

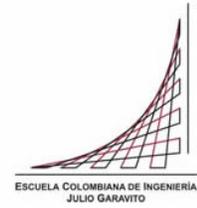
# **Maestría en Ingeniería Civil**

## **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SETP) – CASO DE ESTUDIO: NEIVA.**

**Maestría en Ingeniería Civil**

**Ing. José Andrés Murillo Mayorga**

**Bogotá, D.C., 22 de mayo 2019**



## **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SETP) – CASO DE ESTUDIO: NEIVA.**

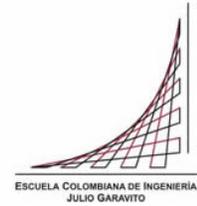
**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en tránsito y transporte**

**Director**

PhD. Mónica Marcela Suarez Pradilla.

Profesor Asistente del Centro de Investigación en Vías y Transporte

**Bogotá, D.C., 22 de mayo de 2019**



La tesis de maestría titulada “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SETP) – CASO DE ESTUDIO: NEIVA.”, presentada por José Andrés Murillo Mayorga, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y transporte.

  
Director de la tesis

Mónica Marcela Suarez Pradilla PhD

Jurado

Santiago Henao Pérez

Jurado

Maritza Villamizar Roper

Bogotá, D.C., 22 de mayo de 2019

## **Agradecimientos**

A Todas las personas, entidades y organizaciones que contribuyeron con la realización de la presente Tesis.

Al grupo PTV por la disponibilidad del software y al ingeniero Nicolas Gonzalez Sarmiento por su permanente apoyo y comunicación durante el desarrollo del modelo.

## Resumen

El rápido desarrollo económico y crecimiento de las ciudades intermedias de Colombia (no mayores a 600.000 habitantes) en los últimos años ha llevado a que el Gobierno Nacional y Local, a través del programa de ciudades inteligentes consignado en el Plan Nacional de Desarrollo promuevan la implementación de un Sistema Estratégico de Transporte Público Colectivo (en adelante SETP), para mejorar la movilidad.

En la Ciudad de Neiva se observa escasa articulación entre las políticas urbanas que tienen relación con la movilidad y el desarrollo urbano. Lo anterior genera dificultades en lo que respecta a la gestión de las actividades relacionadas con el manejo del transporte urbano. Por otra parte, hay que destacar que la ciudad cuenta con una red vial deficiente y de baja calidad, que, sumado al crecimiento del parque automotor especialmente de las motocicletas, ocasiona altos niveles de congestión e incremento periódico de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Debido a ello, se implementó el SETP como una solución que busca mejorar la movilidad masiva de pasajeros. Este sistema de transporte es considerado ecológico, organizado y seguro, pero aún se desconocen sus impactos socio - ambientales.

El objetivo de este trabajo es analizar los efectos de la implementación del SETP en la ciudad de Neiva utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, para dos etapas denominadas etapa Sin (situación actual) y Con (situación con sistema SETP). Para ello, se realizará una evaluación de indicadores ambientales que involucran las características de transporte de la ciudad, la actual oferta de transporte público colectivo y los diferentes indicadores de operación de tránsito como longitud de colas y densidad vehicular, representado en niveles de servicio. Los resultados obtenidos muestran mejora en los niveles de servicio de las principales intersecciones estudiadas y la disminución de las emisiones generadas por el transporte sobre el corredor.

## Índice general

|   | Pag. |
|---|------|
| Capítulo 1. Introducción.....   | 12   |
| 1.1 Motivación .....  | 12   |
| 1.2 Hipótesis .....   | 14   |
| 1.3 Importancia y relevancia del proyecto.....  | 14   |
| 1.4 Contenido.....  | 15   |
| Capítulo 2. Revisión literaria.....   | 16   |
| 2.1 Emisiones e infraestructura de transporte .....   | 16   |
| 2.2 Sistemas de transporte Colectivo .....  | 17   |
| 2.3 Emisiones producidas por el transporte.....   | 18   |
| 2.3.1 Modelos de simulación como herramienta para el cálculo de emisiones. 19   |      |
| 2.3.2 Modelo de estimación de emisiones.....  | 19   |
| Capítulo 3. Metodología.....  | 21   |
| 3.1 Tipo de Estudio .....   | 21   |
| 3.1.1 Actividades.....  | 21   |
| Capítulo 4. Diagnostico general del problema.....   | 25   |
| 4.1 Antecedentes sistema de transporte masivo .....   | 25   |
| 4.2 Análisis demográfico del municipio de Neiva.....  | 27   |
| 4.3 Análisis del sistema de movilidad e infraestructuras.....   | 29   |
| 4.3.1 Corredor de estudio .....   | 32   |
| 4.3.2 El SETP .....   | 33   |
| 4.3.3 Principales componentes de los SETP.....  | 34   |
| 4.3.4 Antecedentes del SETP, en Neiva.....  | 35   |
| 4.3.5 Situación de los componentes del sistema estratégico de transporte público<br>SETP del municipio de Neiva. .... | 36   |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| 4.4         | Diagnóstico de Transporte .....                                  | 44 |
| 4.5         | Concepto de Capacidad y Niveles de Servicio .....                | 44 |
| Capítulo 5. | Presentación de estudio de caso .....                            | 54 |
| 5.1         | Escenarios propuestos para mejora e implementación de SETP ..... | 58 |
| 5.1.1       | Infraestructura .....  | 58 |
| 5.1.2       | Dispositivos de Control de tránsito .....                        | 67 |
| 5.1.3       | Usos de Suelo.....   | 68 |
| 5.1.4       | Distribución Modal .....   | 71 |
| 5.1.5       | Evaluación de los escenarios propuestos.....                     | 72 |
| 5.1.6       | Síntesis .....   | 76 |
| Capítulo 6. | Conclusiones y lecciones aprendidas .....                        | 77 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 3-1 Fuentes de Información.....   | 22 |
| Tabla 3-2 Niveles permisibles de contaminantes .....                          | 24 |
| Tabla 4-1 Características Técnicas del SETP .....                             | 36 |
| Tabla 4-2. Niveles de Servicio vehicular en troncos viales .....              | 45 |
| Tabla 4-3. Niveles de Servicio vehicular en intersecciones .....              | 45 |
| Tabla 4-4 Conteos de Tránsito Vehicular .....                                 | 45 |
| Tabla 4-5 .Calibración de volúmenes horarios de máxima demanda .....          | 50 |
| Tabla 4-6. Indicadores generales de Desempeño.....                            | 51 |
| Tabla 4-7 .Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 2 .....   | 52 |
| Tabla 4-8. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 7 .....   | 52 |
| Tabla 4-9. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 2 .....   | 53 |
| Tabla 4-10. Emisiones contaminantes .....                                     | 53 |
| Tabla 5-1. Contaminantes secundarios.....                                     | 57 |
| Tabla 5-2 Desarrollos Urbanísticos sobre el corredor de estudio .....         | 69 |
| Tabla 5-3. Escenario 1 .....  | 72 |
| Tabla 5-4 . Indicadores generales de Desempeño.....                           | 72 |
| Tabla 5-5. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 7 .....   | 73 |
| Tabla 5-6. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 16 .....  | 73 |
| Tabla 5-7. Emisiones contaminantes .....                                      | 74 |
| Tabla 5-8. Escenario 2 .....  | 74 |
| Tabla 5-9. Indicadores generales de Desempeño.....                            | 75 |
| Tabla 5-10. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 7 .....  | 75 |
| Tabla 5-11 .Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 16 ..... | 76 |
| Tabla 5-12. Emisiones contaminantes .....                                     | 76 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 3-1. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Mapas. (2017). .....  | 23 |
| Figura 4-1. Localización general del municipio de Neiva. Fuente: Alcaldía de Neiva. (2017). .....   | 27 |
| Figura 4-2. División Político-administrativa del municipio de Neiva. Fuente: Alcaldía de Neiva. (2017). .....   | 28 |
| Figura 4-3. Jerarquía de vías Fuente: POT Municipio de Neiva. ....  | 30 |
| Figura 4-4. Efecto de las nuevas infraestructuras de transporte en la descentralización de la ciudad de Neiva. Fuente. POT Municipio de Neiva.....                  | 32 |
| Figura 4-5. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Mapas. (2017). ....   | 33 |
| Figura 4-6. Avances en infraestructura 2018 Fuente: SETP. Transfederal.....   | 37 |
| Figura 4-7 Avances en infraestructura 2018. Fuente: SETP. Transfederal.....   | 38 |
| Figura 4-8. Plano de obras del CONPES. Fuente: SETP. Transfederal .....   | 39 |
| Figura 4-9. Plano de obras del CONPES. Fuente: SETP. Transfederal .....   | 39 |
| Figura 4-10. Plano de obras del CONPES. Fuente: SETP. Transfederal .....  | 40 |
| Figura 4-11. Avances en infraestructura 2018. Fuente: SETP. Transfederal.....   | 41 |
| Figura 4-12. Construcción infraestructura intercambiador. Fuente: SETP. Transfederal .....  | 41 |
| Figura 4-13. Beneficios y retos del SETP en Neiva- Fuente. Alcaldía Neiva .....   | 44 |
| Figura 4-14 Red de Simulación. Fuente: Elaboración propia utilizando PTV Vissim....   | 51 |
| Figura 5-1 Intercambiador vial de la intersección de la Carrera 2ª con Avenida 26 la Universidad Surcolombiana Fuente:SETP.....                                     | 59 |
| Figura 5-2 Intercambiador – Red de simulación Fuente: Elaboración propia utilizando PTV Vissim.....   | 59 |
| Figura 5-3 Patrones de Comportamiento de la malla vial Fuente: Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013)....   | 62 |
| Figura 5-4. Factor de corrección por peatones en la vía. Fuente: Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013).... | 64 |
| Figura 5-5. Paraderos de Transporte Público Colectivo – Cobertura (355 metros) Fuente: Elaboración propia. ....   | 67 |

*Figura 5-6. Planeamiento semafórico Intersección Calle 26 x Carrera 7 Fuente: PTV*  
Vissim..... 68

*Figura 5-7. Planeamiento semafórico Intersección Carrera 26 x Carrera 16 Fuente: PTV*  
Vissim..... 68

## Índice de anexos

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1 OFICIOS DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN ..... | 82 |
| Anexo 2 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN .....        | 83 |
| Anexo 3 MODELO DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA .....   | 84 |

## Capítulo 1.

### Introducción

#### 1.1 Motivación

En las últimas décadas diferentes ciudades en Colombia han experimentado constantes y cada vez más graves problemas de tráfico en su infraestructura vial, debido principalmente al fuerte desarrollo económico relacionado con la industrialización y la globalización, que han traído consigo incrementos significativos en el transporte de bienes y servicios.

Teniendo en cuenta lo anterior y en lo que respecta al caso específico de las ciudades intermedias el Documento Conpes 3167 de mayo 23 de 2002, "Política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros", formula la política del Gobierno Nacional en materia de transporte urbano y las estrategias para la realización de esta. Dentro del documento se plantean acciones para todas las ciudades y se subdividen de acuerdo con su población. Para las ciudades que tienen entre 250.000 y 600.000 habitantes se estructuran proyectos que permitan desarrollar sistemas de movilidad sostenibles para ellas.

Para el caso específico de la ciudad de Neiva, como resultado de estas políticas y estudios, se definió el proyecto SETP de Neiva, el cual según el Documento Conpes debió ser construido entre los años 2014 y 2017, y debe formar parte integral del Plan de Movilidad del Municipio, que desarrollará la Administración Municipal. El Sistema se orienta a la ejecución de tres acciones: operacionales, institucionales y de infraestructura. Lo anterior supone por lo tanto que las inversiones que se realicen en el SETP tienen la posibilidad de cubrir necesidades insatisfechas y en especial atender poblaciones con menos recursos para su movilización.

La falta de articulación entre las políticas urbanas y de transporte, ha incidido para que, en la ciudad de Neiva, se presenten actualmente serios problemas de movilidad urbana, traducidos en una carencia de red vial de óptima calidad, congestión y de problemas de tipo ambiental, representados en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del nivel del ruido, debido a la mínima gestión de tráfico, por parte de las entidades municipales responsables. Además, del incremento del parque automotor, especialmente de las motocicletas.

Adicionalmente, la oferta actual de transporte público es deficiente y no ofrece calidad, ni seguridad, ni confort a los diferentes usuarios. Los tiempos de viaje, se han incrementado considerablemente, incluso en distancias cortas y debido al aumento del parque automotor, la tasa de accidentalidad y enfermedades respiratorias tiene una tendencia al crecimiento.

Dentro de este sistema se halla el corredor de la Avenida 26 entre Carrera 6W y Carrera 16, en este sector se ubica la intersección de la Glorieta de la USCO lugar de alta conflictividad caracterizado por dificultades en la movilidad lo que ocasiona un mal funcionamiento a nivel general. Además, existen movimientos sin canalizar, señalización deficiente y una alta tasa de congestión, tanto en horas pico como en horas valle que afectan su operatividad e incrementan los niveles de CO<sub>2</sub>. Este corredor es de alta importancia, porque constituye el centro de articulación de diferentes sectores de la ciudad, pero presenta problemas de tipo ambiental como generación de gases nocivos, ruido excesivo y congestión, que afectan la movilidad y calidad de vida de los habitantes y transeúntes del corredor en estudio. En resumen, el proceso afecta a la calidad de aire factor que sumado a la congestión vehicular genera un gran impacto ambiental contrario al esquema de Ciudades Amables.

Teniendo en cuenta el problema planteado, a continuación, se enuncian las siguientes preguntas de investigación:

¿Qué beneficios ambientales, obtiene el corredor de estudio con la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, el nivel de ruido y la congestión?

¿Qué incidencia en la mejora de la movilidad, en el sector de estudio, tiene la implementación de un Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP)?

Considerando las razones anteriormente expuestas, este trabajo de investigación se centra en analizar el comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la congestión del corredor de estudio con la implementación del sistema SETP. En primer lugar, se realiza un diagnóstico de la situación actual, considerando la oferta de transporte público colectivo que existe para identificar los beneficios y desventajas que se presentan y que se deben mejorar con la implementación del nuevo sistema SETP (Sistema estratégico de transporte público).

Este trabajo está dirigido a realizar un análisis que genere una serie de medidas que impacten positivamente en la sostenibilidad del corredor de estudio.

## **1.2 Hipótesis**

La implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), en la ciudad de Neiva, contribuirá en la reducción de la congestión vehicular y de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **1.3 Importancia y relevancia del proyecto**

Este documento analiza, cómo puede incidir un sistema SETP, en el mejoramiento de la movilidad urbana, en un entorno sociodemográfico, que presenta un alto uso del vehículo particular, carece de políticas de transporte eficientes y no está preparado para responder al incremento de la demanda de transporte para sus más de 600 mil habitantes. Además, no existe un sistema de transporte público de calidad (frecuencias, tipos de vehículos, etc.) de acuerdo con el estudio de (Quintero-Gonzalez J.R., 2017). Por ello, el análisis de la implementación del SEPT en la ciudad de Neiva y los resultados que se espera obtener están relacionados los casos de éxito de ciudades como Curitiba, Goiania, Quito, Bogotá, Ottawa, Brisbane y en menor medida León, Yakarta, en donde la implementación de sistemas de transporte masivo, SETP, han contribuido de forma determinante en soluciones de movilidad, (Levinson et al, 2004)

En el caso particular de Curitiba Brasil, el uso del transporte público se incrementó en un 50% y contribuyo a disminuir las emisiones de gases, tipo invernadero en un porcentaje igual, además, se vieron favorecidos el uso del suelo y el recaudo de impuestos. En Ottawa, ciudad de Norte América, que mueve más pasajeros por milla utilizando autobuses, el sistema demostró, que se redujeron los costos de transporte de los usuarios entre un 20-30% y disminuyeron las tasas de muerte de peatones, en las zonas compactas. (Rios et al, 2013).

En Bogotá el sistema Transmilenio, ha disminuido los tiempos de viaje entre sectores muy apartados de la ciudad, a pesar de que la red aún está incompleta y no se ha logrado integrar los usos de suelo con el sistema, colocando en riesgo la operatividad del sistema porque los beneficios, no cubren su funcionamiento total.

De acuerdo con lo anterior, el estudio de los efectos de un Sistema de Transporte Público Colectivo es de gran importancia en el actual paradigma de transporte sostenible y cambio climático.

Este documento busca realizar un aporte para la evaluación y el análisis de las emisiones de material particulado y del ruido, así como de la congestión. También, busca contribuir al desarrollo de procesos de políticas públicas para generar estrategias, dirigidas a mejorar el nivel de servicio en las vías, la seguridad vial, calidad ambiental y reducir los tiempos de viaje, entre otros aspectos, optimizando la calidad de vida de la ciudadanía.

#### **1.4 Contenido**

En el primer capítulo se describen los métodos empleados para el desarrollo del presente estudio, los cuales están orientados a establecer las emisiones de CO<sub>2</sub> y la congestión en el tramo objeto de estudio. Posterior a este, en el capítulo segundo se realiza una revisión de la literatura con base en Emisiones, infraestructura de transporte y sistemas de transporte público colectivo. En el capítulo tercero se determina la metodología de estudio. En el cuarto capítulo se presenta un diagnóstico general del problema, sus antecedentes y todo lo relacionado con el SETP (Sistema Estratégico de Transporte Público), los aspectos relacionados con el sistema de transporte público colectivo de la ciudad de Neiva, con base en los antecedentes y las soluciones que puede ofrecer tanto en materia ambiental, de ordenamiento urbano y a los problemas de movilidad urbana. En el quinto capítulo se realiza la presentación de estudio de caso, en cual se enfatiza el incremento exponencial del parque automotor en la ciudad de Neiva durante la última década y el impacto ambiental en materia de emisiones y ruido, y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## Capítulo 2.

### Revisión literaria

Este capítulo revisa la literatura existente referente a la relación entre el sistema de transporte y el medio ambiente, sus características, causas y consecuencias.

#### 2.1 Emisiones e infraestructura de transporte

El sector transporte es uno de los principales emisores de gases efecto invernadero y otros contaminantes que inciden en el cambio climático. El desarrollo, por lo tanto, de políticas y acciones para modificar los sistemas de transporte que favorezcan la disminución de los efectos nocivos sobre el medio ambiente y otras externalidades negativas del transporte, es una necesidad imperiosa para avanzar en un desarrollo sostenible. Para ello, las soluciones que se planteen deben ser concebidas de forma integral, iniciándose en la provisión de la infraestructura, siguiendo por la operación de los servicios de transporte en sus distintas modalidades, propiciando el desarrollo de infraestructuras de transporte bajas en carbono que apoyen el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe.

Gran parte de las emisiones derivan del tipo de combustible utilizada para transportar los productos o pasajeros, por esta razón, las políticas de transporte debieran favorecer particiones modales que promuevan modos menos contaminantes y más eficientes en términos energéticos, para permitir con ello, una mejor sostenibilidad y mayor competitividad y productividad de su economía. Esto es válido también para el transporte de pasajeros y la movilidad urbana.

Colombia no especifica el objetivo ambiental y de sostenibilidad en sus objetivos estratégicos, ni registra instrumentos de seguimiento y control asociados a criterios de sostenibilidad asociadas a la infraestructura y servicios de transporte.

Sin embargo, Colombia viene desarrollando esfuerzos para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático a través de acciones de mitigación, es decir, reduciendo las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera y promoviendo su absorción en sumideros o secuestro (Ortega, 2017).

A través del decreto 948 de 1995 (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 1995), se determina el reglamento para la prevención y control de la contaminación atmosférica

generada por fuentes fijas y móviles, y la protección de la calidad del aire aplicable a todo el territorio nacional teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Avances en integralidad y cambio modal, Colombia, posee una Política Nacional de Logística, que fundamenta un sistema integral de infraestructura, transporte y logística. Sin embargo, carece de una eficiente articulación de los modos de transporte.
- En el transporte público urbano se desarrolla un programa BRT (Bus Rapid Transit) en varias ciudades del país, siguiendo el esquema desarrollado por Transmilenio en Bogotá y adaptándolo a las necesidades y geografías locales.
- Iniciativas diversas. Cabe mencionar algunas acciones hacia la reducción de emisiones en el transporte como el programa de sustitución de combustibles fósiles, a través de la promoción de GNV (Gas Natural Vehicular) y biocombustibles — alcohol y biodiesel. Adicionalmente existe una nueva reglamentación sobre fuentes móviles que modifica los niveles de emisión de contaminantes al aire por vehículos y motocicletas, además de otras iniciativas ambientales para la reducción de emisiones CO<sub>2</sub> en el sector transporte.

## **2.2 Sistemas de transporte Colectivo**

Hay que destacar que internacionalmente el tema del transporte de personas cada día toma más relevancia en atención al elevado consumo de energía y a los cambios en los niveles de contaminación ambiental que se generan durante su movilización en sistemas de transporte colectivo y las emisiones de CO<sub>2</sub>, el efecto invernadero y el cambio climático, para lo cual se han venido desarrollando programas recomendados por organismos internacionales, como las Naciones Unidas (ONU), la Unión Internacional de transporte Público (UITP), la Comunidad Europea (CEE), el Banco Mundial (BM) y la Comisión Económica Para América Latina (CEPAL en pro del desarrollo de sistemas de transporte público sustentables y sostenibles social y ambientalmente.

Durante las últimas décadas ha existido un creciente interés por la dimensión ambiental de la movilidad urbana. De este modo, distintas técnicas de análisis y evaluación estudio de impacto ambiental (EIA), Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAEs), Análisis Coste-Beneficio, Análisis del ciclo de vida, etc.) son utilizadas con el fin de reducir las posibles consecuencias ambientales de una intervención sobre la movilidad en las ciudades. A pesar

de que estas técnicas están ampliamente extendidas, existen evidencias que cuestionan su utilidad en el campo de la movilidad urbana, tanto por razones de procedimiento y/o forma, como por razones puramente técnicas o de fondo.

Pero es importante destacar, que las técnicas de evaluación actuales presentan cada vez mayores dificultades para abordar la complejidad que atesora a la movilidad urbana, haciendo difícil la interacción de sus resultados con otros factores y actores que influyen en la toma de decisiones. (Liman, et al, 2009).

Algunas particularidades de la movilidad urbana refuerzan o contribuyen a esta situación: **(i)** La movilidad, es un sistema dinámico en constante cambio; **(ii)** Está condicionada, por factores externos (urbanísticos, tecnológicos, socioeconómicos, etc.); **(iii)** Afecta de forma global, al conjunto de la ciudad; **(iv)** Sus efectos ambientales, suelen ser mayoritariamente fluctuantes (según día, hora, etc., con la excepción, de la construcción de infraestructuras del transporte). Todo esto influye, en que con frecuencia se utilicen técnicas de evaluación ambiental, que, por un lado, más que prevenir los posibles impactos, o consecuencias ambientales de un determinado plan, o proyecto de movilidad urbana, reaccionan para mitigar o adaptar, a éste dentro de un contexto determinado (EIA o EAE) o, por otro lado, son técnicas que acaban desembocando en modelos de caja negra (análisis coste-beneficio, análisis de vulnerabilidad ambiental, etc.).

### **2.3 Emisiones producidas por el transporte**

Las emisiones producidas por el transporte, se ha convertido desde hace mucho tiempo en un problema a nivel global. Es un problema general de evaluación de la contaminación atmosférica urbana, en la cual deben distinguirse: El medio atmosférico en sí mismo, que actúa como cuerpo receptor y de mezcla, y las fuentes de emisión, desde donde se producen e inyectan los contaminantes, que afectan a la atmósfera. El medio atmosférico urbano (como cuerpo receptor), es la porción inferior de la atmósfera (troposfera inferior), o más precisamente su capa límite (en donde la superficie de la tierra influye fuertemente en la estructura de vientos), con una altura variable, que depende de las condiciones particulares de presión y temperatura, así como de la topografía local (Frey, H.C. et al, 2001). Entre las fuentes de emisión por otra parte, interesan en particular aquellas en las que interviene directamente el hombre, éstas abarcan tanto las instalaciones fijas (fuentes fijas), como los vehículos (fuentes móviles).

### **2.3.1 Modelos de simulación como herramienta para el cálculo de emisiones.**

En el contexto internacional, varios países han creado modelos para la estimación de emisiones vehiculares; algunos ejemplos son el Mobile Source Emission Factor Model (MOBILE6) (United States Environmental Protection Agency, 2003, 2012, 2) y el Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (United States Environmental, 2012).

En cuanto a los modelos de factores de emisión, se espera progresar de los tradicionales factores de emisión, basados sólo en la velocidad (aún utilizados ampliamente), a factores específicos más detallados, incluyendo eventualmente factores de emisión modales (ralentí, aceleración, marcha estacionaria, etc.). Los factores de emisión modales deberían poder utilizarse en todos los niveles de interfaz entre tránsito y emisiones, para lo cual aún subsisten grandes limitaciones, que deben ser subsanadas. Finalmente, para que los modelos de tránsito y factores de emisión puedan ser combinados en una forma metodológicamente fuerte, éstos deben estar en un mismo nivel de interfaz, es decir deberán estar contruidos a partir de la misma base (ambos basados en segmentos o ambos basados en viajes). Entre los sistemas más directos de determinación de factores de emisión vehiculares, están los ensayos dinamométricos, los dispositivos de censado remoto y los sistemas autotransportados (también llamados vehículos instrumentados). (EPA, 2001).

### **2.3.2 Modelo de estimación de emisiones**

Los modelos de estimación de emisiones como el Modelo Internacional de Emisiones de Vehículos (IVE) son empleados en grandes regiones y requieren de gran cantidad de información, para la estimación de las emisiones vehiculares. Para escalas más reducidas, se desarrolló una metodología del tipo Bottom up, que construye el inventario de emisiones a partir de información particular de la flota vehicular en estudio. El modelo se desarrolla a partir de la ecuación propuesta, por el Modelo Simplificado de Estimación de Emisiones desarrollado por Tuia y otros (2007), basada en una aproximación simple, que no requiere mayores demandas de información primaria, calculada para tramos viales, y agregada para toda la zona de estudio. (Frey, H.C. et al, 2001)

Así mismo, los ensayos dinamométricos, constituyen un método de prueba en donde las emisiones de los vehículos se obtienen bajo condiciones de laboratorio, reproduciéndose un ciclo sobre rodillos inerciales, que simula las condiciones de operación del vehículo en carretera. Los dispositivos de sensores remotos miden la concentración de contaminantes (por ejemplo, mediante radiación infrarroja, y en algunos casos por espectroscopia ultravioleta), cuando el automotor pasa frente a un sensor colocado a la altura de la salida de gases de escape. Aunque estos sistemas son los más antiguos y ampliamente utilizados, adolecen del problema de no representar adecuadamente al automóvil, en condiciones reales de marcha. Los equipos transportables y autotransportados, un grupo reducido de más reciente aparición, pueden en cambio obtener datos en condiciones de funcionamiento real. (p. 112).

En la mayoría de los países, establecen límites máximos a los factores de emisión que son en general derivados del método dinamométrico, y verificados en cuanto a su nivel de cumplimiento, en talleres de revisión técnica con rodillos inerciales, o con instrumentos en las calles. Sin embargo, las emisiones de los automóviles, cuando éstos recorren trayectos reales, pueden diferir en gran medida con las registradas por estos métodos. Por tal motivo, es importante referir las mediciones a trayectos o recorridos reales; éstas, en tanto contribuyan a construir bases empíricas más sólidas, pueden posibilitar estrategias de gestión de calidad de aire más eficientes y una verdadera reducción de emisiones. (Rouphail A. et al, 2001)

Es importante destacar, que los nuevos y emergentes sistemas auto transportados de mediciones de emisiones de fuentes móviles, revolucionan la forma en que los datos son recolectados, convirtiéndose en el foco del programa de los factores de emisión de la Environmental Protection Agency (EPA), y así mismo darán la oportunidad de producir un cambio significativo en la forma de aproximación de los modelos de emisión.

## Capítulo 3.

### **Metodología**

En este estudio, se describen los métodos de investigación que se utilizaron. Se empleó una metodología mixta que combina métodos descriptivos-aplicados, con el fin de establecer, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el nivel ruido y la congestión en el tramo objeto de estudio.

A continuación, se analiza el diseño general de la investigación y, se describen los estudios de caso realizados, además, se explica a detalle la metodología implementada durante la ejecución del proyecto.

#### **3.1 Tipo de Estudio**

La metodología se formula con base en un estudio descriptivo y aplicativo, basado en la observación, a través de visitas de campo, recolectando información primaria y secundaria; con un enfoque ambiental de tipo cualitativo y cuantitativo. El método está estructurado en tres etapas y en cada una de ellas, se desarrollan diferentes actividades orientadas a establecer las emisiones de CO<sub>2</sub> y la congestión en el corredor de la Avenida 26 entre Carrera 6W y Carrera 16 de la ciudad de Neiva (Huila).

##### **3.1.1 Actividades**

###### **- *Visita preliminar y Revisión Bibliográfica***

Se realizó una visita preliminar de reconocimiento del terreno y una revisión de fuentes secundarias, como motores de búsqueda en Internet acerca de los Sistemas Estratégicos de Transporte Público, implementados a nivel de país, los estudios previos, información cartográfica, su concordancia con el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Neiva y la Normatividad Legal Vigente, de acuerdo a la obra. Se realizaron recorridos, con el fin de obtener el levantamiento de información, relacionada con emisiones, ruido y congestión en el corredor objeto de estudio.

###### **- *Definición del área de Influencia***

El área de influencia seleccionada es de un *buffer* de 500 metros a partir del eje central del corredor, el cual corresponde al corredor de la Avenida 26 entre Carrera 6W y Carrera

16, el de área de influencia se caracteriza porque incluye una de las vías principales, con una o dos vías principales paralelas conectadas entre sí. En relación al área de influencia, según su impacto comprende las zonas colindantes, al corredor que producen o atraen viajes sobre este.

### ***Disposición y procesamiento de la información***

Se realizó el procesamiento de la información recopilada para la ejecución del proyecto. La información utilizada se describe a continuación. (Ver Tabla 3-1). Los permisos de utilización de la información se presentan en el Anexo I OFICIOS DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN.

*Tabla 3-1 Fuentes de Información*

| <b>Tipo de Archivo</b> | <b>Nombre</b>               | <b>Entidad/Encargado</b>               |
|------------------------|-----------------------------|--|
| Base de Datos          | Aforos Vehiculares Año 2017 | Consortio Plan Movilidad<br>Neiva 2015 |
| Oficio                 | Planeamientos Semafóricos   | TransFederal                           |

*Fuente: Elaboración propia*

### ***- Selección y Aplicación de la Herramienta de análisis de tránsito***

Las actividades que desarrollar en esta etapa están en concordancia con las sugeridas por (González, 2018) y se describen a continuación:

- 1. Selección de la herramienta de Análisis de Tránsito:** Como herramienta de análisis de tránsito se seleccionó los modelos de simulación microscópica. Estos simulan el movimiento individual de los vehículos basados en las teorías de Seguimiento Vehicular y Cambio de Carril. Normalmente, los vehículos entran a una red de transporte, usando una distribución estadística de llegadas y son direccionados por la red en pequeños intervalos de tiempo. En estos modelos, cada vehículo que ingresa a la red tiene asignado un destino de llegada, un tipo de vehículo y un comportamiento de conducción que condicionan su operación (Elefteriadou, 2014).

Adicionalmente, permiten el análisis de capacidad vial y optimización de los sistemas de tránsito, y con las nuevas tecnologías, se permite una visualización

dinámica de su comportamiento. En este caso es importante resaltar, que la decisión de la herramienta se basa en cumplir los objetivos de evaluación teniendo en cuenta las restricciones directas del proyecto.

Esta herramienta está en concordancia, con el área de influencia definida, tanto a nivel geográfico, como su nivel de impacto. El software de uso, para la estimación de los indicadores es PTV Vissim, que cumple con las características necesarias, para la evaluación de indicadores y la exitosa simulación del proyecto.

**2. Entrada de datos a un software de simulación:** Se recopiló, depuró e ingresó los datos en el Software. Se definió la red de transporte, con sus características internas como carriles, sentido, geometría etc. Además, se seleccionaron las principales intersecciones, para evaluar. (Ver Figura 3-1).

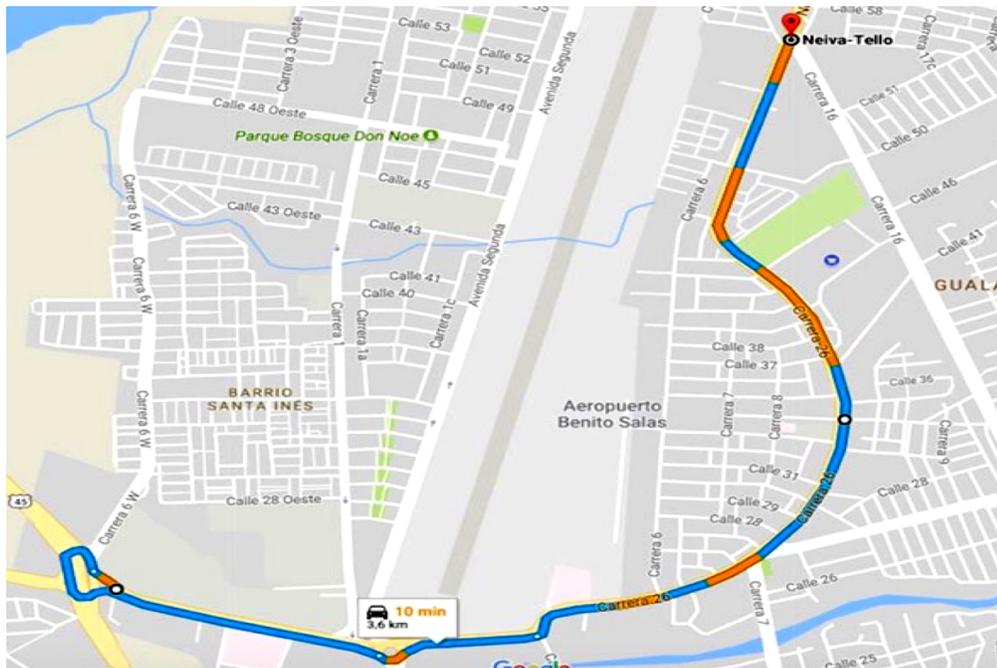


Figura 3-1. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Maps. (2017).

**3. Calibración y validación del modelo:** Se calibró el modelo comparando indicadores observados versus indicadores simulados. Para esto se utilizaron dos indicadores: (i) volúmenes vehiculares y (ii) Longitud de Colas en intersecciones semaforizadas. Con el objetivo de validar y aceptar el modelo, se utilizó el Estadístico GEH, que tiene gran aceptación por los diferentes profesionales del área.

4. **Ejecución de la simulación:** Se ejecutó la simulación, extrayendo los principales resultados de indicadores, para evaluar los objetivos del proyecto.

- **Evaluación de los impactos identificados**

Para cuantificar las emisiones del presente trabajo se utiliza un enfoque metodológico que se apoya de la simulación microscópica con software PTV Vissim, utilizando sus complementos como el PTV EnViver debidamente calibrado para la región Colombiana, el cual permite determinar emisiones e inmisiones contaminantes, permitiendo realizar un análisis de las consecuencias en el impacto negativo en la calidad del medio ambiente, por la falta de gestión del tráfico y su deficiente infraestructura en la ciudad de Neiva en el corredor de estudio.

Teniendo en cuenta la resolución 610 de 2010, expedida por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, se presentan en la Tabla 3-2, los niveles permisibles de contaminantes.

*Tabla 3-2 Niveles permisibles de contaminantes*

| CONTAMINANTE | NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | TIEMPO   |
|--------------|--|----------|
| PM10         | 100  | 24 horas |
| NOX          | 200  | 1 hora   |
| CO2          | 40.000   | 1 hora   |

*Fuente Resolución 610 del 24 de marzo de 2010*

- **Formulación de la estrategia**

Una vez identificados, evaluados y calificados los principales indicadores, se plasman escenarios de evaluación, con el fin de disminuir los efectos ambientales, en el área objeto de la presente investigación.

## Capítulo 4.

### **Diagnostico general del problema**

En este capítulo, se presentan los aspectos relacionados con el Sistema de Transporte Público Colectivo de la ciudad de Neiva, partiendo de sus antecedentes y las soluciones, que puede ofrecer tanto en materia ambiental, ordenamiento urbano y problemas de movilidad urbana. Por consiguiente, en la primera parte, se hace una revisión de las dinámicas urbanas como: población, funcionalidad del sistema urbano, movilidad e infraestructuras, con el fin de establecer las variables a utilizar, las cuales definen el corredor y las actuaciones, que implementa el SEPT, a través de sus componentes e infraestructura.

#### **4.1 Antecedentes sistema de transporte masivo**

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT, (2008) la problemática ambiental en las áreas urbanas colombianas está determinada por una combinación de diferentes factores, como, el incremento de la población en los núcleos urbanos; los patrones insostenibles de uso y tenencia del suelo; la mala calidad del hábitat urbano y de los asentamientos humanos; los problemas de movilidad urbana, asociados a altos tiempos de transporte y contaminación del aire; los sistemas de transporte improductivos, desordenados y que deterioran el espacio público, y las condiciones sociales y culturales de la población.

Algunas de estas problemáticas, son causadas por la desorganización, que representa la prestación del servicio de transporte público tradicional en las ciudades del país, por ejemplo, la ciudad de Cartagena cuyo espacio público se ha convertido en un obstáculo para el desarrollo socioeconómico. (DNP, 2018).

En este orden de ideas, se analiza que esta situación sumada al crecimiento desarticulado de la ciudad, con predominio de la informalidad y la subnormalidad urbana; el aumento de la población, a raíz de las migraciones causadas por la violencia, entre otras variables de tipo social, que inciden directamente sobre la movilidad y el ordenamiento territorial de la ciudad.

Actualmente la ciudad de Neiva se encuentra en proceso de crecimiento acelerado y carece de una planificación de la movilidad eficiente que no responde a una demanda creciente, una oferta deficiente y una red de infraestructura vial incompleta.

A nivel territorial, el municipio de Neiva tiene una gran importancia, porque es el punto de conexión, entre Florencia, Mocoa, Popayán, Pasto y el interior del país. Es un territorio que tiene una superficie de 150.706 hectáreas en su zona rural, una zona urbana de 4.594 hectáreas.

Neiva incluyendo su área urbana y rural, limita al norte: con el departamento de Tolima y el municipio de Colombia – Huila. Al sur: con los municipios de Santa María, Teruel, Yaguará, Hobo y Algeciras; al occidente el Río Magdalena, lo comunica con los municipios de Planadas y Ataco y al oriente limita con los departamentos de Meta y Caquetá (Ver Figura 4-1)

Además, la ciudad de Neiva está ubicada, dentro de varios corredores de transporte, que conectan el país, es decir, tiene un valor agregado en aspectos logísticos en cuanto al transporte de carga y conectividad de las regiones. Neiva tiene una relación comercial fuerte, con los departamentos del Valle del Cauca y Bolívar (donde se encuentran las principales zonas portuarias del país), con Bogotá y el resto del departamento del Huila, en términos de flujos de carga. (Alcaldía Neiva, 2017).

Por su ubicación estratégica, a orillas del río Magdalena, su conexión con el Sistema Férreo Central y su cercanía con la vía Marginal de la Selva, el Corredor entre Buenaventura y Orinoquia y su conexión con Bogotá; le es necesario desarrollar una infraestructura vial interurbana, que atienda las necesidades de conectividad, e integre la malla vial urbana. Para articular la infraestructura de proyectos nacionales y regionales. (Ver Figura 4-1).



Figura 4-1. Localización general del municipio de Neiva. Fuente: Alcaldía de Neiva. (2017).

## 4.2 Análisis demográfico del municipio de Neiva

La población de Neiva, se caracteriza por ser predominantemente urbana, tener un mayor número de mujeres respecto a los hombres; un grupo etario de personas (jóvenes) entre los 10-19 años muy amplio, registrar un alto número de población flotante, no censada a causa del conflicto armado interno y presentar importantes problemas de violencia, debido al desplazamiento forzado. (DANE, 2015).

Según las proyecciones demográficas del DANE, para Neiva en el 2015, la población del municipio alcanzaba los 342.117 habitantes, de los cuales el 94,2% (322.274) residen en el área urbana y el 5,8% (19.843) en el área rural. Esta cifra representa el 30% de la población departamental y el 0,71% de la población nacional. (p. 34).

Respecto al Censo General DANE 2005, del total de población del municipio, la participación de las mujeres es del 52,6% y la de los hombres equivale al 47,4%, por lo cual, la proyección de población a 2015, con base en la misma fuente, muestra una ligera variación de 51,2% de participación femenina y 47,8% de masculina. (p. 35).

Es importante destacar, que Neiva como puerta hacia el sur del país, se constituye en una Ciudad Región, en la medida en que interactúa y es centro de influencia, sobre sus

municipios satélites o aledaños, tanto en términos económicos como sociales, culturales y ambientales como se observa en a través de las redes de conexiones y relaciones de interdependencia mutua.

En el ámbito urbano, el municipio presenta una división político-administrativa, basada en 10 comunas establecidas, que se articulan con las unidades de planeamiento zonal para focalizar el planeamiento a una escala menor. En un sentido más amplio, las comunas corresponden a una división basada en la estructura barrial de la ciudad y los límites naturales e históricos. Esta distribución es mostrada en la Figura 4-2.



*Figura 4-2. División Político-administrativa del municipio de Neiva. Fuente: Alcaldía de Neiva. (2017).*

### **4.3 Análisis del sistema de movilidad e infraestructuras**

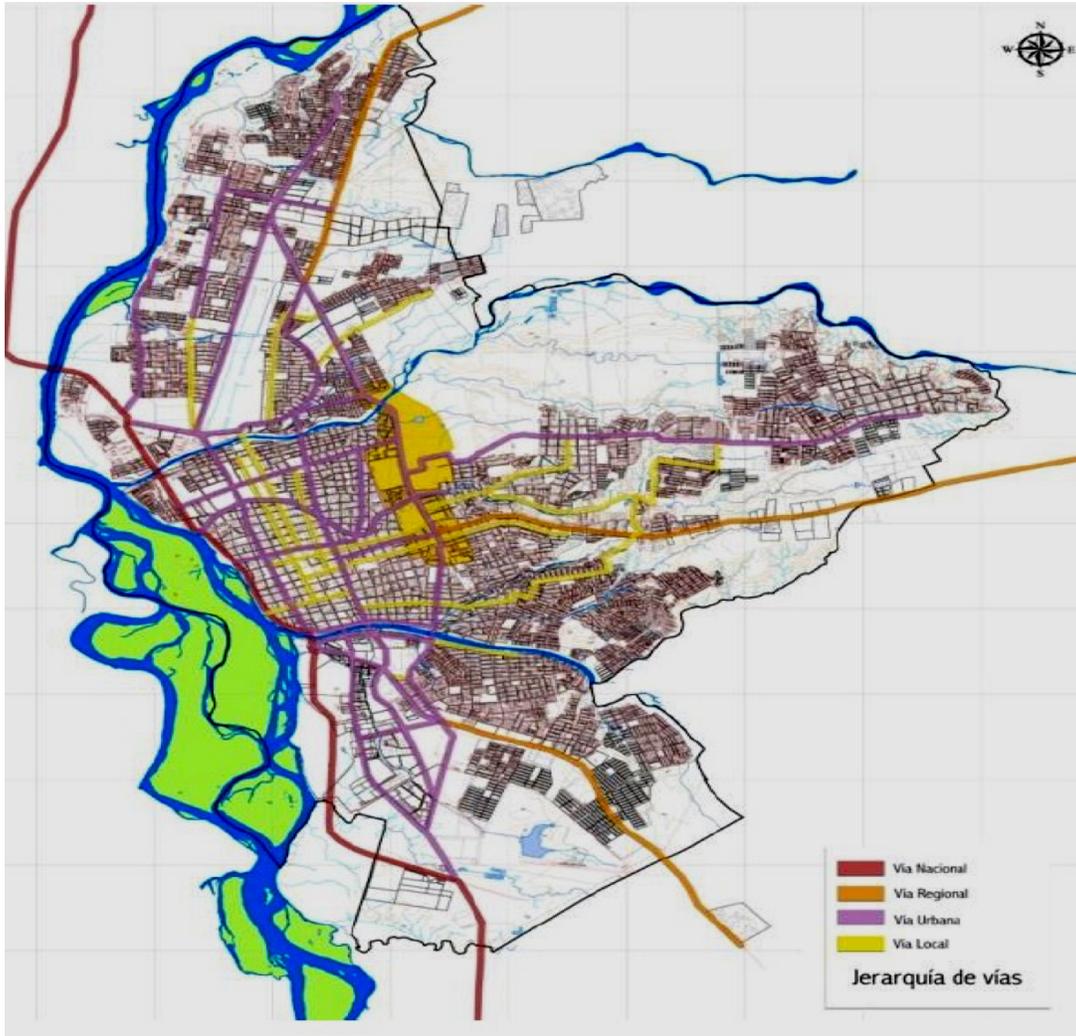
Se entiende como plan de movilidad, el sistema estructural dinamizador y que organiza el desarrollo funcional del territorio, y articula de manera armoniosa el sistema vial, de transporte y el espacio público, para proporcionar, fomentar y garantizar el desplazamiento seguro y confortable de las personas, el uso de la infraestructura física y modos de transporte, igualmente define un escenario de integridad y competitividad, que promueve el desarrollo local y regional a través de la eficiente y estratégica relación de sus componentes, actores y usuarios.

Por otra parte, hay que destacar que uno de los principales objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2018, con relación al Plan de Movilidad, es el de estructurar ciudades amables, para lo cual, en conjunto con estudios realizados por la Universidad Nacional, ha diseñado una serie de estrategias, las cuales se hallan orientadas a proporcionar solución a los retos, que presenta el Sector Transporte, dentro de los cuales se destacan los siguientes: (Plan Nacional de Desarrollo, 2014-2018).

- Proporcionar una mejor calidad de vida, a los habitantes de la ciudad de Neiva.
- Promover el desarrollo de sistemas integrados de transporte masivo, buscando en el mediano plazo, impulsar un desarrollo urbano integral, mejorando el espacio público.
- Articular todos los componentes de movilidad, como el transporte urbano masivo, o colectivo, transporte privado, ciclorrutas, vías peatonales, sistemas alternativos, etc.
- Adecuar los espacios, donde habitan y se relacionan los ciudadanos.
- Construir ciudades más amables, ordenadas bajo un modelo de desarrollo urbano planificado, con espacio público adecuado, y con inclusión de la población discapacitada.

De acuerdo con el Plan Maestro de Movilidad de Neiva, esta se clasifica como una ciudad intermedia, que presenta una expansión urbana hacia las periferias potenciado por el desarrollo de nuevas urbanizaciones. Este fenómeno ha generado que el tradicional

modelo de movilidad que impera sea obsoleto actualmente y ha llevado la ciudad a tener grandes problemas de movilidad. (Ver Figura 4-3).



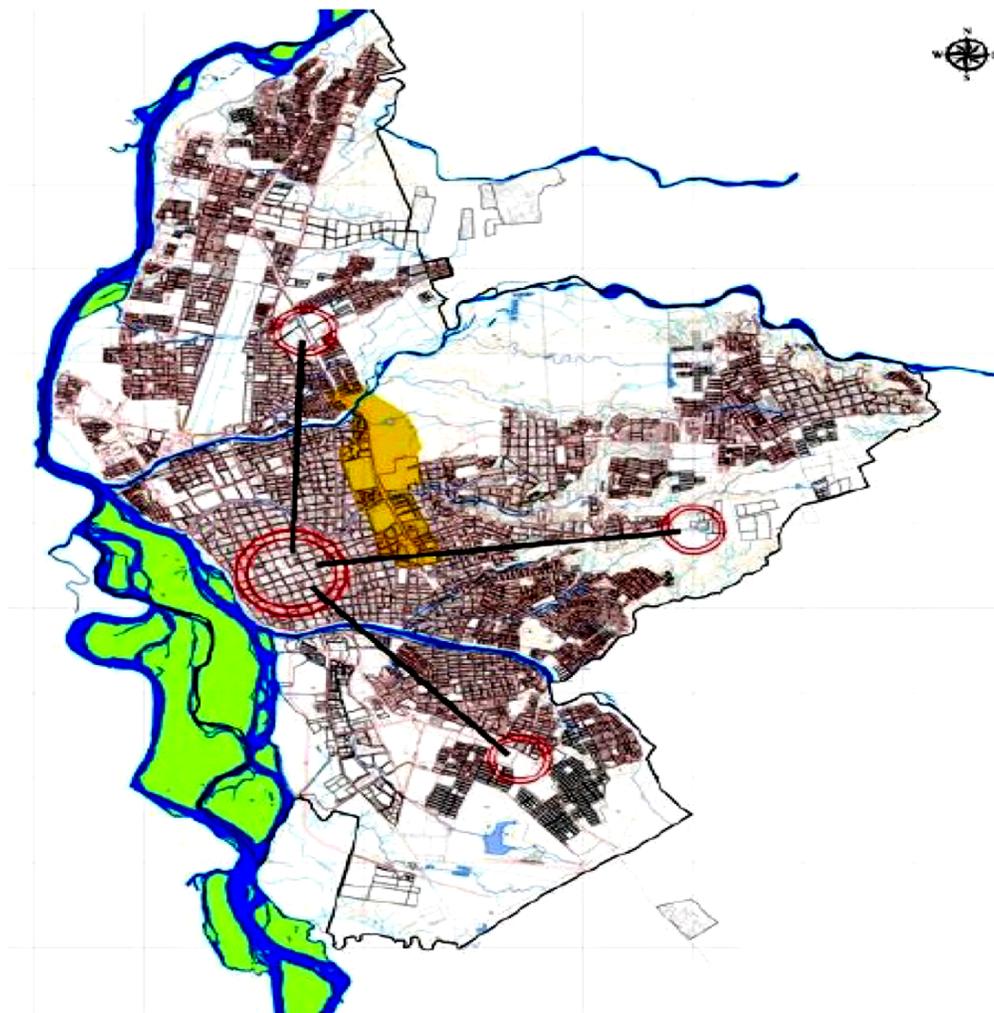
*Figura 4-3. Jerarquía de vías Fuente: POT Municipio de Neiva.*

En la Figura 4-3, se muestra la estructura vial de la ciudad de acuerdo a su jerarquía. El color rojo señala la vía nacional, la cual conduce por el norte a Bogotá y por el sur al departamento del Huila, Caquetá y Cauca. En el color naranja se muestra las vías regionales, por la Carrera séptima al norte se dirige al corregimiento de fortalecillas y a los municipios de Tello y Baraya, grandes productores agrícolas de la región y al desierto de la Tatacoa destino turístico nacional; por la calle 8a al oriente, se dirige al corregimiento de

Vega larga; por la sur carrera 33, se dirige a los corregimientos del Caguán y el Triunfo y al municipio de Rivera.

El color morado, muestra las vías urbanas, que hacen parte fundamental de la estructura vial de Neiva y están habilitadas para el transporte público y ciclo-rutas. Y finalmente, el color amarillo, representa las vías locales de mayor importancia, las cuales se han venido formando por el crecimiento de la ciudad. El vehículo motorizado más utilizado es la motocicleta que es usada aproximadamente por el 50% de la población.

De acuerdo con el POT (Plan de Ordenamiento Territorial), el centro tradicional de la ciudad actualmente es la zona de mayor atracción de viajes, es decir el lugar de mayor jerarquía urbana. El desarrollo de las nuevas redes de infraestructura depende de la ubicación de los nuevos proyectos inmobiliarios que están dibujando nuevas centralidades de menor escala especialmente en las zonas norte y sur y reflejan la descentralizando las actividades y condicionan la morfología de la ciudad como se muestra en la Figura 4-4.



*Figura 4-4. Efecto de las nuevas infraestructuras de transporte en la descentralización de la ciudad de Neiva. Fuente. POT Municipio de Neiva*

### **4.3.1 Corredor de estudio**

A efectos de esta investigación, se eligió el corredor vial de la Avenida 26, entre la Carrera 6W y la Carrera 16. Su longitud alcanza los de 3,6 Kilómetros y es un importante eje de articulación de diferentes sectores de la ciudad y sobre él se encuentran sectores de conflicto, como la intersección de la Glorieta de la USCO. Además, presenta movimientos sin canalizar, señalización deficiente y una alta tasa de congestión, tanto en horas pico como en horas valle, que afectan su operatividad. (Sec. de Transito y Transp. Neiva, 2014).

En la Ver Figura 4-5 se observa, que la avenida 26 es un paso obligado para acceder a los barrios de Santa Inés y Cándido, en el sentido Norte; para ir al sector Oriente de la

ciudad; para salir de la ciudad al costado Occidente y para ingresar al Centro de la ciudad. Rodeando la Carrera 2 hacia el Sur y a lo largo de su trayecto, se ubican importantes establecimientos públicos y privados como la Universidad Surcolombiana, la Terminal Aérea Benito Salas, el Centro de Diagnóstico Automotriz Inverautos, el Banco Bancolombia y el Hotel Los Dujos entre otras.

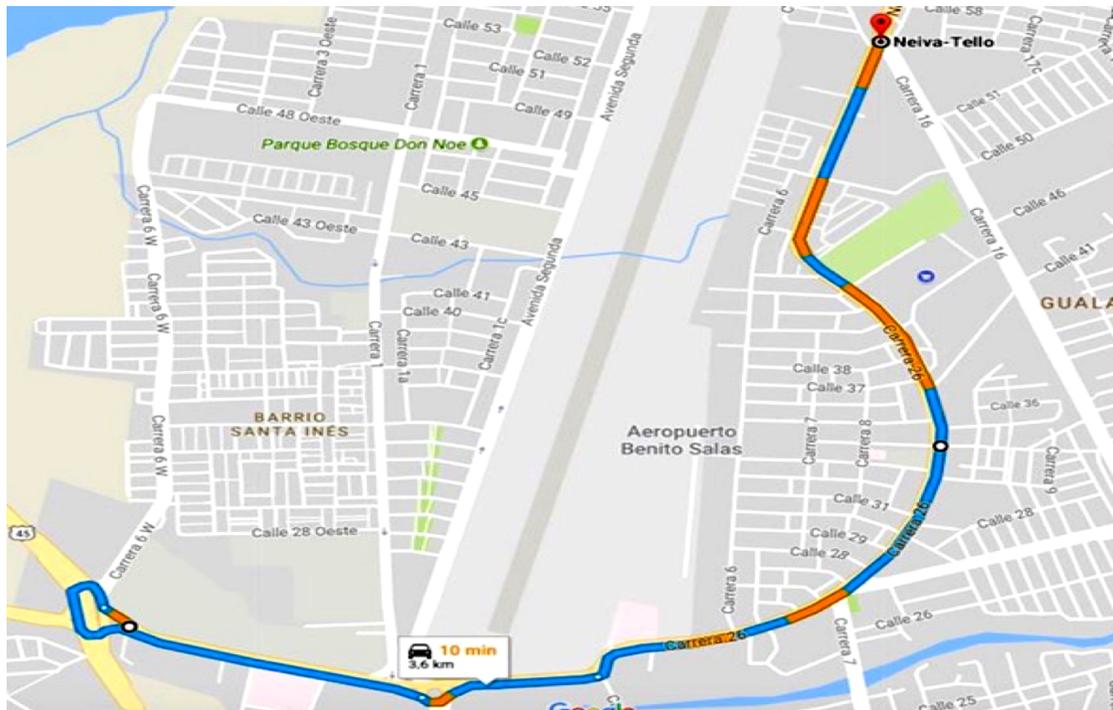


Figura 4-5. Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Maps. (2017).

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo (2006 – 2010) el tamaño demográfico de Neiva la clasifica como una ciudad intermedia, idónea para implementar un Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), y convertirla en una ciudad competitiva, eficiente y equitativa, que permita a los ciudadanos tener oportunidades seguras de movilidad, bajo principios de economía según el principio de ciudades amables, que persigue el gobierno de Colombia.

### 4.3.2 EI SETP

Sistemas Estratégico de Transporte Público, más conocido por su sigla "SETP", corresponde a la estrategia de Ciudades Inteligentes, consignada en el Plan Nacional de Desarrollo. Se definen como sistemas basados en la operación organizada y moderna del

transporte público y colectivo, que buscan reducir el número de viajes y conservar los centros históricos, promoviendo la formalidad empresarial. También contribuyen a asegurar el control efectivo de operación y facilitar la movilidad de la ciudad, para la recuperación y renovación de las ciudades colombianas. (Dpto. Nal de Planeacion, 2010).

### **4.3.3 Principales componentes de los SETP**

De acuerdo con los pilares fundamentales, expuestos anteriormente y tomando como guía los diseños recomendados para otros SETP del país (Pasto, Neiva, Santa Marta, Armenia, entre otros), a continuación, se presentan los principales componentes de los SETP para la operación, los sistemas de soporte y el esquema institucional. (Avante, 2018).

Operación:

1. Caracterización del sistema de rutas
2. Esquemas de integración
3. Tipología del material rodante
4. Infraestructura y equipamientos urbanos
5. Prioridad en el uso de la infraestructura
6. Directrices generales, que seguir en materia de construcción de obras civiles.
7. Componentes mínimos para la operación
8. Componentes complementarios, que permiten el acceso de los usuarios al sistema.
9. Componentes complementarios, que permiten la permanencia y movilidad de los usuarios en el sistema. (Avante, 2018).

✓ Sistemas de soporte:

1. Sistema de recaudo centralizado
2. Sistema de gestión de flota
3. Sistema de gestión y administración del tráfico

✓ Esquema institucional

1. Esquema de participación público – privada.
2. Relaciones, funciones y riesgos, entre los diferentes actores, que participan del SETP

Por otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo y el documento CONPES, establecen

estrategias y políticas estratégicas de ciudades amables, dentro de lo que se destacan las siguientes:

1. Transporte público de calidad como eje estructurados de la movilidad
2. Movilidad como potenciador del desarrollo regional
3. Sistemas Inteligentes de Transporte
4. Seguridad Vial
5. Logística para la competitividad
6. Fortalecimiento de la supervisión

#### **4.3.4 Antecedentes del SETP, en Neiva.**

Los siguientes aspectos, son los lineamientos, que se han seguido para la estructuración del SETP, en el Municipio de Neiva, según estudios realizados, por SETP Transfederal S.A.S, que actualmente es el Sistema de Transporte Público de Neiva:

- Caracterización de la Movilidad del Municipio De Neiva, Componente de Tránsito. 2007.
- Caracterización de la Movilidad del Municipio De Neiva. Fase I. Componente de Transporte. 2007.
- Diseño Conceptual del SETP de Neiva – 2008.
- Red semafórica de la ciudad de Neiva – 2008.
- Actualización del Componente Técnico del Estudio del SETP, de la Ciudad de Neiva – 2011.
- Actualización del estudio técnico del SETP de Neiva, Componente técnico de reorganización de rutas – 2012.
- El Consejo Superior de Política Fiscal CONFIS, en sesión del 11 de julio de 2013.
- CONPES 3756 del 2 agosto de 2013.
- Declaración de importancia estratégica del proyecto, Sistema Estratégico de Transporte Público del Municipio Neiva.

*Tabla 4-1 Características Técnicas del SETP*

| <b>Ítem</b>                       | <b>Metafísica</b>      |
|-----------------------------------|------------------------|
| Construcción Total                | 50.5 km                |
| Rehabilitación Incluyendo Andenes | 26.2 km                |
| Intercambiadores viales           | 2 unidades             |
| Patios Talleres                   | 5 patios/Talleres      |
| Urbanismo                         | 58.6 km/carril         |
| Terminales                        | 5 terminales           |
| Carril Prioritario Simple         | 9.3 km/Carril          |
| CISC (PAC)                        | 4 CICS                 |
| Andenes                           | 4.2 km/Anden           |
| Peatonalización                   | 1.4 km                 |
| Semaforización                    | 1 sistema Centralizado |
| Gestión de la flota               | 1 sistema de Control   |

Fuente: Alcaldía de Neiva.

- Convenio de cofinanciación, para el Sistema Estratégico de Transporte Público del Municipio Neiva.
- CONPES 3833. Seguimiento a los Sistemas de Transporte Público (SITM – SETP). Ajuste del perfil de aportes y recomposición de componentes.
- CONPES 3896 del 22 de agosto de 2017. Seguimiento de la Política Nacional de Transporte Urbano y Masivo: Lineamientos para la Redistribución de Componentes Cofinanciables de los SETP.

#### **4.3.5 Situación de los componentes del sistema estratégico de transporte público SETP del municipio de Neiva.**

Según el Documento CONPES 3833 DNP, desde el punto de vista operacional, se establece un reordenamiento de la totalidad de las rutas existentes, de acuerdo con la intención de viaje de los usuarios y las necesidades creadas con el desarrollo urbanístico, logrando una mayor accesibilidad y una cobertura del 100% de las necesidades de viaje en transporte público colectivo.

El SETP de Neiva, fue diseñado bajo principios de eficiencia y sostenibilidad, de manera que el servicio al usuario mejore, como consecuencia de una moderna y óptima

estructura empresarial de los operadores, una eficaz regulación del servicio y una mayor capacidad. La adquisición, la operación, el mantenimiento y la dotación de equipos se realizarán a través del sector privado, mientras que el sector público, realizará la inversión en infraestructura y tiene a su cargo la planificación, regulación y control del Sistema. (SETP transfederal, 2017)

### Estado del componente de infraestructura del SETP de Neiva

Es importante resaltar que en el 2018 FASE I, se ha realizado la construcción de Vías y Obras Complementarias, en el Marco de la Implementación del SETP de la Ciudad De Neiva. La Figura 4-6 muestra el avance de las obras en algunos sectores.



Figura 4-6. Avances en infraestructura 2018 Fuente: SETP. Transfederal

Por otra parte, hay que destacar que no solo las vías han sufrido un cambio drástico sino andenes y demás infraestructura complementaria, han sido estructurados acorde a las necesidades y requerimientos del SETP. Tal como se muestra: (Ver Figura 4-7).



*Figura 4-7 Avances en infraestructura 2018. Fuente: SETP. Transfederal*

De acuerdo, con las proyecciones de crecimiento, de la población del Municipio de Neiva, se espera que el Sistema en su operación, presente un incremento significativo, en el número de viajes de transporte público al día. Además, se espera que los usuarios del SETP, aumenten considerablemente, como producto de la eficiencia del sistema y que, por lo tanto, capture la demanda, que hoy se moviliza en otros modos de transporte y en medios informales. Por lo tanto, la propuesta de nuevas rutas debe estar siempre sujeta a la verificación de la sostenibilidad financiera del SETP. (DNP, 2018).

– **Infraestructura**

A continuación, se muestra un plano de obras realizadas, con base en el CONPES en el cual se muestra el estado de SETP, en la ciudad de Neiva. (Ver Figura 4-8, Figura 4-9 y Figura 4-10).

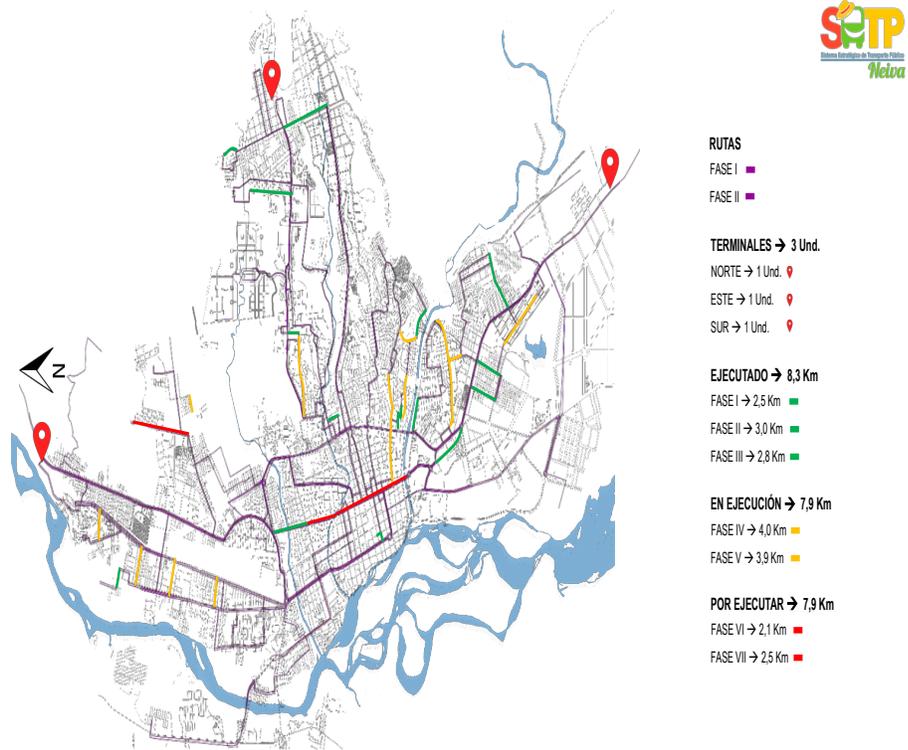


Figura 4-8. Plano de obras del CONPES. Fuente: SETP. Transfederal



Figura 4-9. Plano de obras del CONPES. Fuente: SETP. Transfederal

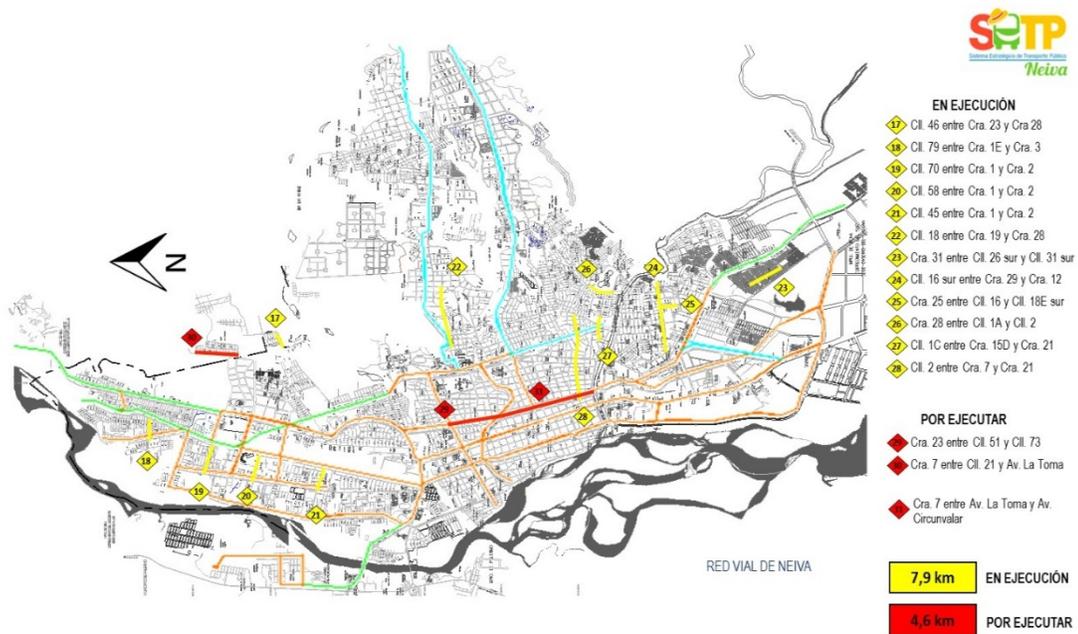


Figura 4-10. Plano de obras del CONPES. Fuente: SETP. Transfederal

La infraestructura propuesta para desarrollar el sistema SETP es:

- Sistema vial: aproximadamente 50.5 km de construcción de nuevas vías; 26.2 km de rehabilitación incluyendo andenes, 9.3 Km/Carril prioritario simple, 1.7 Km/Carril prioritario, con rehabilitación, andenes 4.2 Km/Andén, 1.4 km de peatonalización.
- Obras de infraestructura prioritarias: construcción del intercambiado vial sobre la Avenida la Toma, Con Carrera 16, Figura 4-11 y Figura 4-12

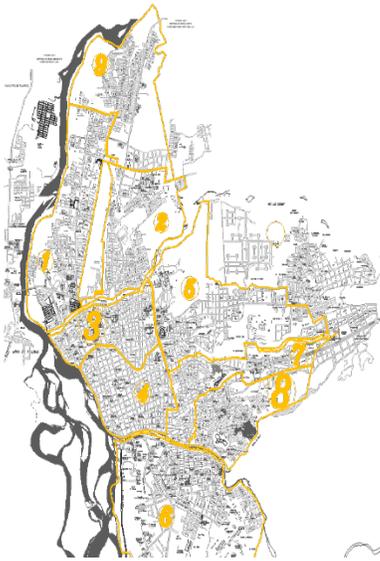


Figura 4-11. Avances en infraestructura 2018. Fuente: SETP. Transfederal

|                                |  |  |   |
|--------------------------------|--|--|---|
|                                | <b>OBJETO:</b>                                   | Construcción del Intercambiador y solución peatonal Universidad Surcolombiana Municipio de Neiva – Departamento del Huila, en el Marco de la Implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público. |   |
|                                | <b>CONTRATISTA:</b>                              | CONSORCIO INTERCAMBIADOR USCO – OBRA   | <b>INTERVENTOR:</b> CONSORCIO INTERCAMBIADOR USCO – INTERVENTORIA   |
|                                | <b>Cto. N° / FECHA:</b>                          | Contrato No. 003 del 15 / Enero / 2016   | Contrato No. 001 del 08 / Enero / 2016  |
|                                | <b>ACTA DE INICIO:</b>                           | Etapa A (Ajuste de estudios) - 15/Febrero/2016<br>Etapa B (Construcción) - 23/Enero/2018   | Etapa A (Ajuste de estudios) - 11/Febrero/2016<br>Etapa B (Construcción) - 23/Enero/2018                                      |
|                                | <b>PLAZO INICIAL:</b>                            | Dieciocho (18) meses.<br>Dos (2) meses – Ajuste de estudios y diseños [Etapa A].<br>Dieciséis (16) meses – Construcción [Etapa B]  | Diecinueve (19) Meses<br>Dos (2) Meses – Ajuste de estudios y D. [Etapa A].<br>Diecisiete (17) Meses - Construcción [Etapa B] |
|                                | <b>PRORROGAS*:</b>                               | Dos (2) Meses y quince (15) días   | Dos (2) Mese y veinte (20) días   |
|                                | <b>SUSPENSIONES*:</b>                            | Ocho (8) Meses.  | Ocho (8) Meses.   |
|                                | <b>FECHA FINALIZACIÓN:</b>                       | Etapa A - 6/Diciembre/2017<br>Etapa B - 22/Mayo/2019   | Etapa A - 6/Diciembre/2017<br>Etapa B - 19/Junio/2019   |
|                                | <b>VALOR INICIAL:</b>                            | \$ 27.231.992.823  | \$ 1.945.087.687  |
|                                | <b>ADICIONES*:</b>                               | \$ N/A   | \$ N/A  |
| <b>VALOR TOTAL:</b>            | \$ 27.231.992.823                                | \$ 1.945.087.687   |   |
| <b>% EJECUCIÓN FINANCIERA:</b> | 0 % Etapa B                                      | 0 % Etapa A<br>0 % Etapa B   |   |
| <b>% EJECUCIÓN FÍSICA:</b>     | 5 % Construcción                                 |  |   |
| <b>OBSERVACIONES:</b>          | Excavación de los estribos del puente principal. |  |   |

Figura 4-12. Construcción infraestructura intercambiador. Fuente: SETP. Transfederal

Un intercambiador vial en la intersección de la Carrera 16 entre calles 7ª y 8ª y el intercambiador vial de la Universidad Surcolombiana en la intersección de la Carrera 2ª con Avenida 26, dentro del cual se incluye, la vía objeto del presente estudio y es de gran importancia, porque se ubica sobre la principal red de acceso a la ciudad. Esta infraestructura, además, a través de un paso semi-elevado, conecta el centro y norte de la

ciudad de manera independiente, está conectado a la glorieta y el paso a desnivel, garantiza el flujo vehicular de la Avenida 26.

Las restantes vías se encuentran en un nivel de servicio adecuado para la operación del sistema:

- (i) Obras de urbanismo, estimado en 58.6 km/carril, donde se contempla la construcción de equipamiento urbano, como paraderos, canecas y bancas en concreto.
- (ii) Cinco (5) patios/taller (o aquellos definidos, en un estudio operacional de detalle) cinco (5) terminales de ruta.
- (iii) Cuatro (4) CISC (Centros Integrados de Servicio al Ciudadano).
- (iv) Un (1) Sistema Centralizado de Semaforización.
- (v) Obras de Señalética (incluye señalización horizontal y vertical, en sitios de ascenso y descenso de pasajeros, así como la información al usuario). (Steer Davis , 2011)

#### – **Equipamientos**

En el sector se ubican los siguientes equipamientos que son de gran importancia para la ciudad.

- a. El Batallón Tenerife, pieza clave de la historia de la ciudad por su hermosa arquitectura y considerado patrimonio del departamento del Huila.
- b. El estadio Guillermo Plazas Alcid equipamiento que hace parte de la red de estadios del país.
- c. El sector salud, hospital universitario y nueva unidad maternal, equipamientos de gran importancia para la ciudad.
- d. La estación de Tren que actualmente es un punto de interés turístico y un sitio histórico de la ciudad.
- e. Las bodegas del tren como elementos a conservación y, a futuro, nuevos puntos de interés para turistas y la ciudad en general.
- f. Universidad Surcolombiana.

#### – **Usos del suelo y ocupación**

El área de intervención presenta una mixtura de usos representados en diferentes tipos de actividades. De norte a sur, el sector empieza por una zona residencial de viviendas unifamiliares tipo 3, al pasar el río Las Ceibas, a lado occidental continúa un sector barrial de vivienda unifamiliar, similar al del sector norte; en el sector oriental se ubica el complejo dotacional del batallón Tenerife y la novena brigada, en el sector occidental, continúa zona comercial, dotacional (policía), comercial importante como es el Colegio Santa Librada; al llegar a la quebrada la Toma, un sector comercial sobre esta importante avenida y al lado occidental, se encuentra el sector dotacional del hospital universitario y al lado oriental una extensa zona residencial; y para finalizar sobre el lado occidental, una amplia zona comercial y sobre el borde de la avenida 26, está dispuesta una zona dotacional recreativa.

#### – **Transporte**

En la actualidad, la avenida 26 y sus alrededores presenta altos servicios de transporte público para el cual se utilizan diferentes modos, consecuencia de la mezcla de usos y escalas utilizados a través de todo el sector. Existe una amplia variedad de buses de transporte público, tráfico pesado local, transporte privado, ya sea carro o moto, transporte en bicicletas y peatones.

#### – **Propuesta de usos de suelo**

En cuanto a la nueva propuesta de usos del suelo, de norte a sur, las áreas residenciales, tendrán la necesidad de aumentar su densidad, del lado oriental los terrenos del batallón y la novena brigada pasarán a ser parte de una reserva natural y quedará una pequeña parte del batallón, principalmente donde se encuentran los edificios de conservación. En la zona occidental el lote, en el cual hoy se encuentra el colegio Santa Librada, será dividido en dos sectores, en un parque natural y una zona para un equipamiento de gran escala. La parte oriental, se consolidará como un gran complejo deportivo para la ciudad utilizando terrenos del batallón y manzanas aledañas. Y el resto de las zonas residenciales, se le aplicará la misma estrategia de aumentar la densidad.



Figura 4-13. Beneficios y retos del SETP en Neiva- Fuente. Alcaldía Neiva

#### 4.4 Diagnóstico de Transporte

Con el fin de llevar a cabo el análisis de la operación de la infraestructura vial del municipio de Neiva y describir la situación actual de los corredores viales e intersecciones considerando la capacidad y el nivel de servicio, se aplica un modelo de simulación utilizando software PTV Vissim. Este programa es un potente y versátil software de simulación, aplicable a una amplia gama de tareas de planeamiento y modelamiento de tráfico, que acepta toda clase de redes de viales, desde autopistas hasta calles de centros de las ciudades, y puede analizar redes multimodales, de áreas extensas con gran detalle y fidelidad. Además, permite simular el comportamiento de sistemas de tráfico complejos, con el fin de ilustrar la circulación de tráfico, la operación semafórica, y el funcionamiento conjunto de la red.

#### 4.5 Concepto de Capacidad y Niveles de Servicio

Capacidad es el máximo número de peatones o vehículos que pasan por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período de tiempo dado (generalmente de una (1) hora dividida en períodos continuos de 15 minutos), en condiciones imperantes de vía, el tránsito y los dispositivos de control.

El Nivel de Servicio es entendido como una medida cualitativa que describe las condiciones de circulación de un flujo vehicular, caracterizada generalmente por ciertos parámetros como velocidad y tiempo de recorrido, libertad para maniobrar, interrupciones de la circulación, comodidad y seguridad. (Ver Tabla 4-2 y Tabla 4-3).

Tabla 4-2. Niveles de Servicio vehicular en troncos viales

| Densidad ( $\frac{veh}{km/carril}$ ) | Nivel de Servicio |
|--------------------------------------|-------------------|
| 0 - 7                                | A                 |
| >7 - 11                              | B                 |
| >11 - 16                             | C                 |
| >16 - 22                             | D                 |
| >22 - 28                             | E                 |
| > 28                                 | F                 |

Fuente: Elaboración Propia en base al Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000).

Tabla 4-3. Niveles de Servicio vehicular en intersecciones

| Demoras ( $\frac{seg}{veh}$ ) | Nivel de Servicio |
|-------------------------------|-------------------|
| 0 - 10                        | A                 |
| >10 - 20                      | B                 |
| >20 - 35                      | C                 |
| >35 - 55                      | D                 |
| >55 - 80                      | E                 |
| >80                           | F                 |

Fuente: Elaboración Propia en base al Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000).

– **Entrada de Datos**

Una vez construida la red, mediante los recursos gráficos del software, se usan como datos de entrada los resultados de los conteos de tránsito vehicular (Ver Tabla 4-4). Esta información considera los volúmenes de tránsito más desfavorables de demanda, por tanto, se adopta la hora pico de máxima demanda vehicular.

Para cada uno de los tramos viales a modelar, se procedió a asignar los volúmenes de tránsito entre los distintos orígenes y destinos, este proceso se repitió para cada tipo de vehículo (Autos, Buses, Camiones y Motos) en la hora pico establecido.

Tabla 4-4 Conteos de Tránsito Vehicular

| Intersección   | Movimiento | Volumen observado |
|----------------|------------|-------------------|
| CRA 7 X CLL 26 | 1          | 711               |

| <b>Intersección</b>    | <b>Movimiento</b> | <b>Volumen observado</b> |
|------------------------|-------------------|--------------------------|
|                        | 5                 | 950                      |
|                        | 2                 | 1,182                    |
|                        | 9(2)              | 585                      |
|                        | 8                 | 420                      |
|                        | 9(4)              | 1,184                    |
| <b>CRA 26 X CRA 16</b> | 1                 | 1,593                    |
|                        | 5                 | 387                      |
|                        | 2                 | 1,906                    |
|                        | 9(2)              | 34                       |
|                        | 8                 | 269                      |
|                        | 9(4)              | 86                       |
| <b>CLL 26 X CRA 2</b>  | 1                 | 971                      |
|                        | 5                 | 310                      |
|                        | 2                 | 2,050                    |
|                        | 9(2)              | 890                      |
|                        | 4                 | 1,424                    |
|                        | 9(4)              | 300                      |

*Fuente: Elaboración Propia*

#### – **Calibración del modelo**

Una vez realizada la entrada de información de los elementos que conforman la parte de infraestructura del modelo de simulación correspondiente a la geometría, se procedió a ingresar las variables de tránsito conocidas (Volúmenes de Tránsito, Velocidades y Dispositivos de Control), para que de esta forma el modelo quede completo y a continuación se pueda proceder a realizar la calibración de los resultados que se obtienen del modelo de simulación de tránsito, la calibración se hace con el fin de verificar que realmente el modelo se encuentre representando de una forma lo suficientemente precisa lo que ocurre en la zona de estudio analizada.

En el proceso de calibración se verifica si el modelo propuesto representa el comportamiento del sistema que se está estudiando, es decir, se puede usar para inferir el comportamiento del tránsito dentro de la zona de estudio.

La calibración consiste en comparar los resultados de salida del modelo con los datos de entrada que fueron recopilados en la fase primaria y secundaria de la información. Aquí, es importante mencionar que existe una probabilidad en la modificación del comportamiento futuro.

El modelo se debe validar, para que no suceda ninguna de las siguientes causas:

- El modelo utilizado, pudo no haber captado todas las limitaciones del problema real.
- Ciertos aspectos del problema pueden haberse pasado por alto, omitido deliberadamente o simplificado.
- Los datos pueden haberse estimado o registrado incorrectamente, tal vez al introducirlos en el modelo.

En modelo propuesto, se ha realizado la calibración de la información considerando los volúmenes de tránsito, que se han registrado a lo largo de la zona de estudio para un periodo temporal.

Para realizar la calibración del modelo, se tuvo en cuenta el método del GEH estadístico, que es un indicador de calibración de redes, usado en la ingeniería de tránsito desarrollado por Geoffrey E. Havers (A quien le debe su nombre) en la década de 1970, permite comparar dos conjuntos de volúmenes de tránsito y utiliza la siguiente expresión matemática:

$$GEH = \sqrt{\frac{2 (M - C)^2}{M + C}}$$

Dónde:

M: Trafico Horario del modelo de simulación

C: Trafico Horario real

A pesar de la similitud con la expresión utilizada para calcular el estadístico Chi-Cuadrado, no es en sí una prueba estadística verdadera, sino, es un planteamiento empírico que funciona bien para ciertos propósitos en el análisis de tránsito. Usando el GEH

se evita el uso de porcentajes simples para comparar los volúmenes que pueden dar como resultado una comparación errónea de los dos conjuntos de volúmenes ya que los volúmenes reales tienen una variación considerable a lo largo del año e incluso a lo largo de un día cualquiera.

El indicador GEH reduce este problema al ser no-lineal, así, un solo umbral puede ser usado en una alta gama de volúmenes de tránsito, para el caso específico del Año Base o la Situación Actual en este caso, un GEH de 4, es un buen indicador de que la modelación y sus posteriores resultados, son aceptables a lo que está ocurriendo en realidad. Si por el contrario el GEH, es superior a 10 es probable que se deba realizar el modelo en su totalidad, ya que presenta variaciones significativas entre los datos reales y los de la simulación.

El GEH presenta varias aplicaciones importantes que fueron clave para escoger este indicador para la calibración del modelo:

- La comparación de los conteos manuales con unos conteos automatizados (Cámaras con software especializado) en un punto dado.
- La comparación de volúmenes de tránsito aforados en un mismo punto en años diferentes
- La comparación de volúmenes reales con los ingresados para una modelación de prevención de demandas en el Año Base.

La calibración se hace comparando los vehículos aforados en su totalidad con los que resultan del programa después de realizada la simulación, estos resultados dependen en gran medida de la geometría de la vía y de los dispositivos de control, por ello es necesario revisar que los datos de entrada se hayan ingresado de forma correcta y que todas las características del modelo estén bien definidas.

El método GEH plantea cuatro parámetros de calibración distintos que son presentados a continuación y que fueron tenidos en cuenta en su totalidad para el modelo de análisis.

- Parámetro 1: El valor de GEH esté por debajo de 4,0 para el arco o segmento analizado.
- Parámetro 2: Si el volumen vehicular observado es menor a 700 vehículos/hora, la diferencia con el volumen modelado no supere los 100 vehículos/hora

- Parámetro 3: Si el volumen vehicular se encuentra entre 700 y 2.700 vehículos/hora la diferencia entre los dos volúmenes no debe superar el 15%.
- Parámetro 4: Si el volumen vehicular supera los 2.700 vehículos/hora la diferencia entre el volumen aforado y el modelado no debe superar los 400 vehículos.

Estos cuatros parámetros, permiten el uso de cuatro modelos que calibran por separado el modelo de simulación. Para que el modelo en su totalidad, este calibrado se debe cumplir con la condición de que al menos dos modelos de calibración cumplan y así darle un margen de confianza a los resultados, que el programa arroje. Las condiciones que se deben cumplir, para los cuatros modelos de calibración se plantean a continuación.

- Modelo 1: Este modelo para estar calibrado, requiere que el parámetro 2, 3 y 4 estén por encima del 85% de aceptación de todos los arcos que se estén calibrando, si no cumple alguno de los parámetros, el modelo no estará calibrado por este modelo.
- Modelo 2: Este modelo plantea que el error de precisión debe estar por debajo del 5% para que este se encuentre calibrado.
- Modelo 3: Este modelo plantea que el GEH calculado para el parámetro 1 se encuentre aceptado para más del 85% de los casos.
- Modelo 4: Este modelo plantea que el GEH de todo el modelo no debe superar el valor de 4,0 para estar calibrado.

No es necesario cumplir con los 4 modelos, para aceptar que el modelo esta calibrado, sin embargo, si debe cumplir con al menos 2 modelos, para tener seguridad y precisión a la hora de aceptar los resultados, que suministra el programa.

Los resultados obtenidos de la calibración en periodo de hora pico, muestran que el modelo planteado es correcto y preciso en la medida porque representa la realidad a pesar de que pueden existir errores. Los valores que cumplan el parámetro dado aparecerán con el valor de "1", los que por el contrario no lo cumplan aparecerán con un valor de "0". Si el parámetro no involucra el arco analizado aparecerá un "-" en el recuadro correspondiente. El proceso de calibración se realiza en la Hora de Máxima Demanda (HMD), la cual está para el periodo de la mañana entre las 08:00 y las 09:00. Como se puede apreciar en la Tabla 4-5, los resultados muestran que los movimientos dentro de la intersección están

calibrados debido a que presentan un valor de GEH inferior a 4, encontrándose cercanos al valor de aceptación. (Ver Tabla 3-3).

Tabla 4-5 .Calibración de volúmenes horarios de máxima demanda

| No.             | INTERSECCION    | MOVIMIENTO | VOLUMEN OBSERVADO | VOLUMEN MODELADO | CALIBRACIÓN GEH |                                     | CALIBRACIÓN FLUJOS           |                     |                     |
|-----------------|-----------------|------------|-------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|
|                 |                 |            |                   |                  | GEH             | ACEPTACIÓN                          | INT. 1                       | INT. 2              | INT. 3              |
| 1               | CRA 7 X CLL 26  | 1          | 711               | 1,168            | 14.9            | 0                                   | -                            | 0                   | -                   |
| 2               |                 | 5          | 950               | 508              | 16.4            | 0                                   | -                            | 0                   | -                   |
| 3               |                 | 2          | 1,182             | 1,044            | 4.1             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 4               |                 | 9(2)       | 585               | 509              | 3.2             | 1                                   | -                            | -                   | -                   |
| 5               |                 | 8          | 420               | 372              | 2.4             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
| 6               |                 | 9(4)       | 1,184             | 1,048            | 4.1             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 7               | CRA 26 X CRA 16 | 1          | 1,593             | 1,432            | 4.1             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 8               |                 | 5          | 387               | 404              | 0.9             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
| 9               |                 | 2          | 1,906             | 1,814            | 2.1             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 10              |                 | 9(2)       | 34                | 66               | 4.5             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
| 11              |                 | 8          | 269               | 309              | 2.4             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
| 12              |                 | 9(4)       | 86                | 91               | 0.5             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
| 13              | CLL 26 X CRA 2  | 1          | 971               | 1,219            | 7.5             | 0                                   | -                            | 0                   | -                   |
| 14              |                 | 5          | 310               | 309              | 0.1             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
| 15              |                 | 2          | 2,050             | 1,872            | 4.0             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 16              |                 | 9(2)       | 890               | 964              | 2.4             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 17              |                 | 4          | 1,424             | 1,384            | 1.1             | 1                                   | -                            | 1                   | -                   |
| 18              |                 | 9(4)       | 300               | 346              | 2.6             | 1                                   | 1                            | -                   | -                   |
|                 |                 |            | 15,252            | 14,859           | 3.2             | 83%                                 | 100%                         | 70%                 | -                   |
|                 |                 |            | TOTAL OBSERVADO   | TOTAL MODELADO   | GEH             | % ACEPTACIÓN                        | % ACEPTACIÓN INT. 1          | % ACEPTACIÓN INT. 2 | % ACEPTACIÓN INT. 3 |
|                 |                 |            | 3%                |                  |                 | 1                                   | Flujos de arcos individuales |                     |                     |
| ERROR PRECISIÓN |                 |            |                   |                  | 2               | Suma de todos los flujos por arco   |                              |                     |                     |
|                 |                 |            |                   |                  | 3               | GEH para flujos por arco individual |                              |                     |                     |
|                 |                 |            |                   |                  | 4               | GEH para suma sobre flujos de arco  |                              |                     |                     |

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos, se puede concluir que el modelo se encuentra calibrado y puede usarse para simular la situación.

– **Indicadores particulares de desempeño**

Una vez alimentado el modelo de simulación microscopía, se procede a caracterizar la red de simulación (Ver Figura 4-14).



Figura 4-14 Red de Simulación. Fuente: Elaboración propia utilizando PTV Vissim

A continuación, se presentan los indicadores de operación, obtenidos a partir del modelo de simulación microscópica. (Ver Tabla 4-6).

Tabla 4-6. Indicadores generales de Desempeño

| <b>Desempeño General de la Red</b>   |       |
|--------------------------------------|-------|
| Densidad promedio de la red (Veh/Km) | 43.49 |
| Nivel de servicio                    | F     |
| Velocidad Promedio (km/h)            | 52.7  |

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los índices particulares a evaluar, se tuvo en cuenta las longitudes de cola y demoras, que se presentan por nodo o intersección, los cuales se indican a continuación: (Ver Tabla 4-7, Tabla 4-8 y Tabla 4-9).

*Tabla 4-7 .Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 2*

| Indicador                              | Calle 26 x Carrera 2 |            |             |              |
|--|----------------------|------------|-------------|--------------|
|  | Acceso Norte         | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
| Demora Promedio Intersección (seg/veh) | 35                   |            |             |              |
| Nivel de Servicio                      | D                    |            |             |              |
| Demora Promedio Acceso (seg/veh)       | NA                   | 61.5       | 6           | 42           |
| Nivel de Servicio                      | NA                   | F          | A           | E            |
| Cola promedio (m)                      | NA                   | 155        | 0           | 209          |
| Cola máxima (m)                        | NA                   | 210        | 0           | 512          |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 4-8. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 7*

| Indicador                              | Calle 26 x Carrera 7 |            |             |              |
|--|----------------------|------------|-------------|--------------|
|  | Acceso Norte         | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
| Demora Promedio Intersección (seg/veh) | 58.7                 |            |             |              |
| Nivel de Servicio                      | E                    |            |             |              |
| Demora Promedio Acceso (seg/veh)       | NA                   | 119        | 32.5        | 27           |
| Nivel de Servicio                      | NA                   | F          | C           | C            |
| Cola promedio (m)                      | NA                   | 94         | 30.7        | 40           |
| Cola máxima (m)                        | NA                   | 170        | 93          | 158          |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 4-9. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 2

| Indicador                              | Carrera 26 x Carrera 16 |            |             |              |
|--|-------------------------|------------|-------------|--------------|
|  | Acceso Norte            | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
| Demora Promedio Intersección (seg/veh) | 49.6                    |            |             |              |
| Nivel de Servicio                      | D                       |            |             |              |
| Demora Promedio Acceso (seg/veh)       | 53                      | 47         | 39          | NA           |
| Nivel de Servicio                      | D                       | D          | D           | NA           |
| Cola promedio (m)                      | 100                     | 107        | 8           | NA           |
| Cola máxima (m)                        | 322                     | 392        | 28          | NA           |

Fuente: Elaboración propia

– **Diagnóstico Ambiental**

En relación a las emisiones, en la Tabla 4-10 se indica la cantidad de contaminantes emitido a la atmosfera.

Tabla 4-10. Emisiones contaminantes

| CO <sub>2</sub> | NOX        | PM10       |
|-----------------|------------|------------|
| 2256 kg         | 6.007 kg   | 0.476 kg   |
| 2685 kg/h       | 7.150 kg/h | 0.566 kg/h |
| 194.7 g/km      | 0.518 g/km | 0.041 g/km |

Fuente: Elaboración propia Enviver

## Capítulo 5.

### Presentación de estudio de caso

Como consecuencia del incremento exponencial del parque automotor en la ciudad de Neiva durante estos 10 años (Ferran y Peiro, 2008), se ocasiona gran impacto ambiental en materia de emisiones y ruido, siendo estos los principales factores de afectación al medioambiente (Tardieu et al. 2013).

Es por esto por lo que las estrategias ambientales a largo plazo para el sector de transporte requieren de elementos para mitigar los impactos ambientales generados, como la modificación de las infraestructuras en la zona urbana, así como los medios y tipos de transporte, para obtener una disminución del uso de transporte motorizado y reemplazarlo por medios de transporte que requieran menos energía; reduciendo hasta un 10% de las emisiones o más para el 2020 (IPCC, 1996).

#### – Causas

El sector del transporte es uno de los más contaminantes e influyentes para el cambio climático, es por esto por lo que el IPCC aplica guías metodológicas para evaluar a los gases efecto invernadero (GEI) procedentes de esta fuente, catalogada como actividad energética por la quema del combustible. El beneficio que brinda este grupo de expertos es fundamental para el desarrollo de cada nación al implementar nuevos proyectos, pues el impacto negativo de la contaminación que éstos podrían generar, sin una previa evaluación, significaría elevados costos económicos, sociales, políticos, pero principalmente ambientales.

Además, es importante destacar que el diseño del SETP ha tenido avances desde su concepción en el año 2007 hasta la actualidad, se han realizado intervenciones importantes con el objetivo de consolidar parte de la infraestructura propuesta para el desarrollo del sistema. Sin embargo, se resalta la oportunidad de plantear acciones que permitan una mejor operación y prestación de servicio.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y en lo que respecta al caso específico de la ciudad de Neiva y al corredor objeto del presente estudio, se aprecian los siguientes aspectos:

- La demanda de pasajeros, observada en el estudio de frecuencias y ocupación visual, realizado por el plan de manejo ambiental – sistema estratégico de Transporte público de la ciudad de Neiva (Huila) SETP, destaca que ha aumentado en muchos puntos y en otros se ha mantenido constante. Este hecho refleja una gran oportunidad de atracción, de demanda hacia el sistema, ya que algunos usuarios, han migrado a usar modos privados o incluso algunos han sido captados por modos ilegales de transporte; pero el sistema actual, ha mantenido gran parte de la demanda de pasajeros, lo cual indica que existe una mejora en la calidad del servicio y en el cubrimiento.
- Al comparar la demanda de pasajeros con la oferta de sillas ofrecidas por el sistema se hace evidente que la oferta supera la demanda. Esto en primera instancia no muestra una sobreoferta explícita, pues la prestación de un buen servicio implica en muchas ocasiones generar intervalos de despacho de rutas muy poco espaciados, lo que restringe la entrada de modos ilegales de transporte.
- En cuanto a las emisiones es importante destacar que, para el corredor de estudio, aunque tiene zonas de poca congestión, existen tramos altamente urbanizados y por ende muy congestionados, que presentan altos índices de emisión de CO<sub>2</sub> y ruido.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, y/o perturbar el bienestar y el uso de los bienes.

El llamado aire puro en realidad no existe, puesto que hay un intercambio constante de materia entre los seres vivos, la hidrósfera, la atmósfera y la litósfera. Sin embargo, es posible que nunca la contaminación del aire haya sido tan importante como lo es en la actualidad (Flores, 1997).

## **Fuentes de contaminación**

Según McGraw (2009), las fuentes de contaminantes atmosféricas naturales, comprenden las emisiones de contaminantes generados por la actividad natural de la geósfera, biósfera e hidrósfera (McGraw, 2009).

Los contaminantes emitidos por las fuentes atmosféricas naturales se dividen en dos grandes grupos, teniendo como premisa el criterio de si han sido emitidos desde una fuente conocida o se han formado en la atmósfera. Es así como existen contaminantes primarios y secundarios.

### **a) Contaminantes Primarios**

Son sustancias de naturaleza y composición química variada, emitidas directamente a la atmósfera desde distintas fuentes perfectamente identificables. Se incluyen dentro de este grupo al plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC), material particulado (PM), entre otros (McGraw, 2009). (p. 33).

Según McGraw (2009), todos ellos constituyen más del 90 por ciento de los contaminantes del aire.

### **b) Contaminantes Secundarios**

Los contaminantes secundarios, no provienen directamente de los focos emisores, sino que se originan a partir de los contaminantes primarios, mediante reacciones químicas, que tienen lugar en la atmósfera. Entre los más importantes, se encuentran el ozono troposférico (O<sub>3</sub>), nitratos de peroxiacetilo (PAN), sulfatos (SO<sub>4</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), entre otros. (Ver Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Contaminantes secundarios.

| Contaminantes                                     | Características  | Origen   | Evolución en la atmósfera  |
|---|--|--|--|
| Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )             | Gas incoloro, se condensa fácilmente.                                  | Se forma a partir del SO <sub>2</sub>  | Reacciona con el ion hidroxilo y pasa a ácido sulfúrico.               |
| Trióxido de Nitrógeno (NO <sub>3</sub> )          | Gas fácilmente oxidable  | Oxidación del ozono a partir del NO <sub>2</sub>   | Interviene en reacciones fotoquímicas de formación de smog.            |
| Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | Sustancias con un alto poder corrosivo                                 | Productos finales de la oxidación de compuestos atmosféricos que contienen azufre o nitrógeno  | Precipitación como lluvia ácida.                                       |
| Ácido nítrico (H <sub>2</sub> NO <sub>3</sub> )   | Agentes oxidantes  |  |  |
| Ozono Troposférico (O <sub>3</sub> )              | Gas de color azul pálido, irritante y picante. Elevado poder oxidante. | Intrusiones estratosféricas.<br>Erupciones volcánicas. Descargas eléctricas en tormentas.  | Reacciona con otros contaminantes.<br>Componente del smog fotoquímico. |
| Nitratos de peroxiacetilo (PAN)                   | Sustancia de gran poder oxidante.                                      | Fermentaciones.<br>Reacciones fotoquímicas a partir de óxidos de nitrógenos y COV generados por el tráfico urbano.<br>Reacciones fotoquímicas a partir de COV. | Componente del smog fotoquímico.                                       |

Fuente: McGraw. 2009

## **5.1 Escenarios propuestos para mejora e implementación de SETP**

De acuerdo con las causas identificadas previamente, inicialmente se definen los frentes de ejecución, que son: infraestructura, dispositivos de control, usos de suelo y distribución modal, para posteriormente combinarlos y plantear dos escenarios diferentes de evaluación, con el objetivo de estimar el probable impacto de la implementación de SETP; el Escenario 1, plantea la construcción y puesta en funcionamiento del intercambiador de la USCO, instalación de paraderos, la optimización de ciclos semafóricos, cambios urbanísticos sobre el corredor en estudio y que el 10% de los usuarios del transporte privado migren al transporte público, y el Escenario 2, plantea la misma combinación de los diferentes frentes de ejecución, cambiando el escenario de distribución modal, a que el 15% de los usuarios del transporte privado migren al transporte público. Para esto, se van a describir inicialmente cada uno de los frentes de ejecución combinándolos en los escenarios.

### **5.1.1 Infraestructura**

Dentro de la infraestructura del SETP, se contempla la construcción y puesta en funcionamiento del intercambiador de la intersección de la Carrera 2ª con Avenida 26 la Universidad Surcolombiana, denominado Intercambiador USCO (Ver Figura 5-1 y Figura 5-2). El intercambiador mejora la movilidad en la intersección debido a que canaliza el flujo en el paso elevado y el deprimido. Permite movimientos directos de los usuarios sin presencia de semáforos u otros dispositivos de control que produzcan demoras o colas en la intersección.



Figura 5-1 Intercambiador vial de la intersección de la Carrera 2ª con Avenida 26 la Universidad Surcolombiana Fuente: SETP



Figura 5-2 Intercambiador – Red de simulación Fuente: Elaboración propia utilizando PTV Vissim

Además, se prevé la construcción de paraderos y utilización por parte de las rutas del SETP. Para esto, se lleva a cabo el cálculo de la cobertura. La localización de paraderos debe realizarse siguiendo parámetros técnicos bien definidos, dentro de los que se puede enunciarse los siguientes. Según Molineros (2002), la cobertura de una ruta de transporte público muestra la extensión de una red dentro del área o cuenca en la que se presta el servicio, así como el desempeño individual de cada ruta. Se define como el área servida por el sistema de transporte público siendo su unidad de medida el tiempo o la distancia recorrida a pie y que resulta aceptable caminar.

– **Determinación del área de servicio**

Inicialmente, se define cual va a ser el área en la que se presta el servicio y para esto generalmente se considera como cuenca primaria la distancia que puede ser recorrida a pie en cinco minutos ( $\pm 400$  m) desde cualquier parada. La cuenca secundaria define a todos aquellos puntos que se encuentran entre cinco y diez minutos y representa una menor captación de usuarios potenciales. Para el caso de rutas de transporte público que no cuentan con paradas previamente establecidas se utiliza el concepto de una banda de cobertura o cuenca continua.

En el caso de las pendientes, ésta implica una reducción en la distancia que el usuario está dispuesto a caminar. Se puede considerar que, por cada 10 m de diferencia en el nivel del suelo, el usuario tiende a considerar una reducción en la cuenca de servicio de 100 m. Se van a utilizar dos metodologías para el cálculo de la distancia ponderada recorrida por los usuarios (Ver Tabla 5-4):

*Tabla 5-4. Comparación de metodologías*

| <b>Parámetro</b> | <b>Metodología 1</b>       | <b>Metodología 2</b>           |
|------------------|----------------------------|--------------------------------|
| <b>AUTOR</b>     | Labarga, F y Molineros, A. | Texas Transportation Institute |
| <b>AÑO</b>       | 1981                       | 2013                           |
| <b>PAÍS</b>      | España y Latinoamérica     | Estados Unidos                 |

| Parámetro                     | Metodología 1 | Metodología 2  |
|-------------------------------|---------------|--|
| <b>FACTORES DE CORRECCIÓN</b> | Por pendiente | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Por conectividad</li> <li>- Por pendiente</li> <li>- Por características de la población</li> <li>- Por peatones en la vía</li> </ul> |

Fuente: Elaboración propia

La primera metodología es sugerida por Molineros (2002) y Labarga (1981), donde se aplica un factor de corrección relacionado a la distancia recorrida a pie y a las pendientes.

$$d = k * d_h$$

$d$  = Distancia recorrida ponderada, m

$k$  = Factor de corrección debido al gradiente, m

$d_h$  = Distancia con pendiente nula, m

Los valores recomendados para k son: 1,0 cuando el gradiente es 0%, 1,5 cuando el gradiente es 5%, 2,5 cuando el gradiente es 10% y 3,0 cuando el gradiente es 15%.

De acuerdo con el perfil de elevación, el corredor tiene una pendiente de 1.1%. En consecuencia, la distancia con pendiente nula donde se obtiene la mayor cobertura posible es de 365 m. (Ver Tabla 5-6).

Tabla 5-5. Cobertura Metodología 1

|   |     |     |
|---|-----|-----|
| <b>DISTANCIA RECORRIDO PONDERADA (M)</b>        |     | 400 |
| <b>FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO AL GRADIENTE</b> |     | 1.1 |
| <b>DISTANCIA CON PENDIENTE NULA,</b>            | $h$ | 365 |

Fuente: Elaboración propia

La segunda metodología es sugerida por el Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013), donde se establece el radio de cobertura de forma detallada.

$$r_s = r_o f_{sc} f_g f_{pop} f_{px}$$

Donde,

$r_s$  = Radio de cobertura, m

$r_0$  = Radio ideal de cobertura, m (normalmente 400 m)

$f_{sc}$  = Factor de corrección por conectividad

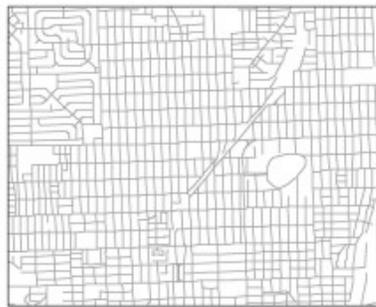
$f_g$  = Factor de corrección por pendiente

$f_{pop}$  = Factor de corrección por las características de la población

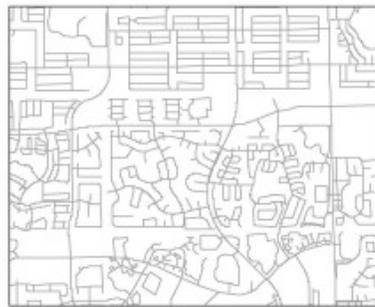
$f_{px}$  = Factor de corrección por peatones en la vía

El factor de corrección por conectividad hace referencia a los patrones de comportamiento de la malla vial (Ver Figura 5-3).

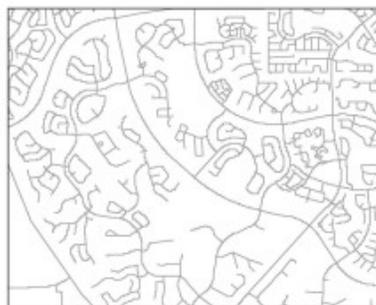
- Tipo 1. Cuadrícula: El sistema tradicional de alta conectividad
- Tipo 2. Híbrido: incorpora elementos del Tipo 1 y Tipo 3.
- Tipo 3. Callejón sin salida: un sistema de poca conectividad



Tipo 1. Cuadrícula



Tipo 2. Híbrido



Tipo 3. Callejon sin Salida

Figura 5-3 Patrones de Comportamiento de la malla vial Fuente: Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013)

Tabla 5-6. Factor de corrección por conectividad

| PATRÓN DE COMPORTAMIENTO | FACTOR DE CORRECCIÓN POR CONECTIVIDAD, <i>sc</i> |
|--------------------------|--|
| Tipo 1                   | 1,00   |
| Tipo 2                   | 0,85   |
| Tipo 3                   | 0,45   |

Fuente: Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013).

El factor de corrección por pendiente establece la relación entre la distancia horizontal y la distancia vertical, dado que aumenta la dificultad de caminata.

A continuación, en la Tabla 5-7, se presenta el Factor de Corrección por pendiente.

Tabla 5-7. Factor de corrección por pendiente

| PENDIENTE | FACTOR DE CORRECCIÓN POR PENDIENTE, |
|-----------|-------------------------------------|
| 0 – 5%    | 1,00                                |
| 6 – 8%    | 0,95                                |
| 9 – 11%   | 0,85                                |
| 12 – 15%  | 0,65                                |

Fuente: Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013)

El factor de corrección, por las características de la población, hace énfasis en la velocidad de caminata de los peatones, por ejemplo, la velocidad de caminata de las personas mayores a 65 años y niños es de 1,0 m/s y la de la demás población en promedio es de 1,2 m/s. Si el 20%, de la población es mayor a 65 años o niños, el factor de corrección (*g*) es de 0,85, en el caso contrario es de 1,0).

Finalmente, el factor de corrección por peatones en la vía hace referencia al tiempo o demora de los peatones en cruzar la calle. (Ver Figura 5-4).

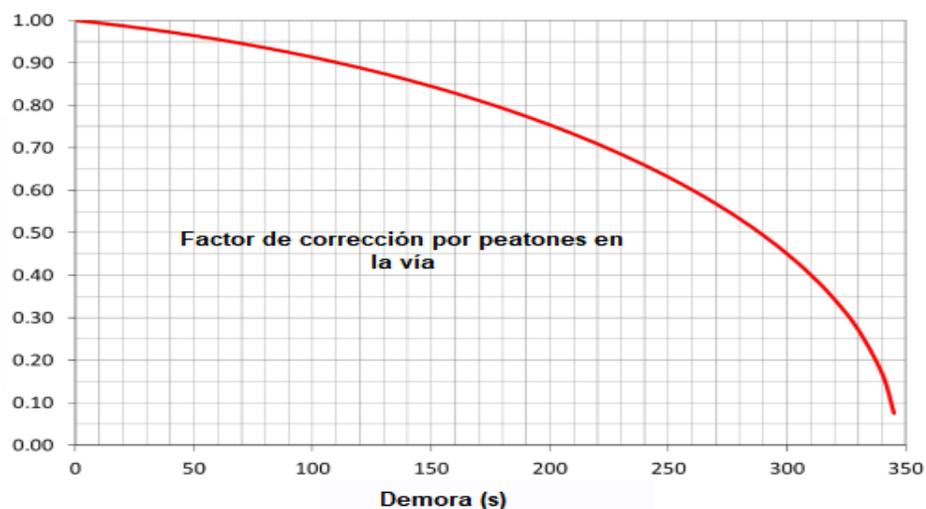


Figura 5-4. Factor de corrección por peatones en la vía. Fuente: Programa de Investigación del Transporte Público (Transit Cooperative Research Program) (2013)

De acuerdo con la conectividad e inclinación de la malla vial y sus características poblacionales, se obtiene que el radio de cobertura máximo es de 340 m (Ver Tabla 5-9).

Tabla 5-8. Cobertura Metodología 2

|   |      |
|---|------|
| <b>RADIO DE COBERTURA (m)</b>                                   | 340  |
| <b>RADIO IDEAL DE COBERTURA</b>                                 | 400  |
| <b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR CONECTIVIDAD</b>                    | 1    |
| <b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR PENDIENTE</b>                       | 1    |
| <b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN</b> | 1    |
| <b>FACTOR DE CORRECCIÓN POR PEATONES EN LA VÍA</b>              | 0,85 |

Fuente: Elaboración propia

Dado que, cada metodología tiene sus ventajas y desventajas, el radio de cobertura será el promedio de los dos resultados obtenidos, es decir, 355 m.

– **Criterios de localización**

Para la localización de los paraderos, se van a seguir los siguientes criterios definidos por el SITP (2011):

- Estar ubicados preferiblemente en lugares donde se faciliten las condiciones de cruce seguro para los usuarios.
- El sitio seleccionado debe permitir una adecuada visibilidad de los paraderos.
- El espacio debe estar libre de obstáculos como cajas o pozos de inspección, bolardos, etc. Si existen, estos obstáculos, deberán ser retirados al momento de instalación.
- En relación con cruces viales semaforizados, los módulos deben ubicarse preferiblemente a una distancia de 30 metros del cruce.
- En cruces no semaforizados, los módulos deben ubicarse preferiblemente a una distancia de 20 metros.
- En el caso de tener que ubicar un paradero en un sitio que colinda con una salida de parqueadero o garaje, el lugar debe preferiblemente escogerse después de la salida, logrando así, no obstruir la visual respecto a otro u otros vehículos que puedan estar circulando en la vía.
- Los andenes deben tener anchos preferiblemente de cuatro (4) metros, logrando mantener por lo menos 1 metro atrás, para el paso peatonal.
- Se debe evitar seleccionar sitios ubicados frente a entidades bancarias, o instituciones financieras, por cuestiones de seguridad.
- Se debe evitar escoger sitios ubicados al lado de tapas de empresas de servicios públicos, porque la parada continua de los buses sobre dichas tapas causa daños prematuros y problemas en la operación, considerando los tiempos que puede demorar la reposición de la misma.
- Deben considerarse las condiciones topográficas, teniendo en cuenta la pendiente de las vías, que, entre más alta, disminuye la interdistancia entre paraderos.
- En zonas de alta pendiente se debe buscar localizar el paradero en zonas de descanso o de menor pendiente. Preferiblemente y si las condiciones topográficas lo permiten, las pendientes no deben superar el 9% en subida y el

12% en bajada. Este es un criterio que está directamente relacionado con la tipología y la potencia del vehículo, por lo que para casos específicos las Direcciones de Seguridad y las áreas de Vehículos de las Direcciones Operativas harán recomendaciones de ubicación en los casos donde se prevea algún tipo de riesgo.

- Debe verificarse la accesibilidad del lugar, la seguridad pública, seguridad física y estado general del sitio.
- En lo posible, los sitios seleccionados deben estar ubicados fuera de curvas horizontales y verticales de la vía, de tal forma que la parada de los buses no se convierta en un obstáculo que impida la adecuada visibilidad de los usuarios de la vía y por tanto en un problema de seguridad vial.
- La ubicación de los paraderos de un sistema de transporte debe contemplar múltiples criterios que están asociados no solamente a los diseños operacionales del Sistema como tal, sino también a todas las características físicas, urbanísticas, de infraestructura, sociales y culturales de la ciudad en donde serán implantados los paraderos.
- Los paraderos del Sistema Integrado de Transporte se podrán implementar en las bahías existentes, siempre que estas cuenten con la morfología adecuada para la aproximación de los buses al paradero, cumplan con la interdistancia entre paradas, y demás requerimientos técnicos establecidos para su ubicación (Ver Figura 5-5).

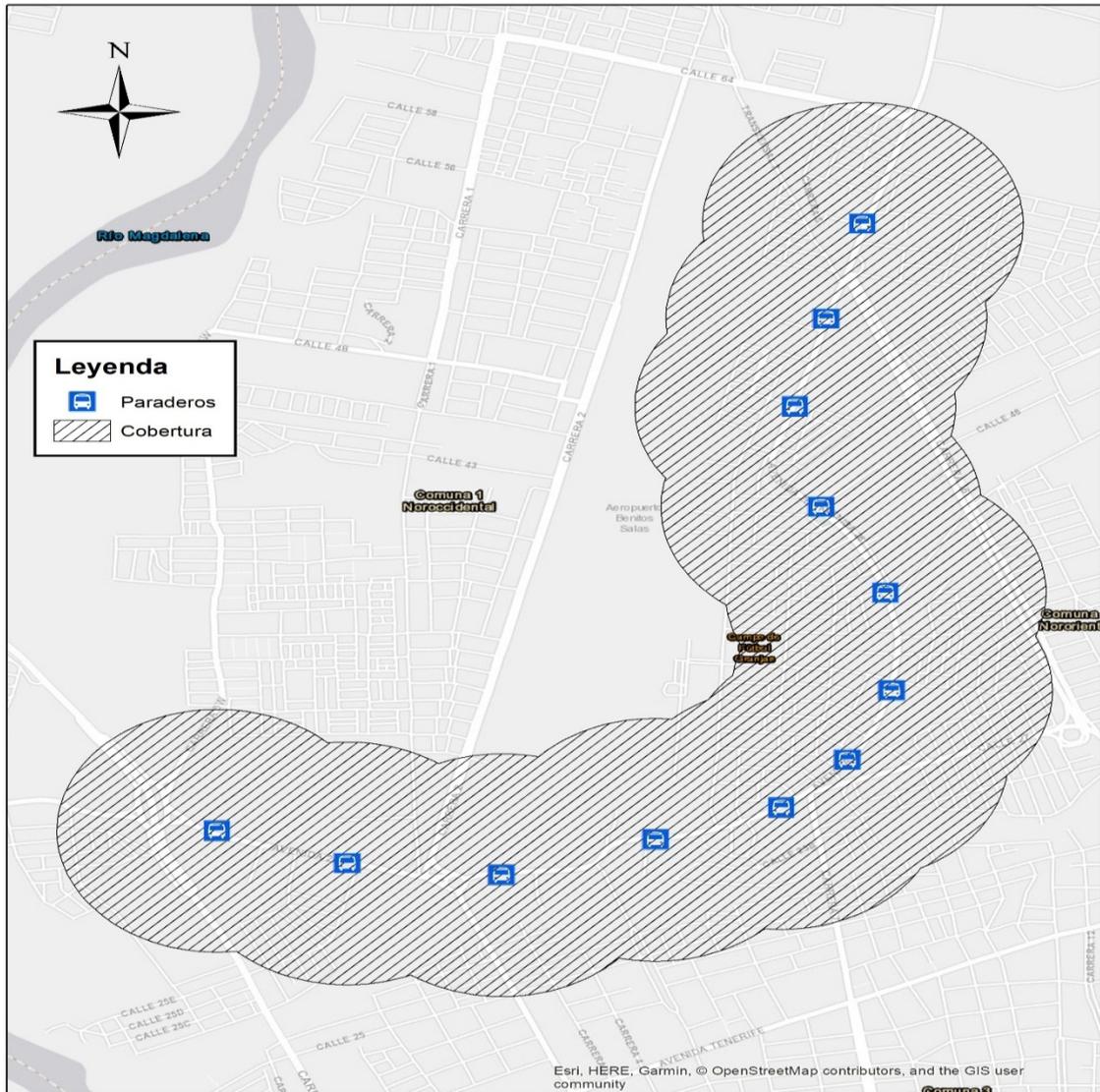


Figura 5-5. Paraderos de Transporte Público Colectivo – Cobertura (355 metros) Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.2 Dispositivos de Control de tránsito

Se optimizaron los ciclos semafóricos de las intersecciones de la intersección de la Calle 26 x Carrera 7 y la intersección de la Carrera 26 x Carrera 16 con el objeto de distribuir mejor el tráfico. (Ver Figura 5-6 y Figura 5-7).

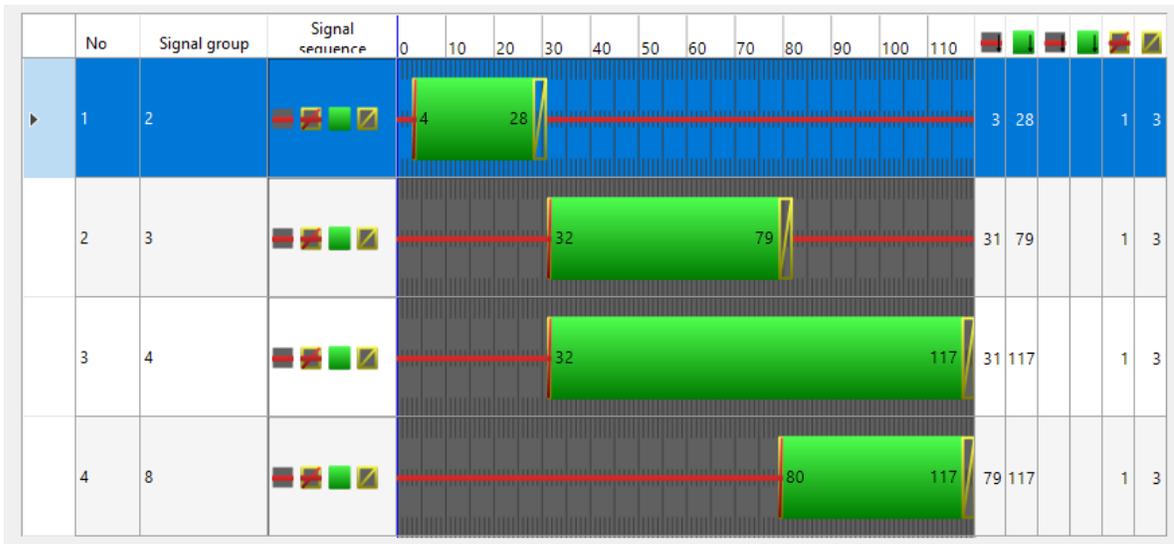


Figura 5-6. Planeamiento semafórico Intersección Calle 26 x Carrera 7 Fuente: PTV Vissim

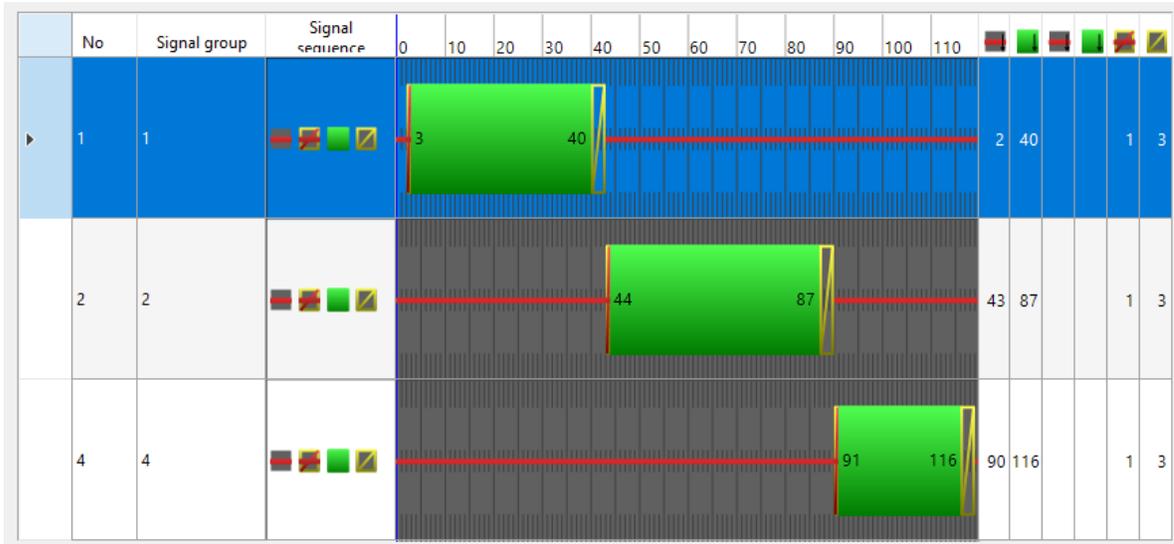


Figura 5-7. Planeamiento semafórico Intersección Carrera 26 x Carrera 16 Fuente: PTV Vissim.

### 5.1.3 Usos de Suelo

En relación al uso de suelo, se estudiaron los cambios urbanísticos que se están desarrollando en la zona de estudio.

Tabla 5-2 Desarrollos Urbanísticos sobre el corredor de estudio  
Fuente: Elaboración propia

**INTERCAMBIADOR UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**



**TORRES DEL MEDITERRÁNEO, PROYECTO INMOBILIARIO COMPUESTO POR SIETE (7) TORRES. PARA 455 APARTAMENTOS Y 37 LOCALES COMERCIALES.**



Tabla 5-2 Desarrollos Urbanísticos sobre el corredor de estudio  
Fuente: Elaboración propia

**CANALIZACION DEL RIO LAS CEIBAS**



**DESARROLLO COMERCIAL**



LA CURADORA URBANA SEGUNDA  
ISABEL DIAZ LOPEZ  
CALLE 12 No. 51-33  
Informa que ante sus oficinas se hizo solicitud de licencia Urbanística  
DE CONSTRUCCIÓN EN LA MODALIDAD DE DEMOLICIÓN  
TOTAL Y OBRA NUEVA  
NOMBRE SOLICITANTE: VENTAS DEL TOLIMA LTDA.  
DIRECCION DEL INMOBILIARIO: CALLE 28 N° 2-5808  
FECHA SOLICITUD: ENERO 18 DE 2018  
USO: COMERCIAL  
No. RADICACIÓN: 41001-2-18-0008  
FECHA DE INSTALACIÓN: ENERO 15 DE 2018



**ANTIGUO EDIFICIO CAESCA, ESTA EDIFICACIÓN TUVO UNA RECONSTRUCCIÓN Y REMODELACIÓN, AHORA NO ES SÓLO CAESCA SINO OTRAS CONCESIONARIAS COMO CITROEN**



*Tabla 5-2 Desarrollos Urbanísticos sobre el corredor de estudio*  
*Fuente: Elaboración propia*

**ESTE PROYECTO MUESTRA COMO 4 TORRES, PERO TIENEN UN LOTE MUY GRANDE QUE SE EXTIENDE HASTA LA PARTE DE ATRÁS, A LA AVENIDA 16, PERO NO TENEMOS CLARO SI VAN A CONSTRUIR MÁS TORRES, EN EL SIGUIENTE ENLACE SE ENCUENTRA ALGO DE INFO ADICIONAL COMO PLANOS, RENDER Y DEMÁS**



#### **5.1.4 Distribución Modal**

El mejoramiento del sistema de transporte, la capacidad remanente de la flota de transporte público colectivo, la congestión y la dinámica de la ciudad genera un intercambio modal entre el vehículo privado a transporte público. En este caso, se plantean dos escenarios de intercambio:

- 10% de los usuarios de transporte privado pasan a usar Transporte Público

- 15% de los usuarios de transporte privado pasan a usar Transporte Publico

### 5.1.5 Evaluación de los escenarios propuestos

Se plantean dos escenarios de evaluación combinando los diferentes frentes de ejecución. (Ver Tabla 5-3).

#### – Escenario 1

El escenario 1, plantea la construcción y puesta en funcionamiento del intercambiador de la USCO, instalación de paraderos, la optimización de ciclos semaforicos, cambios urbanísticos sobre el corredor en estudio y que el 10% de los usuarios del transporte privado migren al transporte publico

*Tabla 5-3. Escenario 1*

|  |   |
|--|---|
| <b>Infraestructura</b>                     | Intercambiador USCO   |
| <b>Infraestructura</b>                     | Paraderos   |
| <b>Dispositivos de Control de Transito</b> | Optimización de Ciclos Semaforicos  |
| <b>Usos de Suelo</b>                       | Cambios urbanísticos proyectados sobre el corredor                        |
| <b>Distribución Modal</b>                  | 10% de los usuarios de transporte privado pasan a usar Transporte Público |

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se presentan los indicadores de operación obtenidos a partir del modelo de simulación microscópica. (Ver Tabla 5-4).

*Tabla 5-4 . Indicadores generales de Desempeño*

| <b>Desempeño General de la Red</b>   |    |
|--------------------------------------|----|
| Densidad promedio de la red (Veh/Km) | 24 |
| Nivel de servicio                    | E  |
| Velocidad Promedio (km/h)            | 69 |

*Fuente: Elaboración propia*

Con respecto a los índices particulares a evaluar, se tuvo en cuenta las longitudes de cola y demoras que se presentan por nodo o intersección, los cuales se indican a continuación:

Dado que la intersección de la Calle 26 x Carrera 2, cambió por el intercambiador de la USCO, no se evaluarán indicadores de demora y colas. Para este caso, se evaluará la densidad promedio del intercambiador que es de 11 veh/km equivalente a un Nivel de Servicio B. (véase Tablas Tabla 5-5, Tabla 5-6 y Tabla 5-7).

*Tabla 5-5. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 7*

| Indicador                              | Calle 26 x Carrera 7 |            |             |              |
|--|----------------------|------------|-------------|--------------|
|  | Acceso Norte         | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
| Demora Promedio Intersección (seg/veh) | 38.0                 |            |             |              |
| Nivel de Servicio                      | D                    |            |             |              |
| Demora Promedio Acceso (seg/veh)       | NA                   | 53         | 20.76       | 27           |
| Nivel de Servicio                      | NA                   | D          | C           | C            |
| Cola promedio (m)                      | NA                   | 38.9       | 26.23       | 38           |
| Cola máxima (m)                        | NA                   | 107        | 100.23      | 158          |

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 5-6. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 16*

| Indicador                              | Carrera 26 x Carrera 16 |            |             |              |
|--|-------------------------|------------|-------------|--------------|
|  | Acceso Norte            | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
| Demora Promedio Intersección (seg/veh) | 38.09                   |            |             |              |
| Nivel de Servicio                      | D                       |            |             |              |
| Demora Promedio Acceso (seg/veh)       | 43                      | 41         | 31          | NA           |
| Nivel de Servicio                      | D                       | D          | C           | NA           |
| Cola promedio (m)                      | 51                      | 54         | 8           | NA           |
| Cola máxima (m)                        | 183                     | 177        | 28          | NA           |

*Fuente: Elaboración propia*

En relación a las emisiones, en la Tabla 4-10 se indica la cantidad de contaminantes emitido a la atmosfera.

*Tabla 5-7. Emisiones contaminantes*

| <b>CO<sub>2</sub></b> | <b>NO<sub>x</sub></b> | <b>PM<sub>10</sub></b> |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 2602 kg               | 6.420 kg              | 0.536 kg               |
| 2301 kg/h             | 5.676 kg/h            | 0.474 kg/h             |
| 170.7 g/km            | 0.4205 g/km           | 0.035 g/km             |

*Fuente: Elaboración propia Enviver*

– **Escenario 2**

El escenario 2, plantea la construcción y puesta en funcionamiento del intercambiador de la USCO, instalación de paraderos, la optimización de ciclos semafóricos, cambios urbanísticos sobre el corredor en estudio y que el 15% de los usuarios del transporte privado migren al transporte publico

*Tabla 5-8. Escenario 2*

|  |   |
|--|---|
| <b>Infraestructura</b>                     | Intercambiador USCO   |
| <b>Infraestructura</b>                     | Paraderos   |
| <b>Dispositivos de Control de Transito</b> | Optimización de Ciclos Semafóricos  |
| <b>Usos de Suelo</b>                       | Cambios urbanísticos proyectados sobre el corredor                        |
| <b>Distribución Modal</b>                  | 15% de los usuarios de transporte privado pasan a usar Transporte Público |

*Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se presentan los indicadores de operación obtenidos a partir del modelo de simulación microscópica.

*Tabla 5-9. Indicadores generales de Desempeño*

| <b>Desempeño General de la Red</b>   |    |
|--------------------------------------|----|
| Densidad promedio de la red (Veh/Km) | 21 |
| Nivel de servicio                    | E  |
| Velocidad Promedio (km/h)            | 69 |

*Fuente: Elaboración propia*

Con respecto a los índices particulares a evaluar, se tuvo en cuenta las longitudes de cola y demoras que se presentan por nodo o intersección, los cuales se indican a continuación:

Dado que la intersección de la Calle 26 x Carrera 2 cambió por el intercambiador de la USCO, no se evaluarán indicadores de demora y colas. Para este caso, se evaluará la densidad promedio del intercambiador que es de 10 veh/km equivalente a un Nivel de Servicio B. (Ver Tabla 5-10, Tabla 5-11 y Tabla 5-12).

*Tabla 5-10. Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 7*

| <b>Indicador</b>                              | <b>Calle 26 x Carrera 7</b> |                   |                    |                     |
|---|-----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|   | <b>Acceso Norte</b>         | <b>Acceso Sur</b> | <b>Acceso Este</b> | <b>Acceso Oeste</b> |
| <b>Demora Promedio Intersección (seg/veh)</b> | 35.0                        |                   |                    |                     |
| <b>Nivel de Servicio</b>                      | D                           |                   |                    |                     |
| <b>Demora Promedio Acceso (seg/veh)</b>       | NA                          | 28.3              | 23.5               | 27                  |
| <b>Nivel de Servicio</b>                      | NA                          | C                 | C                  | C                   |
| <b>Cola promedio (m)</b>                      | NA                          | 29                | 29                 | 29                  |
| <b>Cola máxima (m)</b>                        | NA                          | 90                | 108                | 130                 |

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 5-11 .Indicadores Particulares de Desempeño Calle 26 x Carrera 16

| Indicador                              | Carrera 26 x Carrera 16 |            |             |              |
|--|-------------------------|------------|-------------|--------------|
|  | Acceso Norte            | Acceso Sur | Acceso Este | Acceso Oeste |
| Demora Promedio Intersección (seg/veh) | 33                      |            |             |              |
| Nivel de Servicio                      | D                       |            |             |              |
| Demora Promedio Acceso (seg/veh)       | 43                      | 39         | 31          | NA           |
| Nivel de Servicio                      | D                       | D          | C           | NA           |
| Cola promedio (m)                      | 45                      | 48         | 8           | NA           |
| Cola máxima (m)                        | 150                     | 140        | 28          | NA           |

Fuente: Elaboración propia

En relación a las emisiones, en la Tabla 5-12, se indica la cantidad de contaminantes emitido a la atmosfera.

Tabla 5-12. Emisiones contaminantes

| CO2        | NOX         | PM10       |
|------------|-------------|------------|
| 2377 kg    | 6.141 kg    | 0.493 kg   |
| 1902 kg/h  | 4.915 kg/h  | 0.395 kg/h |
| 159.7 g/km | 0.4133 g/km | 0.033 g/km |

Fuente: Elaboración propia Enviver

### 5.1.6 Síntesis

Este inciso analiza los resultados obtenidos al tener en cuenta la evaluación de dos escenarios planteados, que surgen de la combinación de los diferentes frentes de ejecución. Se establece que la implementación del SETP mejora el Nivel de Servicio sobre el corredor de estudio y permite por medio de la de la nueva infraestructura movilizar la demanda latente que anteriormente no podía hacer uso de la infraestructura. En lo concerniente a las emisiones, en los escenarios evaluados se presenta disminución en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>, debido al intercambio modal entre los usuarios de transporte privado a transporte público.

## Capítulo 6.

### **Conclusiones y lecciones aprendidas**

El presente documento es una herramienta que evalúa la implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), en la ciudad de Neiva y su contribución en la reducción de la congestión vehicular y de emisiones de CO<sub>2</sub>. A continuación, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones que se derivan del documento:

- Se generó una red de modelación donde se evaluó el comportamiento de los viajes en los distintos medios de transporte, con el fin de identificar el Nivel de Servicio de las principales intersecciones y su generación de emisiones.
- Para la evaluación a futuro, se plantearon dos escenarios donde se valoraron las características de transporte, crecimiento urbanístico y optimización de dispositivos de control y de esta forma predecir su comportamiento. En general, la implementación del SETP mejora el nivel de servicio en cada uno de los escenarios evaluados, ya que la mejora de la infraestructura permite movilizar la demanda latente que anteriormente no podía hacer uso de la infraestructura.
- En relación con las emisiones, en los escenarios evaluados se presenta disminución en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PM<sub>10</sub>, debido al intercambio modal entre los usuarios de transporte privado a transporte público.
- Se definió la ubicación de los paraderos fijos de transporte público sobre el corredor, optimizando la distancia entre ellos asignando la mayor cobertura disponible para las condiciones de la red. Se estiman doce (12) paraderos por sentido.

Finalmente, este documento aporta en gran medida al desarrollo de la investigación en el área de los Sistemas Estratégicos de Transporte Público de Pasajeros. Las principales contribuciones de este proyecto a futuras investigaciones son:

- Este estudio sirve como punto de partida para la realización de la evaluación del Sistema Estratégico de Transporte Público después de ser implementado en la ciudad de Neiva.

- El Sistema Estratégico de Transporte Público de pasajeros permite la inclusión de nuevas tecnologías para la recopilación y análisis de información y la operación de este.
- El trabajo puede servir como punto de partida para la implementación de Sistemas Estratégicos de Transporte Público en ciudades intermedias.

## Bibliografía

- Alcaldía Neiva. (2017). Sistema de Transporte Masivo. Neiva.
- Arboleda G. (1994). Una propuesta para la identificación y evaluación de impactos ambientales. En: Crónica Forestal y del Medio Ambiente. No. 9 (1994); p. 71-81.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). Resolución Número (909) 5 de junio de 2008 Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
- Avante. (2018). Sistemas Estratégicos de Transporte Público en Colombia.
- Cam. (2006). Mapas de ruido ambiental y plan de descontaminación por ruido del municipio de Neiva.
- Cam. (2015). Monitoreo de calidad del aire, contaminantes no2, so2 y o3, en el municipio de Neiva, departamento del huila para la corporación autónoma regional del alto magdalena - CAM.
- Cam. (2016). Resultados de monitoreo de material particulado PM10. en el municipio de Neiva, departamento del huila para la corporación autónoma regional del alto magdalena - CAM.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2012). Documento Conpes 3718. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá D.C. enero 31.
- Consejo nacional de política económica y social. (2013). Documento Conpes 3756 DNP DE 2013. Fuente: Archivo interno entidad emisora.
- Consortio Plan de Movilidad Neiva. (2015). Formulación del Plan Maestro de Movilidad del Municipio de Neiva. Tteulog.
- DANE. (2015). Analisis Demografico del Municipio de Neiva. Neiva-Huila.
- Departamento Nacional de Planeación. (2009). Diseño conceptual del sistema estratégico de transporte público de Villavicencio. Steer Davies Gleave – AKIRIS.
- Departamento Nacional De Planeación. (2012). Documento Conpes 3718. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Bogotá.

- DNP. (2018). Antecedentes sistema de transporte masivo. Bogota.
- Dpto. Nal de Planeacion. (2010). El SETP.
- Elefteriadou. (2014). An Introduction of Traffic Flow Theory. Springer: Gainesville.
- EPA. (2001). New Generation Mobile Source Emissions Model: Initial Proposal and Issues, EPA Mobile Source Emissions Modeling Workgroup.
- Frey, H.C. et al. (2001). Measurement of On-Road Tailpipe CO, NO, and Hydrocarbon Emissions Using a Portable Instrument- Proceedings, Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, Orlando: EE.UU.
- Genes al Energy. (2017). Movilidad urbana: las ciudades del mundo más sostenibles en materia de movilidad. Madrid.
- Gonzalez, Juan. (2018). Lineamiento para la elaboración de estudios de tránsito en proyectos viales interurbanos. Bogota.
- Levinson et al. (2004). Modernización del transporte público.
- Levinson, H. et. al. (2003). TCRP "Report 90 Bus Rapid Transit. Volume 1 Case Studies in Bus Rapid Transit. Transit Cooperative Research Program". Washington DC: Transportation Research Board.
- Liman, et al. (2009). Algunas particularidades de la movilidad urbana. Victoria Canada.
- Mcgraw. (2009). Las fuentes de contaminantes atmosféricas.
- Minambiente. (2008). Resolución número (909). Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
- Ortiz. L. (2014). Renovación urbana sobre el eje de la carrera 16, comprendido entre las intersecciones con calles 27 y 6ta en la ciudad de Neiva, con énfasis en el sector de la estación. Pontificia Universidad Javeriana Facultad De Arquitectura Y Diseño. Bogotá D.C.
- Plan Nacional de Desarrollo. (2014-2018). Plan de Movilidad.

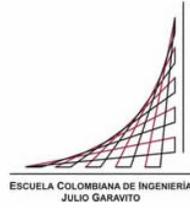
- Quintero-Gonzalez J.R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. Bogotá: U. Javeriana.
- Rios et al. (2013). Implicaciones en infraestructura y transporte.
- Rouphail A. et al. (2001). Emission Reductions Through Better Traffic Management: An Empirical Evaluation Based Upon On-Road Measurements. North Carolina.
- Saavedra V (2014). “Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados EN UN AMBIENTE DE TRÁFICO VEHICULAR”. Lima – Perú
- Sáenz Saavedra Néstor. (2016). Evolución de las políticas públicas de transporte público de pasajeros en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Sec. de Transito y Transp.Neiva. (2014). Corredor de estudio- operatividad. Neiva.
- SETP transfederal. (2017). Infraestructura del SETP de Neiva. Neiva.
- Steer Davies And Gleave Limited. (2011). Actualización del componente técnico del estudio del SETP de la ciudad de Neiva. Secretaría de Tránsito y Transportes. Neiva, Huila. Colombia.
- Steer Davies Gleave – AKIRIS. (2009). Diseño conceptual del sistema estratégico de transporte público de Villavicencio.
- Steer Davis. (2011). Obras de Señalética (incluye señalización horizontal y vertical.
- Tuia, D et al. (2007). Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. .
- United States Enviromental. (2012). Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES): User Guide Version, MOVES2010b (EPA-420-B-12-001b, June 2012). EE.UU.
- Wright L. y Fjellstrom K.. (2004) “Module 3a: Mass Transit Options”. En Sustainable Transport: A Sourcebook for Policymakers in Developing Cities. Frankfurt: GTZ, MCgraw, H. 2009. Contaminación Atmosférica. (10) 234-262.

## **Maestría en Ingeniería Civil**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SETP) – CASO DE ESTUDIO: NEIVA.**

#### **Anexo 1 OFICIOS DE SOLICITUD DE INFORMACIÓN (Medio Magnético)**

**Bogotá, D.C., Mayo de 2019**



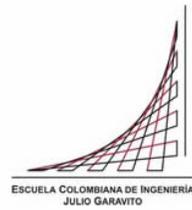
## **Maestría en Ingeniería Civil**

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SETP) – CASO DE ESTUDIO: NEIVA.**

## **Anexo 2 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN**

### **(Medio Magnético)**

**Bogotá, D.C., Mayo de 2019**



## **Maestría en Ingeniería Civil**

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ESTRATÉGICO DE TRANSPORTE PÚBLICO (SETP) – CASO DE ESTUDIO: NEIVA.**

## **Anexo 3 MODELO DE SIMULACIÓN MICROSCÓPICA**

**(Medio Magnético)**

**Bogotá, D.C., Mayo de 2019**