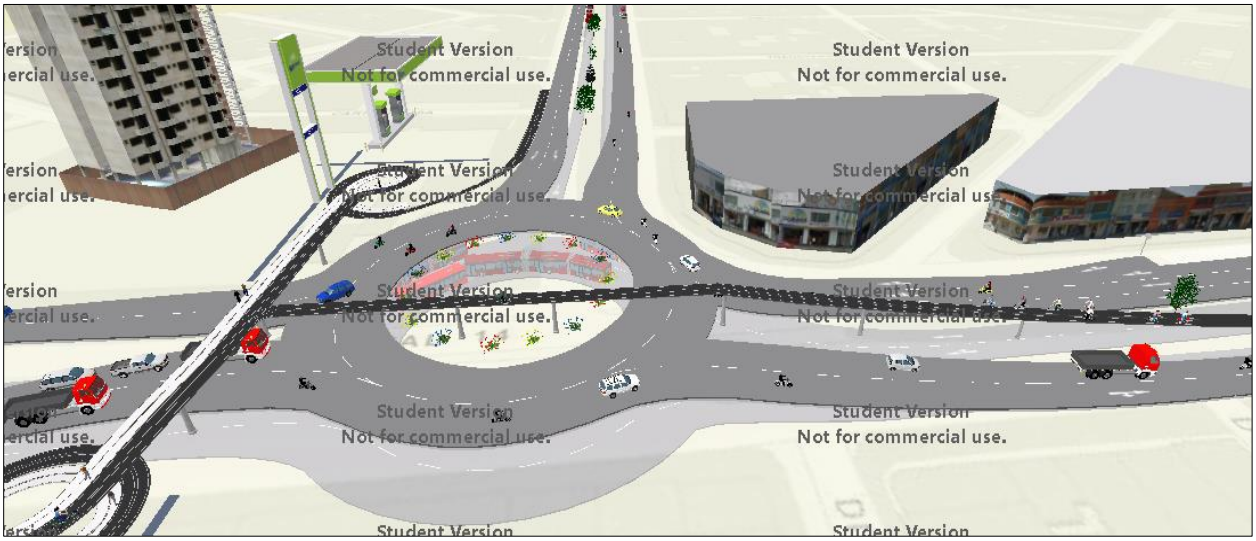


Imagen **58.** Modelación Glorieta a nivel y desnivel

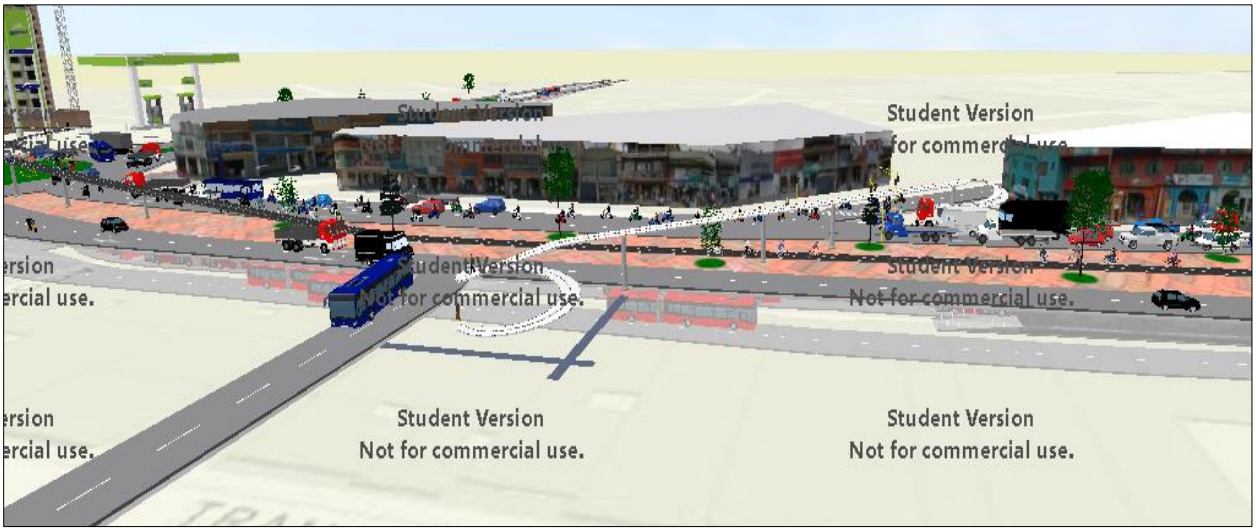


Imagen **59.** Puentes peatonales y ciclo ruta

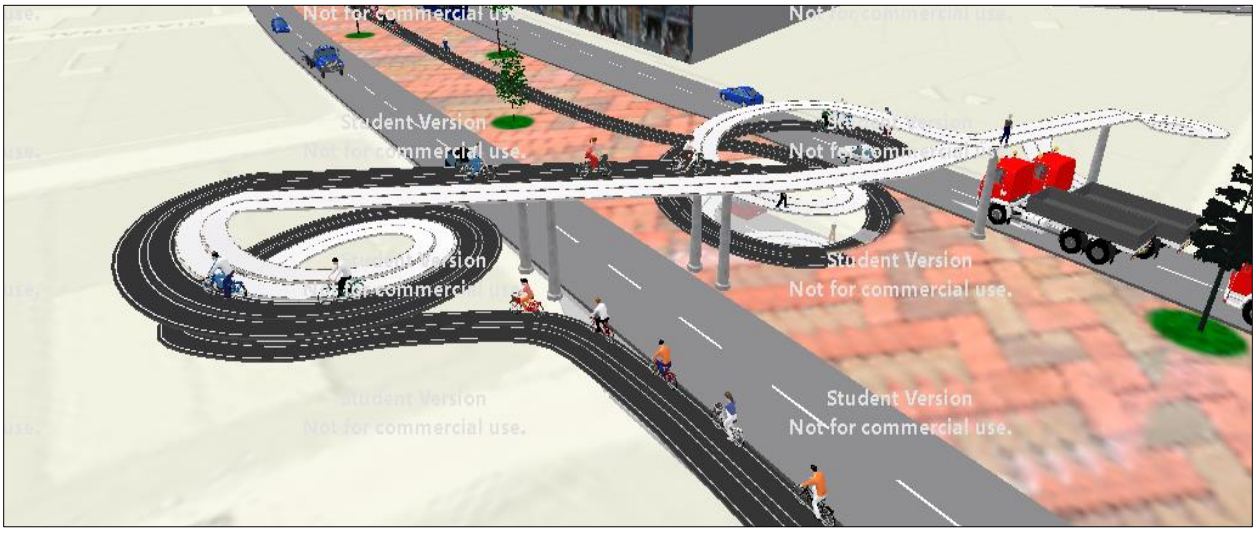


Imagen **60.** Puente peatonal



Imagen **61.** Glorieta superior

10. Resultados

10.1. Volúmenes de tránsito hora de mayor demanda HMD

Los días 14 y 19 de junio se realizaron los aforos en las intersecciones de estudio, como se mencionó en capítulos anteriores, se realizaron de manera manual, en intervalos de tiempo de 15 min y con un total de 6 aforadores. En las Tablas 18 y 19 se encuentra de manera organizada y resumida los volúmenes vehiculares por movimiento en la hora de mayor demanda en cada una de las intersecciones mencionadas.

Por otro lado, dado que el presente proyecto tiene como objeto establecer una alternativa para el mejoramiento del nivel de servicio actual, realizando un modelo en un software que permita simular en un futuro el comportamiento de la intersección, en términos de flujo vehicular con la estructura y diseño geométrica planteada, además, teniendo en cuenta que los volúmenes del día 19 de julio están por debajo en una alta proporción con respecto a los datos del 14 junio. Entonces, el presente proyecto, sólo presentará, los volúmenes de flujo vehicular y composición vehicular en el día 19 de junio, puesto que, mejorando el nivel de servicio con el volumen vehicular de un día entre semana, consecuentemente se mejorará el nivel de servicio para cualquier día del fin de semana.

El estudio de tránsito realizado sobre la Av. Caracas entre Av. Ciudad de Villavicencio y Calle 46 Sur, indica que la Hora de Máxima Demanda es la comprendida entre las 17:45 y las 18:45; sin embargo, es importante tener en cuenta que en este periodo se presentan los flujos vehiculares máximos hacia el Sur, pero en el periodo comprendido entre las 6:30 y las 7:30 se evidencia un alto flujo vehicular en el sentido opuesto.

Sin embargo, en el anexo 2, se adjunta los resultados de las dos intersecciones de los volúmenes vehiculares de las dos intersecciones en el día 14 de junio y 19 de junio.

10.1.1. Volúmenes de tránsito Av. Villavicencio Con Av. Caracas para la HMD

BD_cll48sur-Caracas (viernes)								
	Autos	**Buses-C2P**	**Trans.**	**Motos**	**Bici**	**TOTAL**	**TOTAL, Trans.**	**HORA**
MOV 1	431	300	204	419	329	1479	204	17:45 18:45
MOV 2	438	285	208	417	303	1443	208	17:45 18:45
MOV 3	49	34	0	27	73	183	0	17:45 18:45
MOV 6	216	141	0	191	24	572	0	17:45 18:45
MOV 7	0	0	105	0	0	0	105	17:45 18:45
MOV 9	248	91	74	209	142	690	74	17:45 18:45
H_PICO	**1382**	**851**	**591**	**1263**	**871**	**4367**	**591**	**17:45 18:45**

Tabla N° 18 Volúmenes de tránsito por movimiento

10.1.2. Composición Vehicular Av. Villavicencio Con Av. Caracas para la HMD

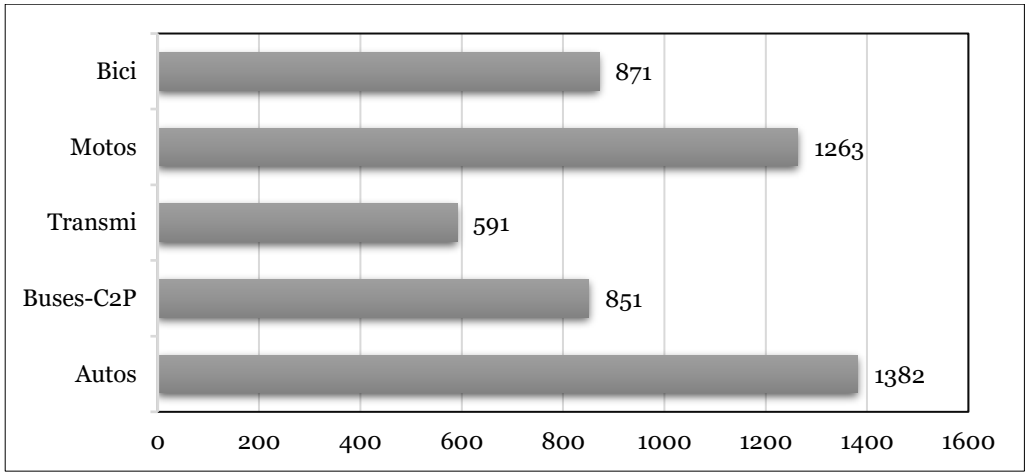


Imagen **62.** Composición vehicular Av. Caracas – Av. Ciudad de Villavicencio

En la Imagen 62 se muestra la composición vehicular de la intersección entre la Avenida Ciudad de Villavicencio y la Avenida Caracas, en la cual, se evidencia que los automóviles fueron los actores viales de mayor flujo vehicular con un valor de 1382 unidades en la hora de mayor demanda, que corresponden al 27.87 % del total del volumen de la intersección, seguido de las motos, bicicletas, buses y por último Transmilenio con un 25%, 47%, 17.56%, 17.16% y 11.92 % respectivamente. Por otro lado, es importante mencionar que el total de unidades que transitaron en la hora de mayor demanda (HMD) es de 4958 vehículos entre particulares y públicos.

10.1.3. Volúmenes de tránsito Calle 46 sur Con Av. Caracas para la HMD

BD_cll46sur-Caracas (viernes)							
	Autos	**Buses-C2P**	**Trans.**	**Motos**	**Bici**	**TOTAL**	**HORA**
MOV 3	132	26	0	425	10	593	17:45 18:45
MOV 5	59	34	0	249	4	346	17:45 18:45
H_PICO	**191**	**60**	**0**	**674**	**14**	**939**	**17:45 18:45**

Tabla N° 19 Volúmenes de tránsito por movimiento

10.1.4. Composición Vehicular Av. Villavicencio Con Av. Caracas para la HMD

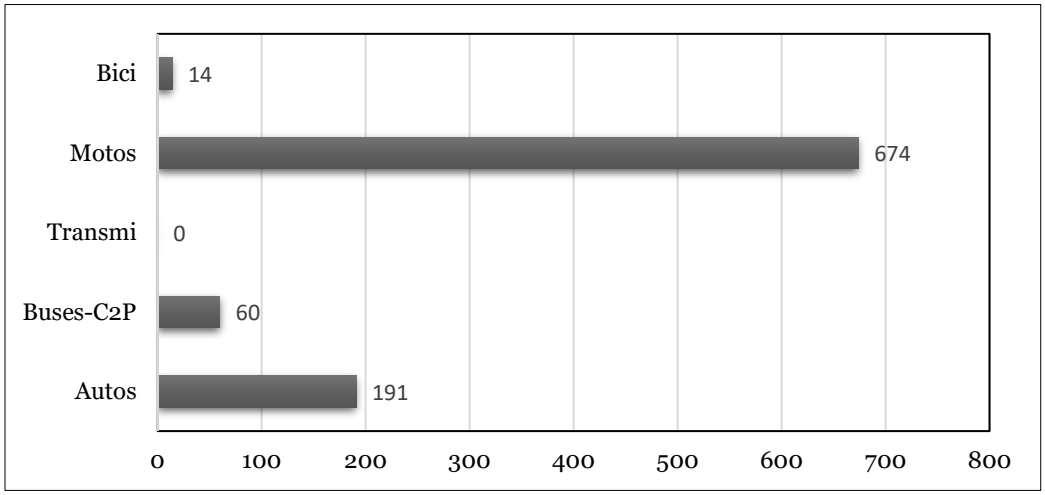


Imagen **63.** Composición vehicular Av. Caracas – Av. Cll 46 sur

En la Imagen 63 se muestra la composición vehicular de la intersección entre la Calle 46 sur con la Avenida Caracas, en la cual, se evidencia que las motos fueron los actores viales de mayor flujo vehicular con un valor de 674 unidades en la hora de mayor demanda (HMD), dado que corresponden al 71.77 % del total del volumen de la intersección. El segundo tipo de vehículos en la composición son los automóviles, posteriormente los buses C2P y por último las bicicletas con un valor de 20.34%, 6.38% y 1.49 % respectivamente. El total de unidades que transitaron en la hora de mayor demanda es ésta intersección fue de 939 vehículos particulares.

10.2. Diseño geométrico de la intersección

En la sección 8.5.5 del marco teórico se explica los parámetros utilizados para el cálculo de las principales propiedades del diseño geométrico de intersecciones a nivel y desnivel que fuero tomado por la norma INVIAS[4], éstos se utilizaron para el cálculo geométrico de la intersección tipo glorieta que se plantea como alternativa para el mejoramiento del nivel de servicio.

Variables Diseño geométrico para alternativa propuesta.					
	RC min (m)	**Vel Diseño (m/s)**	**e máx (%)**	**f máx**	**Ancho calzada (m)**
Glorieta Carros	21	30	6	0,28	12
Glorieta Transmilenio	22	30	4	0,28	8
	Ancho calzada (m)	**R. Interno (m)**	**R. externo (m)**	**M(%) entrada**	**M(%) Salida**
Glorieta Carros	12	17	29	N/A	N/A
Glorieta Transmilenio	8	15	29	3	3
Nota	Los valores presentes en la presente tabla, representa los calculados según el Manual de diseño geométrico del INVIAS, se puede consultar en la sección 8.5.5 del presente estudio				

Tabla N° 20 Parámetros de diseño geométricos (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

10.3. Resultados Modelación inicial

Se realizaron los cálculos requeridos para determinar el Nivel de servicio actual de la intersección a partir de las simulaciones realizadas para el modelo inicial. Para esta modelación, los resultados se obtienen en dos grupos, uno para la intersección de la Av. Caracas con Calle 46 Sur y otro para la intersección principal, entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio.

[4] (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS , 2008)

DESCRIP	TIME INT	MOVEMENT	Q LEN	Q LEN MAX	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)
MOV9	900-4500	1-1: Caracas_NS2@89.5-6: Villav_EO@7.0	39.09	88.24	LOS_E	63
MOV1	900-4500	1-1: Caracas_NS2@89.5-10004: Link_CaracNS2-CaracNS3@81.2	39.03	88.07	LOS_D	54
MOV2	900-4500	1-4: Caracas_SN1@224.7-4: Caracas_SN1@323.3	0.57	7.79	LOS_C	27
MOV6	900-4500	1-5: Caracas_SN_carril3@40.5-6: Villav_EO@7.0	123.64	249.95	LOS_F	163
MOV3	900-4500	1-10003: Link_Villav_OE-caracNS@4.4-10003: Link_Villav_OE-caracNS@64.8	0.22	8.52	LOS_D	40.91
MOV1-T	900-4500	1-16: CaracNS2_T@71.0-10018: Link_CaracNS2_T-CaracNS3_t@87.9	113.69	140.25	LOS_E	107
MOV2-T	900-4500	1-18: CaracSN1_T@190.8-19: CaracSN2_T@11.2	18.97	22.6	LOS_B	17
MOV7-T	900-4500	1-10023: Link_VillavOE_T-Carac_SN_T@1.9-19: CaracSN2_T@11.2	0	0	LOS_F	159
MOV9-T	900-4500	1-16: CaracNS2_T@71.0-10017: Link_CaracNS_T-VillavEO_T@70.1	113.69	140.25	LOS_F	144
INTERS1	**900-4500**	**INTERSECCIÓN 1 (AV. CARACAS - AV. VILLAV)**	**49.88**	**249.95**	**LOS_E**	**86.10**

Tabla N° 21 Resultados iniciales Av. Caracas con Av. Villavicencio

Los resultados obtenidos para la intersección principal en condiciones actuales para la red de Transmilenio arrojan un Nivel de servicio promedio E. Al analizar de manera independiente los tramos viales de tráfico mixto y los de Transmilenio, se identifica que cada conjunto presenta igualmente un Nivel de servicio E; para la red de tráfico mixto, el movimiento con mayores demoras se presenta en la conexión entre Av. Caracas sentido Sur – Norte y la Av. Ciudad de Villavicencio sentido Oriente - Occidente, en el caso de Transmilenio, los resultados más desfavorables se presentan para los dos giros que conectan el tramo Norte de la Av. Caracas con Av. Ciudad de Villavicencio, es decir, para las rutas con origen y con destino en el Portal Tunal.

DESCRIP	TIME INT	MOVEMENT	Q LEN	Q LEN MAX	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)
MOV1	900-4500	2-2: Caracas_NS1@434.5-1: Caracas_NS2@6.1	441.44	452.51	LOS_F	188.218
MOV2	900-4500	2-4: Caracas_SN1@371.2-8: Caracas_SN2@19.6	0	0	LOS_A	2.161
MOV3	900-4500	2-9: Cll46OE@390.8-1: Caracas_NS2@6.1	385.59	398.64	LOS_F	276.869

DESCRIP	TIME INT	MOVEMENT	Q LEN	Q LEN MAX	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)
MOV5	900-4500	2-9: Cll46OE@390.8-10007: Link_cll46OEconect-cll46OE2@22.1	385.59	398.64	LOS_F	247.435
MOV1-T	900-4500	2-15: CaracNS1_T@438.4-10021: Link_CaracNS1_T-CaracNS2_T@38.5	445.1	457.85	LOS_F	188.218
MOV2-T	900-4500	2-19: CaracSN2_T@68.8-10022: Link_CaracSN-CaracSN3@36.5	0	0	LOS_A	2.161
INTERS2	**900-4500**	**INTERSECCIÓN 2 (AV. CARACAS - CLL. 46 SUR)**	**212.02**	**457.85**	**LOS_D**	**136.020**

Tabla N° 22 Resultados iniciales Av. Caracas con Cll. 46 sur

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 22, se identifica que la intersección de la Calle 46 sur con Av. Caracas cuenta actualmente con un Nivel de servicio promedio D; sin embargo, teniendo en cuenta que, durante la Hora de mayor demanda determinada para el presente estudio, se presenta congestión vehicular principalmente en el sentido Norte – Sur de la Av. Caracas, es importante aclarar que el Nivel de servicio descartando los tramos vehiculares con sentido Sur – Norte, es F, lo que representa las complicaciones de tráfico evidenciadas en este sector.

10.4. Resultados Modelación de alternativa propuesta

De manera equivalente a lo desarrollado con el modelo de condiciones iniciales, se realizaron los cálculos correspondientes a partir de las simulaciones realizadas para el modelo de la alternativa de solución planteada.

Para esta modelación, los resultados se obtienen en tres grupos, una para la intersección de la Av. Caracas con Calle 46 Sur y dos para la intersección principal, entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio. En la intersección principal, a diferencia de lo ocurrido en las condiciones iniciales, se analizan de manera independiente los parámetros de los vehículos del Sistema Transmilenio y los demás vehículos.

DESCRIP	TIME INT	MOVEMENT	Q LEN	Q LEN MAX	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)
MOV1-SALIDA	900-4500	1-84: CaracNS2_T@0.7-102: conect_Rot_T-CaracNS_T@22.7	8.45	106.81	**LOS_B**	10.56
MOV1-ENTRADA	900-4500	1-84: CaracNS2_T@0.7-105: Conect_Rot_T-CaracNS_T@5.9	8.45	106.81	**LOS_A**	4.26
MOV9	900-4500	1-84: CaracNS2_T@0.7-106: Conect_Rot_T-VillavEO_T@23.6	8.45	106.81	**LOS_B**	14.36
MOV2-SALIDA	900-4500	1-101: conect_CaracSN_T-Rot_T@7.1-102: conect_Rot_T-CaracSN_T@22.7	0.39	33.29	**LOS_A**	0.35
MOV2-ENTRADA	900-4500	1-101: conect_CaracSN_T-Rot_T@7.1-105: Conect_Rot_T-CaracSN_T@5.9	0.39	33.29	**LOS_A**	3.09
MOV7	900-4500	1-103: Conect_VillavOE_T-Rot_T@7.9-105: Conect_Rot_T-CaracSN_T@5.9	1.02	84.2	**LOS_A**	5.83
MOV3	900-4500	1-103: Conect_VillavOE_T-Rot_T@7.9-106: Conect_Rot_T-VillavEO_T@23.6	1.02	84.2	**LOS_A**	8.57
MOV6	900-4500	1-101: conect_CaracSN_T-Rot_T@7.1-106: Conect_Rot_T-VillavEO_T@23.6	0.39	33.29	**LOS_A**	0.00
	900-4500	**INTERSECCIÓN 1 (AV. CARACAS - AV. VILLAV) - TRANSMILENIO**	**3.57**	**106.81**	**LOS_A**	**5.88**

Tabla N° 23 Resultados propuesta Av. Caracas con Av. Villavicencio - Transmilenio

Los resultados obtenidos para la glorieta diseñada para la red de Transmilenio arrojan un Nivel de servicio A, lo que indica un buen desempeño de la red en todos sus movimientos.

DESCRIP	TIME INT	MOVEMENT	Q LEN	Q LEN MAX	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)
MOV1-ENTRADA	900-4500	1-10050: Conect_CaracNS-Rot1@3.3-6: Acceso_Rot1@1.7	144.01	160.5	**LOS_E**	44.73
MOV1-SALIDA	900-4500	1-10050: Conect_CaracNS-Rot1@3.3-10069: CaracSN2@1.7	144.01	160.5	**LOS_E**	40.52
MOV1-ENTRADA2	900-4500	1-10051: Conect_CaracNS-Rot1@3.2-6: Acceso_Rot1@1.7	143.96	160.45	**LOS_E**	49.41
MOV9	900-4500	1-10051: Conect_CaracNS-Rot1@3.2-10071: Villav_EO@1.9	143.96	160.45	**LOS_E**	42.92
MOV2-ENTRADA	900-4500	1-10068: CaracSN1@37.4-6: Acceso_Rot1@1.7	255.00	273.89	**LOS_E**	37.51
MOV2-GIRO U	900-4500	1-10068: CaracSN1@37.4-10069: CaracSN2@1.7	255.00	273.89	**LOS_E**	38.21
MOV6	900-4500	1-10068: CaracSN1@37.4-10071: Villav_EO@1.9	255.00	273.89	**LOS_E**	37.84
MOV3	900-4500	1-10070: Villav_OE1@40.3-6: Acceso_Rot1@1.7	0.60	22.09	**LOS_A**	6.94
	900-4500	**INTERSECCIÓN 1 (AV. CARACAS - AV. VILLAV)**	**167.6925**	**273.89**	**LOS_E**	**37.26**

Tabla N° 24 Resultados propuesta Av. Caracas con Av. Villavicencio - Tráfico mixto

Para la glorieta diseñada para el tráfico mixto, el Nivel de servicio general es E, presentando condiciones críticas en cuanto a longitud de cola para los vehículos que realizan

movimientos con origen en la Av. Caracas en sentido Sur – Norte; sin embargo, los mayores tiempos de demora se presentan en el acceso a la glorieta desde la Av. Caracas en sentido Norte – Sur, siendo la demora más crítica la del carril que se reduce en el acceso a la glorieta.

DESCRIP	TIME INT	MOVEMENT	Q LEN	Q LEN MAX	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)
MOV1	900-4500	2-2: Caracas_NS1@455.5-1: Caracas_NS2@3.8	372.98	476.69	**LOS_F**	63.14
MOV3-PARQUEO	900-4500	2-10002@8.0-10002@35.8	233.49	246.79	**LOS_E**	48.29
MOV3	900-4500	2-10025: Link_Cll46OE-CaracNS@2.6-1: Caracas_NS2@3.8	239.3	252.6	**LOS_D**	43.29
MOV1-Carril3	900-4500	2-10052: CaracNS1_carr3@114.8-1: Caracas_NS2@3.8	355.59	468.24	**LOS_D**	31.88
	900-4500	**INTERSECCIÓN 2 (AV. CARACAS - CLL. 46 SUR)**	**300.34**	**476.69**	**LOS_E**	**37.141**

Tabla N°25 Resultados propuesta Av. Caracas con Cll. 46 sur

En cuanto a la Intersección de la Av. Caracas con Calle 46 Sur, se obtuvo un Nivel de servicio E tras la modelación de la alternativa planteada, presentando condiciones críticas tanto de longitud de cola como de demora en los vehículos, para el movimiento uno con origen en la calzada de tráfico mixto de la Av. Caracas. Es relevante aclarar que el nivel de servicio presentado en la intersección no incluye los vehículos del sistema Transmilenio ni el tráfico mixto que se desplaza por la Caracas hacia el Norte.

10.4.1. Comparación de resultados de modelaciones

En el Anexo 2 se incluyen los resultados de desempeño vehicular y de impacto medioambiental, generados por el software PTV Vissim 9.0 y exportados a Excel para el análisis de los nodos definidos tanto en el modelo inicial como en el modelo de la alternativa desarrollada.

Tráfico mixto Intersección Av. Caracas – Av. Ciudad de Villavicencio

DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	Δ VEH DELAY
MOV9	**LOS_E**	63.0	MOV9	**LOS_E**	42.92	-31.87%
MOV1	**LOS_D**	54.0	PROM MOV 1	**LOS_E**	49.41	-8.50%

DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	Δ VEH DELAY
MOV2	**LOS_C**	27.0	PROM MOV 2	**LOS_E**	37.86	40.21%
MOV6	**LOS_F**	163.0	MOV6	**LOS_E**	37.84	-76.79%
MOV3	**LOS_D**	40.9	MOV3	**LOS_A**	6.94	-83.03%
General Mixto	**LOS_E**	**69.6**	**ROT1**	**LOS_E**	**34.99**	**-49.7%**

Tabla N° 26 Comparación de resultados Tráfico mixto Av. Caracas – Av. Ciudad de Villavicencio

En la Tabla 26 se presentan los datos de los niveles de servicio para cada uno de los movimientos aforados para los corredores viales de tránsito mixto en la Intersección principal, entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio. La columna de la derecha contiene la comparación porcentual de las demoras generadas en el modelo de la alternativa propuesta en contra las demoras del modelo con condiciones iniciales.

En general, las demoras se redujeron en un 49.7 % en el modelo final; sin embargo, es importante tener en cuenta que dentro del modelo con la alternativa de solución propuesta se incluyó una cantidad estimada de vehículos que tienen origen en el corredor de la Av. Caracas sentido Sur – Norte y realizan retorno para tomar la Av. Caracas en sentido Norte – Sur. Este volumen vehicular fue incluido debido a que durante la toma de datos en campo se identificó que, a pesar de ser un movimiento señalado como prohibido, es realizado con frecuencia por conductores de diferentes tipos de vehículos.

DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	Δ VEH DELAY
MOV1-T	LOS_E	107	PROM MOV1	**LOS_A**	7.41	-93.07%
MOV2-T	LOS_B	17	PROM MOV2	**LOS_A**	1.72	-89.88%
MOV7-T	LOS_F	159	MOV7	**LOS_A**	5.83	-96.33%
MOV9-T	LOS_F	144	MOV9	**LOS_B**	14.36	-90.03%
General T	**LOS_E**	**106.75**	**ROT2**	**LOS_A**	**7.33**	**-93.1%**

Tabla N° 27 Comparación de resultados Transmilenio Av. Caracas – Av. Ciudad de Villavicencio

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 27, se evidencia una amplia mejora en las condiciones de flujo vehicular del sistema Transmilenio en la intersección

principal del estudio. Todos los movimientos evaluados presentan una reducción superior al 90% en los tiempos de demora, lo que demuestra una mejora de gran impacto al manejar una glorieta independiente para los Transmilenio. Es importante anotar que la comparación se realiza en función de las demoras por vehículo debido a que los Niveles de servicio fueron calculados con diferentes referentes dado que en el modelo inicial la intersección es semaforizada y en la propuesta planteada se maneja una glorieta a desnivel sin semaforización.

DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	DESCRIP	LOS (ALL)	VEH DELAY (ALL)	Δ VEH DELAY
MOV 1	LOS_F	188.218	PROM MOV1	**LOS_D**	47.51	-74.76%
PROM MOV 3-5	LOS_E	262.15	PROM MOV3	**LOS_D**	45.79	-82.53%
Inters 2	**LOS_E**	**185.71**	**Inters 2**	**LOS_D**	**46.65**	**-74.9%**

Tabla N° 28 Comparación de resultados de Modelación Intersección Av. Caracas – Calle 46 Sur

En la Tabla 28 se evidencia que el Nivel de servicio mejoró a partir de la modelación propuesta para la intersección semaforizada entre la Av. Caracas y la Calle 46 Sur. La reducción promedio en las demoras experimentadas por los vehículos es de 74.9%, y de acuerdo con la información estipulada en las Tablas 22 y 23 se identifica una reducción promedio de las longitudes de cola.

En la comparación realizada para esta intersección no se contemplan los desplazamientos por la Av. Caracas hacia el Norte debido a que tanto bajo las condiciones iniciales como bajo las de la alternativa propuesta, se evidencia un comportamiento adecuado durante el periodo contemplado para el diseño. Por otro lado, no se realiza comparación para los corredores de Transmilenio en sentido Norte – Sur, puesto que, el generar el cambio de nivel en la modelación final, se garantiza un buen desarrollo de los vehículos ya que no se generan colas que obstaculicen el desplazamiento como en las condiciones iniciales.

11. Conclusiones y recomendaciones

11.1. Condiciones que afectan el nivel de servicio actual

A partir del estudio y de los análisis realizados en campo, se identificaron como principales factores que afectan el nivel de servicio los siguientes:

11.1.1. La red semafórica

La red semafórica dispuesta, a pesar de ser indispensable para controlar todos los movimientos vehiculares permitidos en la zona, es un factor que ocasiona incrementos en los tiempos de viaje de los usuarios de estos corredores viales. En el caso de Transmilenio, se identifican altos tiempos de demoras para las rutas cuyo origen y/o destino es el Portal Tunal, esto se debe a que la conexión existente entre la Av. Caracas y la Av. Ciudad de Villavicencio para estas rutas implica la detención de todos los demás movimientos vehiculares, por lo que, según los ciclos semafóricos de la intersección, el tiempo en que se habilita esta conexión es corto y con baja frecuencia. En cuanto a los corredores viales de tráfico mixto, para los usuarios que se desplazan desde la Av. Caracas en el Sur y toman la Av. Ciudad de Villavicencio, el comportamiento de la red semafórica conlleva la generación de altas longitudes de cola, afectando directamente el desplazamiento de los vehículos que se dirigen hacia el Norte por la Av. Caracas. Sobre la Calle 46 Sur, se identifican longitudes de cola que superan los 400 metros, lo que conlleva altas demoras en los tiempos de viaje e incrementa la posibilidad de accidentes en la zona cercana al semáforo, ya que, según lo observado en campo, es frecuente que los conductores intenten pasar el semáforo con luces en amarillo por la corta duración de la luz verde. La disposición de la red semafórica, además, afecta la comodidad de los usuarios debido a que éstos deben detener su marcha con frecuencia, reduciendo su velocidad promedio de desplazamiento.

11.1.2. Calzadas compartidas bicicletas – vehículos

Las composiciones vehiculares identificadas, muestran que el flujo de bicicletas en la zona es de cerca de 17.37% sobre el flujo general, por lo que es de vital importancia la implementación de medidas que permitan mejorar las condiciones de estos agentes viales. El alto flujo de bicicletas por los corredores evaluados durante las horas de mayor demanda, genera un impacto negativo en la movilidad debido a las precauciones que deben tener los conductores vehiculares para evitar accidentes con estos usuarios. Durante los días en que se elaboraron los estudios de tránsito, fueron habilitados 80 kilómetros de Ciclovía en las vías principales de Bogotá, reduciendo la congestión de vehículos de transporte público, en aras de aportar más alternativas de transporte que para garantizar el distanciamiento social y mantener las medidas de prevención del Covid-19 (EL TIEMPO, 2020), por esto, Sobre la Av. Caracas se implementó la habilitación de un carril para flujo de bici usuarios por medio de divisores plásticos dispuestos con una separación determinada; sin embargo, se observó que esta medida no garantiza la seguridad de los bici usuarios por no tener una separación física continua de los demás agentes viales, además, la reducción del ancho de calzada habilitada para flujo vehicular, se traduce en reducción de la circulación a dos carriles cuando se movilizan vehículos grandes como buses o camiones, que tienen gran influencia dentro de las composiciones vehiculares de la zona.

11.1.3. Estado actual de la malla vial

Durante la inspección realizada en campo se identificaron fallas en la estructura de pavimento, en diferentes puntos de la zona de estudio. Las principales fallas identificadas en la intersección de la Av. Caracas con Calle 46 Sur son baches de hasta 0.20 m², fisuras en bloque de hasta 0.40 m² y fisuras de borde de hasta 6.00 m entre los carriles de Transmilenio y los de tráfico mixto. En la intersección de Av. Caracas en el Sur y toman la Av. Ciudad de Villavicencio, en los carriles de tráfico mixto se identificaron baches de hasta 0.60 m², fisuras en bloque de

hasta 3.80 m² y fisuras longitudinales de hasta 3.00 m, adicionalmente, en los carriles de Transmilenio se identificaron hundimientos y fracturas en las losas. Estos daños afectan las velocidades de desplazamiento de los vehículos y por ende ocasionan que el nivel de servicio disminuya, además afectan la seguridad de la movilidad vial, puesto que los actores viales se ven en la necesidad de hacer maniobras peligrosas para evadir las fallas existentes.

11.1.4. Obstrucciones en la vía por vehículos estacionados

Sobre la Av. Caracas en el tramo comprendido entre la Calle 46 Sur y la Av. Ciudad de Villavicencio y sobre la Calle 46 Sur entre Carrera 22 y Av. Caracas, se identifica como factor que afecta la movilidad, el estacionamiento de vehículos sobre los corredores viales; esto sucede principalmente con vehículos de carga debido a que en la zona se localiza un nicho especializado en productos para construcción, pero al no ser suficientes las bahías de parqueo existentes, el cargue y descargue d materiales se realiza obstruyendo el flujo normal de circulación vehicular.

11.1.5. La circulación peatonal

El flujo peatonal de la zona es una característica negativa de las condiciones existentes, desde el punto de vista de seguridad más que por su efecto sobre el Nivel de servicio. Este factor se relaciona directamente con los factores mencionados anteriormente; por ejemplo respecto a la red semafórica, se identificó durante el análisis en campo que a pesar de existir semáforos peatonales en la zona, estos no tienen un comportamiento que garantice seguridad para los peatones, puesto que se habilita el paso de manera simultánea en la intersección principal de estudio, entre vehículos que realizan giros hacia el corredor de la Av. Ciudad de Villavicencio y los peatones que cruzan este mismo tramo. La intersección semaforizada de la Calle 46 Sur, se obstruye habitualmente el paso peatonal principalmente por motocicletas, y por las largas colas que se generan, los peatones se ven obligados a cruzar en medio de los vehículos.

11.2. Evaluación de modelaciones

11.2.1. Adaptación del modelo

La modelación realizada para las condiciones actuales de la zona evaluada permite obtener parámetros que caracterizan el comportamiento y el estado actual de las condiciones de movilidad. Según las simulaciones realizadas, se evidencia de manera empírica que el comportamiento observado en el modelo es similar a lo evidenciado en campo, puesto que la conglomeración de vehículos de diferentes clases, su interferencia en cruces con peatones y el comportamiento de adelantamiento lateral de bicicletas y motocicletas, son semejantes a las dificultades identificadas durante el análisis presencial de la zona evaluada, por lo que se consideran confiables los resultados obtenidos tras la modelación.

11.2.2. Mejoras en el Nivel de servicio

Teniendo en cuenta los análisis comparativos de los resultados referentes a Nivel de servicio para las condiciones actuales contra la alternativa planteada, presentados en el numeral 10.4.1 “Comparación de resultados de modelaciones”, en las Tablas 26, 27 y 28; se identifica que se presenta una mejora general en los Niveles de servicio de la zona evaluada, principalmente en lo referente al sistema Transmilenio, que presenta reducciones en sus tiempos de demora superiores al 90% en todos los movimientos, por lo que el Nivel de servicio con la alternativa planteada pasó de Nivel E a Nivel A.

En lo referente al tráfico mixto también se evidencian mejoras importantes en los tiempos de viaje, cantidad y frecuencia de paradas y longitudes de cola, a pesar de esto, los principales beneficios evidenciados corresponden a la separación de las bicicletas de los demás vehículos, por la generación de tramos de ciclorrutas, ya que esto incrementa la seguridad de los usuarios. El movimiento con el menor nivel de servicio en la actualidad se encuentra en la conexión de los vehículos que viajan en sentido Sur – Norte por la Av. Caracas y se dirigen hacia la Av. Ciudad de Villavicencio hacia el Occidente; este movimiento presenta una reducción

superior al 75%, adicionalmente, la alternativa de rotonda planteada permite que los vehículos realicen retorno en la Av. Caracas para tomar el Sur, movimiento que, según lo evidenciado en campo, se realiza frecuentemente a pesar de tener señalización clara de restricción.

11.2.3. Principales beneficios de la propuesta

De manera adicional a las mejoras evidenciadas en los niveles de servicio, los principales beneficios evidenciados corresponden a la separación de las bicicletas de los demás vehículos, por la generación de tramos de ciclorrutas, ya que esto incrementa la seguridad de los bici usuarios, quienes con las condiciones de movilidad actuales están en riesgo permanente al estar expuestos a una alta posibilidad de accidentalidad por su interacción con los demás vehículos. De manera semejante, el planteamiento de puentes peatonales genera pasos seguros sobre la Av. Caracas, reduciendo el riesgo derivado de la interacción directa entre peatones y vehículos.

En la modelación de la alternativa propuesta, se eliminó el paso directo de los vehículos que atraviesan la Av. Caracas interrumpiendo la circulación sobre la Av. de El Carril planteado como zona de descargue sobre la Av. Caracas con Calle 46 Sur, permite realizar un mejor control de los tiempos y ubicaciones de cargue y descargue, a la vez que se evita la obstrucción del flujo vehicular en el sector, reduciendo así los tiempos de demoras y las longitudes de cola.

11.3. Recomendaciones

Para verificar la viabilidad de la alternativa de solución planteada se requiere realizar una serie de análisis a nivel arquitectónico, estructural, topográfico, geotécnico y de impacto social, al igual que, realizar un presupuesto preliminar, en cual, se debe tener en cuenta el costo generado por la adquisición de predios requeridos para las obras planteadas.

11.3.1. Limitaciones y propuestas de profundización

El presente estudio se limita al planteamiento de una propuesta de diseño geométrico vial que permite mejorar el Nivel de servicio de la zona de estudio; lo cual de acuerdo con los

resultados presentados se logra a satisfacción, sin embargo, para contemplar la ejecución del proyecto de construcción de los elementos propuestos, es necesario realizar los siguientes estudios complementarios:

- Estudio de suelos de la zona, con objeto de establecer un perfil estratigráfico que permita validar las profundidades y métodos requeridos para la excavación, de tal forma que permita caracterizar el terreno de fundación de la estructura planteada y pueda ser tomado como base para diseñoar las estructuras de pavimentos a lo largo de la zona a intervenir.
- Diseño arquitectónico y urbanístico detallado, en el cual se deben incluir los elementos de urbanismo adecuados, así como verificar la disposición de elementos (puentes peatonales, ciclorrutas, puentes de ciclorrutas, estación de Transmilenio y glorietas).
- Diseño estructural para definir los procedimientos de excavación y posteriormente proyectar los muros de contención requeridos con el fin de soportar el terreno en los laterales de las excavaciones realizadas. Definir los elementos de cimentación que soportarán las estructuras elevadas propuestas y los elementos verticales de apoyo, así como las rampas y puentes requeridos.
- Análisis de impacto socio ambiental, por medio del cual se permita rectificar los beneficios que implicaría la ejecución del proyecto para la población de las zonas aledañas; por otro lado, es necesario cuantificar entre otros, los impactos ambientales derivados de los movimientos de tierras y redistribución de zonas verdes producidos por las obras.
- Estudio de redes, para identificar ductos y plantear alternativas de solución referentes a las afectaciones de servicios públicos tales como acueducto y alcantarillado, gas natural y energía eléctrica que podrían verse afectados por las obras.
- Análisis de predios requeridos, esto teniendo en cuenta que el proyecto contempla una serie de puentes peatonales y bici carriles, con objeto de mejorar la movilidad de los actores viales no motorizados, es por esto que se hace necesario adquirir siete predios para la ejecución del proyecto, de tal forma que se recomienda tramitar con anterioridad la compra de predios.

En cuanto al estudio de tránsito, se recomienda realizar nuevas tomas de aforos vehiculares en las intersecciones evaluadas, en diferentes periodos a lo largo de un año; esto con el fin de incrementar la confiabilidad de los datos recolectados para poder realizar una estimación de crecimiento del tráfico para diferentes periodos de diseño. Es importante complementar los aforos vehiculares con aforos peatonales en los cruces existentes y en los accesos a la estación Santa Lucia del sistema Transmilenio.

Es importante mencionar, que en el momento en que el proyecto entre en fase de factibilidad, se debe tener en cuenta que los espacios de trabajo para el desarrollo de las obra es muy limitado, dado que la glorieta a desnivel ocupa aproximadamente un 80% del área total de la zona de intersección; se debe tener claridad del manejo de tráfico en los horarios de obra, es decir, se recomienda, que se establezca con anterioridad un plan de manejo de tránsito capaz de solventar la demanda de vehículos que transitan por dicha intersección.

Además, es importante que la documentación en términos de licencias urbanísticas, licencias ambientales, planos (Arquitectónicos, estructurales, hidráulicos, eléctricos entre otros), estén totalmente terminados y aprobados para el inicio de la ejecución, dado que la obra civil debe ejecutarse en la mayor brevedad posible para minimizar congestionamientos vehiculares en otras vías a causa de la obra.

12. Bibliografía

Agudelo Ospina, J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías Ajustado al Manual Colombiano.* Bogotá D. C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Cal, R., Mayor , E., & Cardenas Grisales , J. (2007). *Ingeniería de tránsito Fundamentos y aplicaciones .* Mexico : Alfaomega.

Calderón Moreno, F. G. (2015). *DISEÑO GEOMETRICO DE UNA RED VIAL DE CICLORUTAS EN LA.* Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

Corporación Andina Fomento . (s.f.). *Guías para el diseño de vías urbanas en Bogota D.C.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Correa, D. (2019). *Solución de diseño geométrico vial para la intersección Av. Boyacá –av. Alsacia, usando como implementación una glorieta con deprimido.* Bogotá D. C.: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

EL TIEMPO. (20 de Mayo de 2020). *https://www.eltiempo.com/bogota/coronavirus-en-bogota-ciclovias-temporales-se-quedaran-despues-de-la-cuarentena-497782*. Obtenido de https://www.eltiempo.com/bogota/coronavirus-en-bogota-ciclovias-temporales-se-quedaran-despues-de-la-cuarentena-497782: https://www.eltiempo.com/bogota/coronavirus-en-bogota-ciclovias-temporales-se-quedaran-despues-de-la-cuarentena-497782x

Grisales, J. C. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras .* Bogotá : ECOE EDISIONES.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS . (2008). *MANUAL DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS .* BOGOTÁ: MINISTERIO DE TRASPORTE.

Jiménez, D. (2014). *Guía Práctica Vissim 6.0.* Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Navarro H, S. J. (2017). *Ingemiería de tránsito.* Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de tecnología de la construcción.

Pineda, M., Romero, I., & Ian, S. (2016). *Estudio de tránsito y diseño geométrico para la implementación de la intersección vial a desnivel tipo trébol sobre la Av. Boyacá con Av. Jorge Gaitán Cortés localizada en la ciudad de Bogotá D. C.* Bogotá D. C.: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

Rodríguez Mora , L. E., & Sandoval Rincón, M. J. (Febrero de 2018). Protocolo para la presentación de trabajos de grado. Bogotá, Colombia.

Secretaría de Planeación . (2004). Obtenido de Normativa: http://www.sdp.gov.co/gestion-territorial/vias-transporte-y-servicios-publicos/normatividad

Socha Castro, A. H., Prieto Mora, M. O., Morales Rodríguez, A. C., & Zambrano López, G. D. (2017). *Propuesta de Diseño Geométrico para el Mejoramiento de la Intersección Carrera 30 con Calle 53b bis. Bogotá, Colombia.* Bogotá D. C.

Suarez, H., & Pantoja, C. (2005). *Prediseño Geométrico a nivel y a desnivel de la Intersección El Jazmín.* Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Transmilenio S. A.; Alcaldia de Bogotá. (2020). *Transmilenio en Cifras.* Bogotá D. C.

Valderrama Mejía , A. D. (2016). *Comparación de un enfoque microescópico para estimar la demoras por la congestión Urbana .* Medellin: Universidad Nacional de Colombia .

Vargas Vargas, W. E., & Mario, A. (2012). *Ingeniería de Tránsito: Conceptos básicos.* Bogotá D. C.