

SISTEMA DE BICICLETAS DE PEDALEO ASISTIDO EN EL TRAMO  
TERMINAL - UPTC SEDE CENTRAL

CESAR DANIEL RAMÍREZ CELY  
MARÍA ALEJANDRA RODRÍGUEZ DÍAZ



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y VÍAS

TUNJA

2021

SISTEMA DE BICICLETAS DE PEDALEO ASISTIDO EN EL TRAMO  
TERMINAL - UPTC SEDE CENTRAL

CESAR DANIEL RAMÍREZ CELY  
MARÍA ALEJANDRA RODRÍGUEZ DÍAZ

Trabajo de grado en la modalidad de proyecto de investigación para optar al  
título de Ingeniero en Transporte y Vías

Director

Ing. MSc. FREDY ALBERTO GUIO BURGOS  
Magister en Ingeniería con énfasis en Tránsito

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y VÍAS

TUNJA

2021

La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado.

Se autoriza su uso y reproducción indicando el origen.

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Currículo en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia para optar al título de Ingeniero en Transporte y Vías, actuando como jurados:

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JURADO 1 (EN MAYÚSCULA)

Título Académico de mayor nivel

NOMBRES Y APELLIDOS DEL JURADO 2 (EN MAYÚSCULA)

Título Académico de mayor nivel

Tunja, fecha (día, mes, año)

## DEDICATORIA

Primeramente, se lo dedico a mis Papás, Yolanda Cely Suarez y Carlos Arturo Ramírez Buitrago, por el apoyo estos años de universidad, no solo económico sino respaldo y confianza en los momentos en los que creí que no podía con el reto de ser algún día ingeniero de transporte y vías, gracias a las personas que me apoyaron de igual manera durante la etapa que estoy culminando, gracias por sus palabras de motivación por su confianza y por qué cuando peor me llegué a sentir tuvieron algo para decirme y apoyarme.

Por último, deseo dedicarle este trabajo de grado y todo el esfuerzo que le puse a su elaboración a al núcleo familiar de mi primo Diego Alejandro Ramírez Pérez quien fue una de las motivaciones cuando estaba buscando opciones para elegir carrera universitaria y uno de los faros que me permitió elegir la ingeniería como enfoque, además de ser una de las personas más importantes de durante mi crecimiento personal.

*Cesar Daniel Ramírez Cely*



## DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo, principalmente a mi hija Ailyn Mariana que ha sido el motor de mi vida, a mi madre Susana Diaz Ramos que siempre confió en mí y me dio su apoyo incondicional durante todo el tiempo de estudio, a mi esposo Brian Alexander Cuervo quien con cada palabra de aliento lograba que no decayera durante todo mi proceso formativo, a mi ángel Ercilia Ramos que desde el cielo me acompañó y me guió, a mi abuelo y padre Víctor Alfonso Diaz López que con su experiencia me ayudó y me levantó en situaciones críticas de salud, a mis tíos Fredy Andrés Diaz Ramos, María Consuelo Diaz Ramos y Lina Paola Aldana Ochoa porque siempre estuvieron pendientes de mí.

Dedico este logro también a mis amigos en especial a William Hernández, Cesar Ramírez, Camilo Cubides, Tania Rojas, Geraldine Rojas, Paula Pinilla, Gabriela Rincón, Miguel Rodriguez, Angélica Niño y los demás compañeros que confiaron en mi cuando en momentos duros quería renunciar a este sueño. A mis docentes ingenieros que con cada conocimiento aportado hicieron de mí una profesional.

*María Alejandra Rodriguez Diaz*





## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, gracias a nuestras familias quienes fueron los que nos dieron la oportunidad de estudiar, su apoyo incondicional y que de una forma u otra nos han motivado a seguir adelante, además nos dieron su respaldo en los momentos más difíciles.

De igual manera al ingeniero Fredy Alberto Guio, quien fue nos acompañó en este proceso y nos brindó sus conocimientos y tiempo para culminar este trabajo. Al ingeniero Luis Gabriel Márquez Díaz que nos asesoró durante la elaboración del diseño experimental, aplicación de encuestas y posterior análisis. Al ingeniero Fabian Parada que actuó como codirector y nos brindó información base para el desarrollo del trabajo. Al ingeniero y compañero Camilo Pérez que estuvo pendiente de ayudarnos durante el proceso de elaboración del trabajo. A nuestra compañera Gabriela Rincón por participar en la toma de datos.

Agradecemos también a la universidad pública que nos permitió ser profesionales valorando el tiempo y el trabajo propio, logrando culminar esta etapa como profesionales íntegros y con servicio a la comunidad.

Por ultimo y no menos importantes, gracias a los ingenieros Jonatan Villamarín, Juan Carlos Poveda, Sonia Esperanza Diaz, y a los compañeros que sacaron tiempo para participar en las diferentes fases del proceso.



## TABLA DE CONTENIDO

pág

INTRODUCCIÓN .....	13
1. MARCO DE REFERENCIA .....	15
1.1. MARCO CONCEPTUAL .....	15
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	20
2. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	23
2.1. MATERIALES Y TÉCNICAS.....	23
2.2. METODOLOGÍA .....	24
2.2.1 INVENTARIO VIAL .....	25
2.2.2 CONTEOS VEHICULARES.....	28
2.2.3 TOMA DE TIEMPOS EN VEHICULOS.....	29
2.2.5 ELECCIÓN DE SECCIÓN TRANSVERSAL PARA TRAMO PROPUESTO .....	44
3. DESARROLLO DEL TRABAJO .....	51
3.1 ESTIMACIÓN DE DEMANDA .....	51
3.2 MICROSIMULACIÓN .....	56
3.2.1 ESCENARIO BASE .....	57
3.2.2 ESCENARIO 1 .....	60
3.2.3 ESCENARIO 2.....	62
4. CONCLUSIONES .....	66
5. RECOMENDACIONES.....	68
ANEXOS.....	72

## LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Tramo 2 .....	24
Figura 2. Tramo 1 .....	25
Figura 3. Toma de información para inventario vial .....	25
Figura 4. Señales Informativas .....	26
Figura 6. Señales Reglamentarias.....	27
Figura 7. Puntos de aforo .....	28
Figura 9. Ruta 1 TPCU Mi Ruta .....	29
Figura 10. Ruta 18 TPCU Mi Ruta .....	30
Figura 12. Recorrido en Taxi.....	31
Figura 13. Participantes de la prueba de campo.....	32
Figura 14. Registro del participante masculino .....	33
Figura 15. Registro de la participante femenina.....	34
Figura 16. Situación 1 - Bloque 1 - Terminal Nuevo – UPTC.....	37
Figura 17. Gráfica Género vs Situación 1 Terminal Nuevo – UPTC .....	38
Figura 18. Gráfica Costo matrícula vs Situación 1 UPTC - Terminal Nuevo .....	39
Figura 19. Situación 2 - Bloque 1 - Terminal Nuevo – UPTC.....	39
Figura 20. Gráfica Edad vs Situación 2 Terminal Nuevo – UPTC.....	40
Figura 21. Gráfica Semestre vs Situación 2 UPTC - Terminal Nuevo.....	41
Figura 22. Situación 3 - Bloque 1 - Terminal Nuevo - UPTC .....	41
Figura 23. Gráfica Estrato vs Situación 3 Terminal Nuevo – UPTC.....	42
Figura 24. Gráfica Viajante vs Situación 3 UPTC - Terminal Nuevo .....	44
Figura 25. Dimensiones de referencia para una sección con bandas ciclopreferentes.....	45
Figura 26. Ciclorruta entre calzada y cuneta .....	45
Figura 27. Simulación en interfaz de programa VISSIM .....	46
Figura 28. Grupo semafórico intersección la sexta .....	46
Figura 29. Clases de vehículos en interfaz de programa VISSIM.....	47
Figura 30. Comportamientos vehiculares VISSIM .....	47
Figura 31. Tipos de peatones VISSIM .....	48
Figura 32. Composición vehicular VISSIM.....	48
Figura 33. Parámetros de simulación VISSIM .....	49
Figura 35. Editor de matrices VISSIM.....	50
Figura 37. Modelo de parámetros iniciales .....	51
Figura 38. Gráfica Viajante vs Situación 3 UPTC - Terminal Nuevo .....	54
Tabla 8. Estudiantes admitidos en el periodo 2021/1 de ciudades aledañas....	55
Figura 39. Modelo base .....	56
Figura 40. Nivel de servicio escenario base .....	57
Figura 41. Longitud de cola en metros escenario base .....	58
Figura 42. Volumen de escenario base .....	58
Figura 43. Demoras escenario base .....	59
Figura 44. Demoras para bicicletas escenario base .....	59
Figura 45. Nivel de servicio escenario 1 .....	60
Figura 47. Longitud de cola en metros escenario 1 .....	61

Figura 48. Volumen escenario 1 .....	61
Figura 49. Demoras escenario 1 .....	62
Figura 50. Simulación puente del barrio las quintas .....	62
Figura 51. Nivel de servicio escenario 2 .....	63
Figura 52. Longitud de cola en metros escenario 2 .....	63
Figura 53. Volumen escenario 2 .....	64

## LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Especificaciones de la bicicleta de pedaleo asistido Turbo Vado 4.0 .	32
Tabla 2. Niveles y atributos para diseño experimental de encuestas PD .....	35
Tabla 3. Resultado de diseño experimental para encuesta de PD .....	36
Tabla 4. Niveles, tiempo y costo para diseño experimental en encuesta de PD .....	36
Tabla 5. Resultados estimados para viajes entre la UPTC y el Terminal Juana Velasco de Gallo.....	52
Tabla 6. Valores de utilidad para cada situación según el medio de transporte	53
Tabla 7. Probabilidades de demanda para cada caso .....	53
Tabla 8. Estudiantes admitidos en el periodo 2021/1 de ciudades aledañas....	55
Tabla 9. Distribución de bici usuarios a lo largo del día .....	56
Tabla 10. Nivel de servicio en las ciclo-infraestructuras .....	65

## INTRODUCCIÓN

Tunja como capital Boyacense, es una ciudad en constante crecimiento que para el año 2020, según el DANE, contaría con 171.461 personas. El último estudio realizado por la Alcaldía y por la Secretaría de Movilidad en convenio con la UPTC, encontró que de los 366.512 viajes que se hacen en un día hábil de la semana, el 51.12% corresponden a viajes motorizados, es decir, en TPCU, vehículo particular, taxi, taxi compartido, motocicleta y vehículo escolar y del total de viajes solo el 1% se realizan en bicicleta (Alcaldía Mayor de Tunja, 2012).

Si bien, Tunja es una ciudad que alberga una cantidad considerable de estudiantes ya que cuenta con varios establecimientos de educación superior como lo son la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), la universidad Santo Tomás, la Universidad de Boyacá, la universidad Antonio Nariño y la universidad Juan De Castellanos, entre otras, dada esta situación son relativos los números de viajes que se realizan para el desplazamiento de las personas ligadas a estas instituciones (Estudiantes, docentes, servicios generales y administrativos), ya sea desde o hacia sus hogares, sin contar los que se realizan por ocio o causas ajenas a sus actividades académicas.

Dado este contexto la ciudad debe tener un buen sistema de transporte público para asistir los intereses relevante, sin dejar de lado el resto de viajes que se realizan en la ciudad, o, en caso complementario, brindar una infraestructura cómoda y segura para poder realizar los viajes a pie, que como lo dice el estudio de movilidad realizado en el año 2012, corresponden a un 42.5% del total de viajes (Alcaldía Mayor de Tunja, 2012), y que a pesar de ser una ciudad con pendientes elevadas este porcentaje es alto.

La movilidad sostenible debe considerarse como eje fundamental dentro de los planes de desarrollo urbano, para así poder controlar el crecimiento y orientar la movilidad dentro de sistemas de transporte que atribuyen beneficios a aspectos sociales y ambientales. Dentro de esta planeación se debe priorizar la caminata y el uso de la bicicleta logrando un aumento en la calidad de vida, garantizando asequibilidad y accesibilidad al usuario sin ningún obstáculo que impida su movilidad.

La ausencia de un sistema de bicicletas, influye en la baja demanda que este medio pudiera tener y así mismo a la poca infraestructura en la ciudad para poder conectar varios puntos de interés.

Estas razones son suficientes para dar cumplimiento a los objetivos que impulsaron la investigación, dentro de los cuales incluye establecer la viabilidad de un sistema de transporte de bicicletas con pedaleo asistido como una alternativa de movilidad en la ciudad de Tunja, que permita unir el tramo entre el terminal de transporte y la sede central de la UPTC, por medio de la determinación las características de la implementación de un sistema de bicicletas con pedaleo asistido, por medio de información secundaria, proveniente de investigaciones anteriores de la UPTC y la alcaldía de la ciudad

de Tunja, de igual manera la estimación de la demanda potencial para un sistema de bicicletas públicas de pedaleo asistido con las características propias de este como: ahorro de tiempo, nivel de seguridad, facilidad de uso y accesibilidad. Dando una visión más realista se realiza una micro simulación de diferentes escenarios en los cuales se evaluarán los impactos de la implementación de un sistema de bicicletas con pedaleo asistido en un tramo de la red vial de la ciudad, complementado con el sistema de bicicletas BICIUNE y de esta forma proponer las medidas de gestión que debe tenerse en cuenta para su funcionamiento.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

A continuación, se presentan detalladamente los conceptos principales, la teoría según la cual se presenta la metodología de trabajo y los estudios realizados que impulsaron la premisa del proyecto.

### 1.1. MARCO CONCEPTUAL

Accesibilidad: “Condición esencial de los servicios públicos que permite en cualquier espacio o ambiente exterior o interior el fácil disfrute de dicho servicio por parte de toda la población” (Ley 769 de 2002, artículo 2)

Aforos: “Son conteos de vehículos y personas que pasan por determinados puntos identificados previamente. Generalmente este tipo de estudios se realiza de forma manual denominándose aforos manuales, este tipo de estudios se usan por lo habitual para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados. La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona” (Divantoque, et al, 2017, pág. 15).

Bicicleta: “Vehículo no motorizado de dos (2) o más ruedas en línea, el cual se desplaza por el esfuerzo de su conductor accionando por medio de pedaleo” (Ley 769 de 2002, artículo 2) vehículo tipo A.

Bicicleta con pedaleo asistido: “Bicicleta equipada con un motor auxiliar con potencia nominal continua no superior a 0.35 kW, que actúa como apoyo al esfuerzo muscular del conductor. Dicha potencia deberá disminuir progresivamente conforme se aumente la velocidad del vehículo y se suspenderá cuando el conductor deje de pedalear o el vehículo alcance una velocidad de 25 km/h, el peso nominal de una bicicleta asistida no deberá superar los 35 kg”. (Resolución No. 000160 de 2017, artículo 3) vehículo tipo B.

Biogeme: “El paquete Biogeme (biogeme.epfl.ch) está diseñado para estimar los parámetros de varios modelos utilizando la estimación de máxima verosimilitud (valor estimado del parámetro que tiene mayor probabilidad de ocurrir) y está especialmente diseñado para modelos de elección discreta” (Traducción propia) (Michel Bierlaire, 2020, pág. 2).

Calzada: zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. (Ministerio de transporte, 2002)

Casco: “Pieza que cubre la cabeza, especialmente diseñada para proteger contra golpes, sin impedir la visión periférica adecuada que cumpla con las especificaciones de las normas Icontec 4533 "Cascos Protectores para Usuarios de Vehículos", o la norma que la modifique o sustituya” (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Ciclista: “Conductor de bicicleta o triciclo” (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Ciclovía: “Vía o sección de calzada destinada ocasionalmente para el tránsito de bicicletas, triciclos y peatones” (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Ciclorruta: “Vía o sección de la calzada destinada al tránsito de bicicletas en forma exclusiva” (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Estudios de tránsito: “Constituye un insumo fundamental para el desarrollo general de un proyecto, el cual comprende cuatro etapas principales: recolección y análisis de la información, modelación situación actual y con proyecto, pronósticos del tránsito y evaluación de alternativas” (Financiera de Desarrollo Nacional, 2017, pág. 1).

Flujo vehicular: “es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista, mediante el análisis de los elementos de flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planteamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte” (Navarro, 2008).

Inventario de infraestructura vial: “El inventario de infraestructura vial se emplea para conocer las condiciones de operatividad y funcionalidad de una vía, a partir de una descripción detallada de sus condiciones físicas, geométricas y de diseño la forma más usual de elaborar este inventario es a través de una inspección visual, que consiste en hacer un reconocimiento a lo largo del sector o tramo objeto de estudio, para cuantificar y calificar sus condiciones” (Quintero, 2011, pág. 66)

Micro movilidad: “es la movilización personal en vehículos de baja velocidad, pequeños y ligeros que funcionan con autopropulsión o con energía eléctrica”. (Decreto No. 121, 2020, pág. 15)

Movilidad: “Parte de entender que la ciudad es el espacio donde se localizan, realizan y relacionan una multiplicidad de actividades, las cuales necesitan de los medios y modos de transporte que permiten la movilidad, para su óptimo desarrollo sobre el territorio, sustento de la importancia que se le ha dado al tema como determinante de la transformación urbana y territorial, y de una sociedad para ser más productiva y equitativa. En otras palabras, la ciudad y la movilidad se convierten en realidades superpuestas que se deben pensar desde la racionalidad del transporte, y a su vez desde la racionalidad del urbanismo y la planificación urbana; y estudiar desde diferentes disciplinas y perspectivas, desde la multidisciplinariedad” (Serrano, 2014, pág. 6).

Movilidad sostenible: “la capacidad para satisfacer las necesidades de la sociedad de moverse libremente, acceder, comunicarse, comercializar y establecer relaciones sin sacrificar otros valores humanos o ecológicos básicos actuales o del futuro”. Para que una ciudad tenga una estructura de movilidad urbana sostenible, es necesario mejorar la accesibilidad y simultáneamente evitar trastornos en el bienestar social, medioambiental y económico” (Espacio y ciudad, SF).



Nivel de emisión de gases contaminantes: Cantidad descargada de gases contaminantes por parte de un vehículo automotor. Es establecida por la autoridad ambiental competente (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Preferencias declaradas: “Se denominan técnicas de preferencias declaradas (PD) a un conjunto de metodologías que se basan en juicios (datos) declarados por individuos acerca de cómo actuarían frente a diferentes situaciones hipotéticas que le son presentadas y que deben ser lo más aproximadas a la realidad. Estas técnicas utilizan diseños experimentales para construir las alternativas hipotéticas presentadas a los encuestados. Las alternativas de elección presentadas a los encuestados son descripciones de situaciones o contextos construidos por el investigador que se diferencian a través del valor que toman sus atributos” (Sartori, 2006, pág. 91).

Prelación: Prioridad o preferencia que tiene una vía o vehículo con respecto a otras vías u otros vehículos (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Servicio público de transporte terrestre automotor colectivo de pasajeros: “Es aquel que se presta bajo la responsabilidad de una empresa de transporte legalmente constituida y debidamente habilitada en esta modalidad, a través de un contrato celebrado entre la empresa y cada una de las personas que han de utilizar el vehículo de servicio público a esta vinculado, para recorrer total o parcialmente una o más rutas legalmente autorizadas” (Decreto No. 170 de 2001, artículo 6).

Simulación microscópica de tráfico: “Los sistemas de simulación microscópica de tráfico tratan de describir con gran nivel de detalle tanto el entorno de simulación (escenarios que se desea simular) como el modo de comportamiento de los vehículos en distintas situaciones. La herramienta de simulación microscópica PTV Vissim se utiliza para modelos de flujo de tránsito multimodal y proporciona las condiciones necesarias para probar diferentes escenarios antes de la implementación final” (Chanca, 2004, pág. 10).

Tiempo de recorrido: “El que transcurre mientras un vehículo recorre cierta distancia, incluyendo el invertido en paradas imputables a la vía, al tránsito o a su regulación. Se usa para calcular la velocidad de recorrido. No debe confundirse con el tiempo de viaje, que es el que tarda una persona o vehículo en ir del origen al destino de un viaje” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005, pág. 2-17).

Transporte público: “El transporte público urbano tiene como objetivo principal garantizar la movilidad de las personas a todos los puntos de la ciudad, cumpliendo determinados patrones de comodidad, rapidez, seguridad y costo. desempeñando un papel crucial en la sociedad por contribuir de manera significativa con la movilidad sostenible en ciudades y regiones” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005, pág. 3-6).

Velocidad de recorrido: Es el cociente que resulta de dividir el espacio andado por un vehículo entre el tiempo que ha tardado en recorrerlo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005, pág. 2-17).

Vehículo de servicio público: “Vehículo automotor homologado, destinado al transporte de pasajeros, carga o ambos por las vías de uso público mediante el cobro de una tarifa, porte, flete o pasaje” (Ley 769 de 2002, artículo 2).

Velocidad: “En general, el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros metros por hora (km/h)” (Méndez, 2009, pág. 5).

## 1.2. MARCO METODOLÓGICO

Para la realización de estudios de ingeniería de tránsito y transporte, se tienen en cuenta aspectos técnicos que incluyen información para el completo desarrollo de la metodología. De la inclusión de la toma de datos en campo, se obtiene un escenario con las características actuales a las cuales se expone el usuario y con esto se permite realizar una simulación incluyendo algunas variables bajo los lineamientos que ofrecen algunas fuentes bibliográficas hasta lograr el resultado que permita la realización de análisis para la toma de decisiones.

Con el inventario de infraestructura vial se dan a conocer las condiciones de operatividad y funcionalidad de una vía, basados en una inspección visual de las condiciones físicas y geométricas del lugar de estudio, lo cual definirá las preferencias de los usuarios en cualquier desplazamiento, ya que se verán afectados comportamientos de los flujos vehiculares y peatonales junto con las velocidades de los vehículos (Quintero, 2011).

En la implementación del sistema de bicicletas de pedaleo asistido, se tienen en cuenta los componentes estructurales que hacen parte de este, como lo es la señalización, para la cual existe una normatividad y en este caso puntual hay documentos que complementan los procedimientos de campo y ayudan a optimizar los procesos y análisis de resultados con el fin de identificar, caracterizar y cuantificar las variables relacionadas con el desarrollo del fenómeno del tránsito (Quintero, 2011).

Lograr implementar una infraestructura adecuada para la circulación de bicicletas induce a aplicar la normatividad que rige en el lugar de su aplicación, junto a esto y para alcanzar su máximo uso, se incluye la respectiva señalización otorgando al ciclista un trato semejante al que se le ofrece a usuarios de otros medios (Ley 811 de 2016).

Es de importancia conocer el número de vehículos que pasan por uno o varios puntos específicos, para analizar la composición y volúmenes de tránsito de

forma general en una red. En Colombia uno de los métodos más utilizados es el de conteo manual el cual usa personal en campo (aforadores) que registran los datos de cantidades por cada movimiento, además de clasificarlos según el tipo de vehículo durante períodos de tiempo (Fontalvo, 2013).

La inclusión de bicicletas dentro del desarrollo de la movilidad sostenible, hace necesario obtener información de sus respectivas características, ventajas y desventajas con la ayuda de una prueba de ruta en la infraestructura existente, que permita realizar una comparación de velocidad, tiempos y costos entre la bicicleta normal y la de pedaleo asistido de acuerdo a su desempeño (Siabato y Martínez, 2016).

Disponer de información cuantitativa actualizada por medio de encuestas de preferencias declaradas se hace indispensable para realizar la formulación y estimación de los modelos y en consecuencia simular la situación actual basados en la implementación del sistema de bicicletas en los tramos que son evaluados (Chiriboga, 2014).

De las tres categorías de diseño experimental, el de tipo escalonamiento, se ajusta a las necesidades del desarrollo del estudio presente, pues enfoca las encuestas a dar respuestas en escalas de satisfacción dependiendo el medio de transporte seleccionado bajo consideraciones del investigador (Chiriboga, 2014).

La simulación de los comportamientos de los usuarios en las redes viales ayuda a optimizar las condiciones existentes por medio de programas que cumplan con los requerimientos básicos para la elaboración de proyectos, esta parte llamada modelación se realiza para evitar posibles incomodidades cuando se ponga en marcha la propuesta (Fontalvo, 2013)

Los modelos de tránsito vehicular se fundamentan en teorías con enfoques microscópicos y macroscópicos bajo métodos y modelos matemáticos que representan el comportamiento del flujo, existen software que compilan estos algoritmos e iteraciones y que por medio de una interfaz muestran diferentes escenarios que representan la operación del tránsito (Fontalvo, 2013)

El uso de la herramienta VISSIM permite la simulación del flujo vehicular, con el que se realiza todo el análisis y se definen características de los elementos que intervienen en este y el modelo dinámico de simulación con el que se define la asignación del tráfico y la interacción entre el flujo vehicular y el análisis de los puntos de trabajo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2005).

La herramienta para el tratamiento de datos hallados de las encuestas de preferencias declaradas es Biogeme, conocido por su función para estimar los parámetros esenciales utilizando la expresión de máxima verosimilitud, diseñado para modelos de elección discreta, con resultados que ayudan a comprender el éxito de las constantes de las funciones de utilidad para cada componente a analizar (Bierlaire, 2020).

### 1.3. ESTADO DEL ARTE

Peñalosa (2002) expone los cambios en Bogotá dadas las necesidades generadas por el crecimiento de la ciudad y el aumento de los automóviles, exponiendo algunas medidas de control pero haciendo énfasis en que el verdadero cambio a realizar debe ser en la asignación de espacios de la ciudad, ya que se debe incentivar a que las personas se transportan por medios diferentes al automóvil particular, el autor da ejemplos como "senderos físicamente protegidos para bicicletas, grandes y exclusivas avenidas para peatones y áreas verdes deberían atravesar la ciudad en todas direcciones" (Pág. 2), siendo clave la bicicleta como un medio alimentador del transporte masivo.

Quintero (2017) resalta el uso de la bicicleta como transporte público y hace un análisis sobre el beneficio individual para la sociedad, siendo un modo popular de transporte y una estrategia para el desarrollo de la movilidad urbana sostenible en los países desarrollados.

Quintero & Quintero (2015) hace un análisis de las ventajas del uso masivo de la bicicleta en ciudades latinoamericanas como Caracas, Medellín y Bogotá; en donde se evidencia la importancia de la implementación de alternativas de transporte, en caso específico de la ventajas que tiene la implementación de sistemas de bicicletas comunitarias y medios de transporte basado en energía eléctrica, y de pasajes peatonales, aclarando que a los ciclistas y peatones se les debe brindar garantías en cuanto a seguridad vial, ya que son los usuarios más expuestos.

Cárdenas & Sarmiento (2014) refieren la micro movilidad eléctrica como el sistema que integra el transporte individual de forma eficiente, así como la forma de incorporar los servicios digitales que ofrece estos nuevos planes sistemas, esto se convierte en una cooperación en la conexión con el uso del transporte y el uso de motores eléctricos relativamente pequeños como lo son las bicicletas con pedaleo asistido.

Lema (2016) describe el sistema de bicicletas en la ciudad de Quito "BiciQuito" (pág. 21) donde se integraron las bicicletas eléctricas y se logró incentivar al uso de este modo de transporte alternativo sustentable, registrando un aumento en los viajes y en los usuarios registrados.

Dueñas & Pineda (2018) hacen un análisis del sistema de bicicletas piloto implementado en la ciudad de Tunja, en el cual por medio de encuestas lograron identificar características, virtudes, necesidades y falencias del sistema que llevaba poco tiempo de implementado, en este documento se concluye que el sistema fue bien recibido por la comunidad, y solicitan tener conexión con más partes de la ciudad aparte se tienen recomendaciones para la puesta en operación de las estaciones.

Siabato (2016) refiere el uso de la bicicleta eléctrica como la mejor alternativa para resolver el conflicto entre los sistemas de transporte público y el crecimiento automotriz que provocan el atascamiento en el flujo vehicular y aumento de los tiempos de viaje y es por esto que se integró la bicicleta para responder a estos problemas de movilidad.

Albarracín & Salamanca (2018) realizan un análisis de la relación que tiene la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) con la ciudad por medio de diferentes medios de transporte (taxi, TPCU, a pie, bicicleta, vehículo compartido) y de la infraestructura del campus universitario de la UPTC, en las conclusiones se recomienda el uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte.

Zuluaga (2017) concluye que los sistemas de bicicletas públicas son una respuesta a los problemas actuales de movilidad y que por lo tanto se deben generar metodologías de planificación e implementación teniendo en cuenta las características de cada ciudad.

Bernal & Torres (2019) refieren al sistema de bicicletas eléctricas como una alternativa económica respecto a los medios de transporte convencionales, la ventaja de estas bicicletas es la potencia y/o torque cuando el ciclista lo requiera y es por esto que se vuelve ideal para ciudades con geografía particular donde el ciclista necesite un impulso del sistema eléctrico que pueda encenderse de forma automática.

Según el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania las ciudades con sistemas efectivos de transporte aseguran un desarrollo a facilidades de alta calidad para caminar circular en bicicleta o en transporte público, ya que este proceso puede reducir considerablemente la demanda de viajes en medio motorizados privados y así planificar la movilidad urbana sostenible centrada en la accesibilidad, asequibilidad, calidad de vida, equidad y calidad (Alba, 2018, pág. 13) (como se citó en MINISTERIO FEDERAL DE COOPERACIÓN ECONÓMICA Y DESARROLLO).

García (2017) resalta en el artículo titulado Evaluación de la dimensión operativa del transporte colectivo en el área metropolitana de Mendoza, que los modelos de movilidad urbana sustentable, toman un papel importante en el desarrollo de las sociedades, privilegiando los modos colectivos de transporte y los no motorizados optimizando el uso del espacio urbano, el consumo de recursos naturales y el impacto sobre el ambiente. De tal manera que un buen reflejo de la dinámica territorial es la óptima circulación de las personas, aquí radica la importancia de la movilidad urbana sostenible cuya base conceptual es el paradigma del desarrollo sostenible.

Según la guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas (Ministerio de Transporte de Colombia, 2016), se conoce como ciudad ciclo-inclusiva en la que cualquier persona puede hacer uso de la bicicleta de manera segura y cómoda para todos sus desplazamientos, es una manera normalizada de transporte de personas sin importar edad, género, oficio o tiempo del año. Los componentes

de la política ciclo-inclusiva se resumen en la infraestructura y servicios, participación ciudadana, operación, aspectos normativos y regulación. Con una buena estrategia de urbanismo y movilidad se afrontan retos sociales y ambientales como la reducción de las emisiones del transporte, mitigación del cambio climático, mejoramiento de la calidad del aire y el ruido, mejoramiento de la salud de los usuarios, y la facilitación de convivencia y socialización en el espacio público.

## 2. METODOLOGÍA EMPLEADA

### 2.1. MATERIALES Y TÉCNICAS

Para el desarrollo de los inventarios se tuvo en cuenta la técnica tradicional de visita en campo y toma de información en formatos designados para este fin, de manera general se realizó una descripción de cada elemento de la vía con sus características, de igual forma se aplicó esta técnica para el inventario de señalización y dispositivos de control.

Los aforos fueron realizados con ayuda de personal capacitado para llenar los formatos físicos en periodos de tiempo de 15 minutos durante dos horas en lugares destinados para la contabilización de autos, buses, camiones, motos, taxis, bicicletas y peatones. Se hizo uso de la Norma Rilsa para distinguir los movimientos que hacían los vehículos en las intersecciones y puntos específicos de conteo.

Para la toma de datos en campo se contó con el vehículo tipo A y por medio de la empresa SPECIALIZED se logró el préstamo del vehículo tipo B, con los que se tomaron datos de velocidad, tiempos y distancias en los tramos específicos, se usó la plataforma STRAVA para la obtención de estos que se guardaron para su posterior tabulación.

Se hizo uso del método de vehículo flotante para los buses y taxis con rutas que cubrían los puntos de origen y destino, de este procedimiento se extrajeron datos de velocidades, tiempos y costos para compararlos posteriormente.

El diseño experimental de las encuestas de preferencias declaradas se realizó definiendo inicialmente los criterios del diseño, como el tipo de modelo a utilizar (Logit simple), las funciones de utilidad de cada alternativa (U(bici), U(bus) y U(taxi), atributos (tiempo y costo) y niveles a considerar (alto, esperado y bajo). Luego se procedió a determinar el tipo de diseño inicial (Ortogonal) y la cantidad de situaciones de elección dentro del ejercicio (18 situaciones) y las que se presentarán a cada uno de los encuestados (3 bloques, 2 sentidos, 6 situaciones por usuario) (Arellana, J.A. Ortúzar, J.D. y Rizzi L.I. 2011).

Para el tratamiento de los datos obtenidos de las encuestas se seleccionaron los usuarios cautivos para tratarlos de manera independiente y totalizados con los demás usuarios, de manera singular usó la herramienta Excel con el fin de generar tablas dinámicas y por medio de gráficas poder estimar la demanda de cada alternativa comparándola con los datos básicos inicialmente solicitados en las encuestas. Así mismo se usó la herramienta Biogeme que por medio del modelo logit multinomial se estimó la verosimilitud que presentan los usuarios frente a las diferentes situaciones, esto con el fin de identificar las probabilidades de elección, la valoración subjetiva del tiempo y otros índices que ayudaron a establecer la demanda final que se aplicaría al modelo de simulación.

La herramienta PTV Vissim se usó para la simulación de los escenarios hipotéticos propuestos con una visión realista y detallada de los comportamientos de los diferentes actores de la vía, buscando establecer la mejor opción con los datos que fueron recolectados.

## 2.2. METODOLOGÍA

Para conectar la UPTC sede central con el Terminal Juana Velazco de Gallo, el ingeniero Fabián Parada, encargado de asuntos de movilidad en la Secretaría de Tránsito y Transporte de la ciudad, proporcionó información acerca de la implementación del sistema de bicicletas pública para la ciudad de Tunja (BICIUNE), en esta información estaban establecidos los tramos de vías a intervenir por parte del gobierno municipal, de allí se tomó la parte que era de interés para el presente trabajo, determinando el tramo que serviría para conectar los puntos de estudio y poder modelar sobre este.

Por medio de esta información se establece el tramo 2 con una distancia de aproximadamente 4.3 kilómetros, que comprende el recorrido Terminal - Avenida Paseo Nairo Quintana - Makro - Unicentro - Avenida Universitaria - Santo Tomás - Calle 46 - Puente vehicular las Quintas - Avenida Norte - UPTC como se muestra en la figura 1, de igual forma se hace uso de este recorrido UPTC - Terminal por la misma ruta.

Figura 1. Tramo 2



Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

De acuerdo a la información inicial se propone un tramo alternativo al cual se llamó tramo 1, donde la distancia entre los puntos pasa a ser de 3.2 kilómetros, la cual comprende el recorrido Terminal - Avenida Paseo Nairo Quintana - Glorieta del Gobernador - Glorieta Norte - avenida norte - UPTC, como se muestra en la



figura 2, esto con el fin de reducir el tiempo y optimizar las operaciones entre los puntos de origen y destino. Esta misma ruta se utilizará en sentido contrario.

Figura 2. Tramo 1



Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

### 2.2.1 INVENTARIO VIAL

Para el desarrollo de los inventarios se hizo uso de un formato básico (véase Anexo A) donde, de manera general se hace la caracterización del tramo incluyendo número de carriles, sentido de circulación, tipo de pavimento, longitud de tramo y ancho de la calzada. En el proceso se utilizaron herramientas de medición y personal de apoyo a los que se les hizo una breve explicación del procedimiento que debían seguir y la forma en que debían llenar los formatos. Fueron visitados los dos tramos expuestos anteriormente y se tomó el registro fotográfico a medida que se avanzaba junto con las medidas correspondientes como se muestra en la figura 3

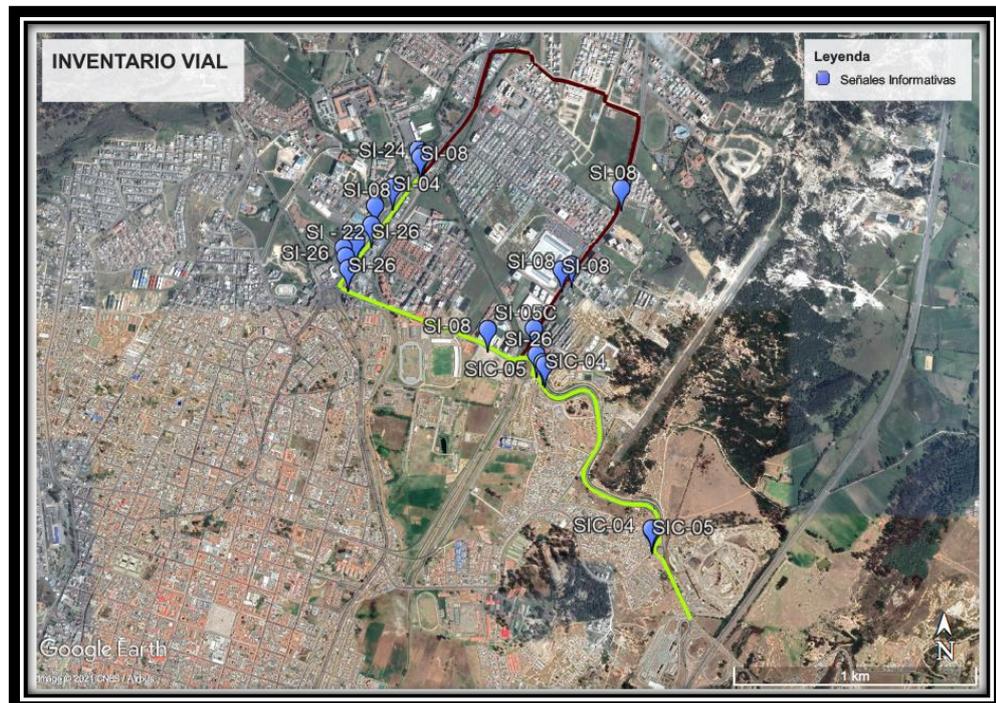
Figura 3. Toma de información para inventario vial



Fuente: Fotos tomadas con cámara propia.

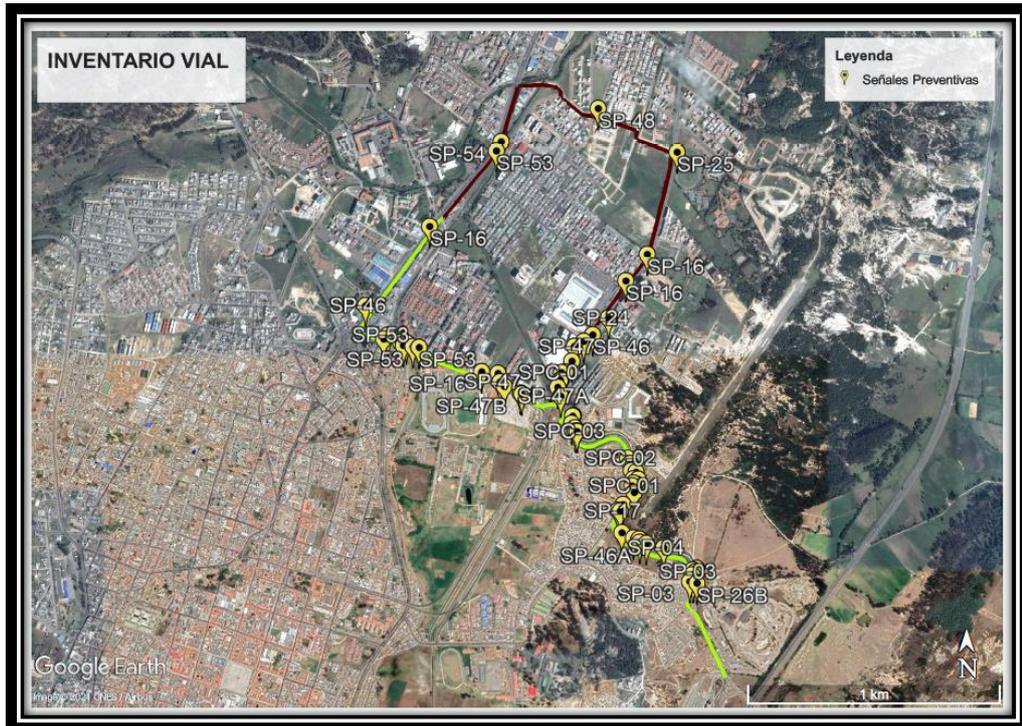
El inventario de señalización vial se hizo por medio de visita a campo, a medida que se iba avanzando, se hacía la toma de fotografías y se referenciaban geográficamente por medio de la herramienta de ubicación del teléfono móvil del personal a cargo, a su vez se agregó una descripción del estado en que se encontraba y el tipo de señal según el Manual de Señalización Vial del Ministerio de Transporte en un formato mostrado en el Anexo A. Mediante Excel se procedió a tabular los datos para exportarlos a Google Earth y lograr ubicar espacialmente cada señal con una precisión cercana a la realidad como se muestra en las figuras 4, 5 y 6 permitiendo un conocimiento de su ubicación actual para la posterior simulación en software.

Figura 4. Señales Informativas



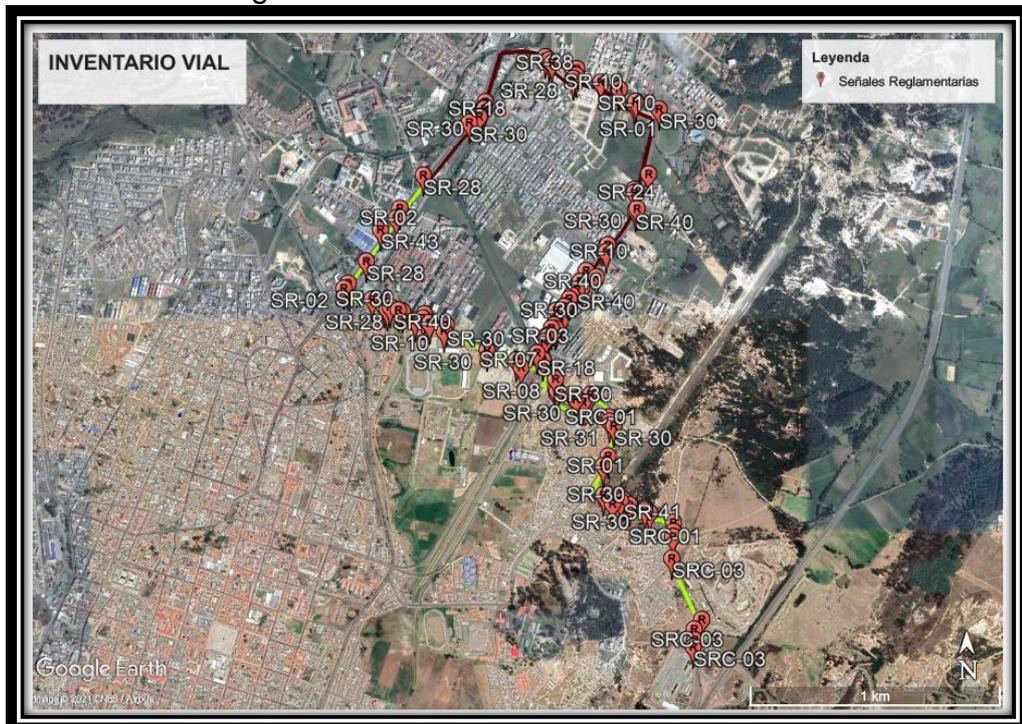
Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

Figura 5. Señales Preventivas



Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

Figura 6. Señales Reglamentarias



Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

## 2.2.2 CONTEOS VEHICULARES

Para la realización de conteos vehiculares y peatonales se seleccionaron las zonas previamente, por sus condiciones de ubicación, importancia, cantidad de vehículos que pasan por el punto y visibilidad los cuales se muestran a continuación en la figura 7

Figura 7. Puntos de aforo



Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

Figura 8. Evidencia aforadores



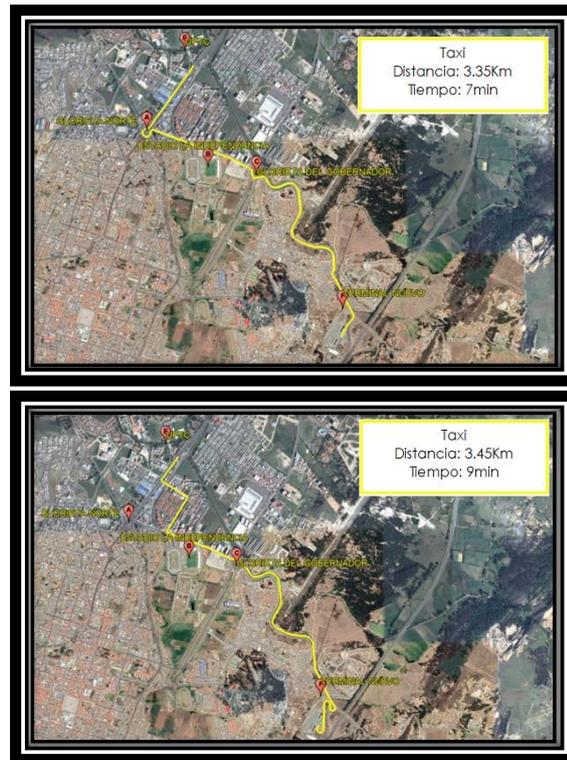
Fuente: Fotos tomadas con cámara propia.





Este mismo procedimiento se realizó para tomar tiempo, distancia y costo en el servicio de taxi, por la ruta más cercana desde y hacia los puntos de estudio, el recorrido se muestra a continuación en la figura 12.

Figura 12. Recorrido en Taxi



Fuente: Imagen captada desde la aplicación de GOOGLE EARTH.

Dado que el proyecto consiste en la evaluación de bicicletas de pedaleo asistido, se logró gestionar el préstamo de un vehículo con las características básicas y buscando un perfil semejante al que se puede implementar en el servicio público de préstamo de bicicletas. La empresa SPECIALIZED facilitó la bicicleta TURBO VADO 4.0 con las especificaciones mostradas en la tabla 1 que cumplen las características según la resolución 160 de 2017 del ministerio de transporte. El controlador de pedaleo se desactiva al alcanzar los 25Km/h y reduce los esfuerzos al incrementar las pendientes dentro de los tramos de estudio.

Tabla 1. Especificaciones de la bicicleta de pedaleo asistido Turbo Vado 4.0

 <b>E - BIKE TURBO VADO 4.0</b> 	
MOTOR	Specialized 2.0, 70Nm torque, custom tuned motor, 250W nominal
UI/REMOTE	MasterMind TCD, w/handlebar remote, built-in anti-theft feature, Bluetooth® connectivity, customizable display pages
BATERIA	Specialized U2-710, alloy casing, state of charge display, 710Wh
CARGADOR	Custom charger, 42V4A w/ Rosenberger plug, 100-240V
CABLEADO	Custom wire harness

Fuente: SPECIALIZED (SF), tomado de:

<https://www.specialized.com/co/es/turbo-levo-sl-comp/p/175107/specs>

Para hacer la prueba de campo, se seleccionaron dos personas con biotipos diferentes, un usuario femenino que no realiza actividad física frecuente el cual realizó 3 viajes en vehículo tipo B y uno en vehículo tipo A y un usuario masculino deportista que realizó 3 viajes en vehículo tipo A y uno en vehículo tipo B (figura 13), ambos usuarios contaron con la aplicación STRAVA que registró los datos de tiempo, distancia y velocidad de cada una de las rutas sumando un total de 8 viajes de prueba (ver figuras 14 y 15)

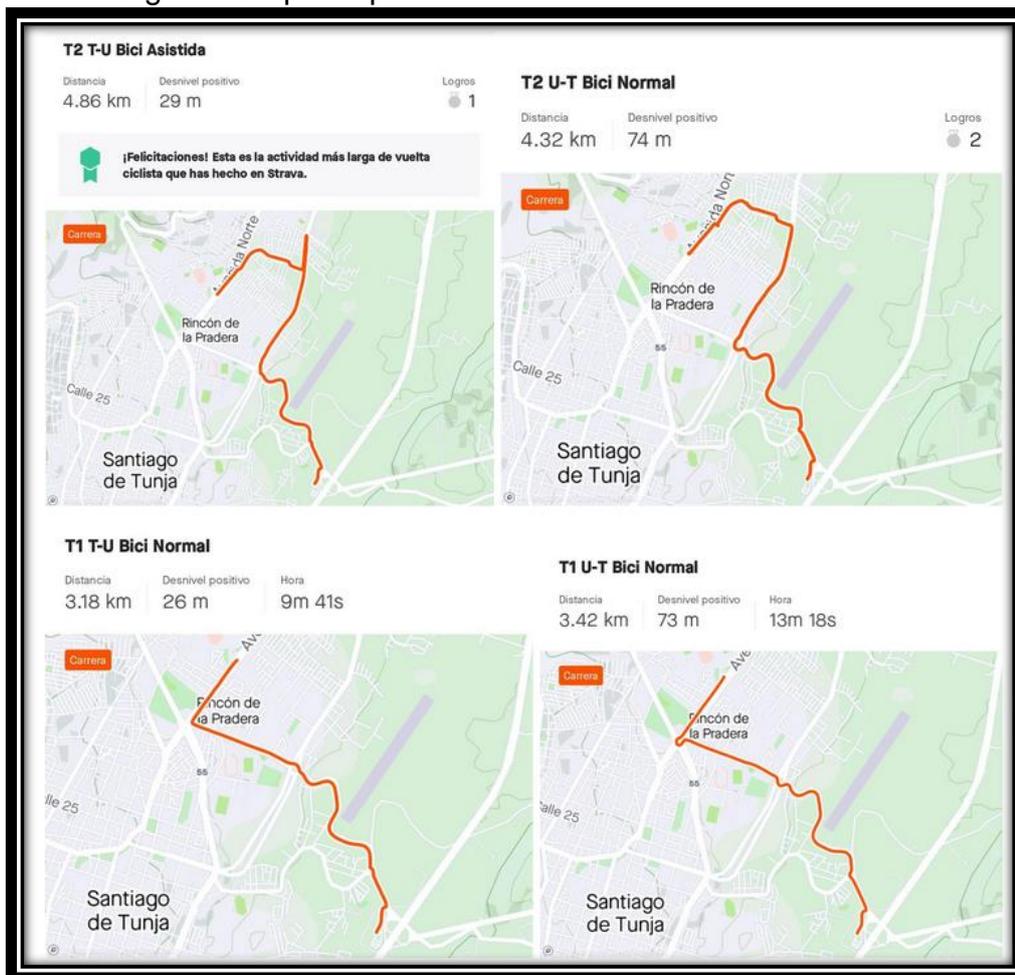
Figura 13. Participantes de la prueba de campo



Fuente: Fotos tomadas con cámara propia

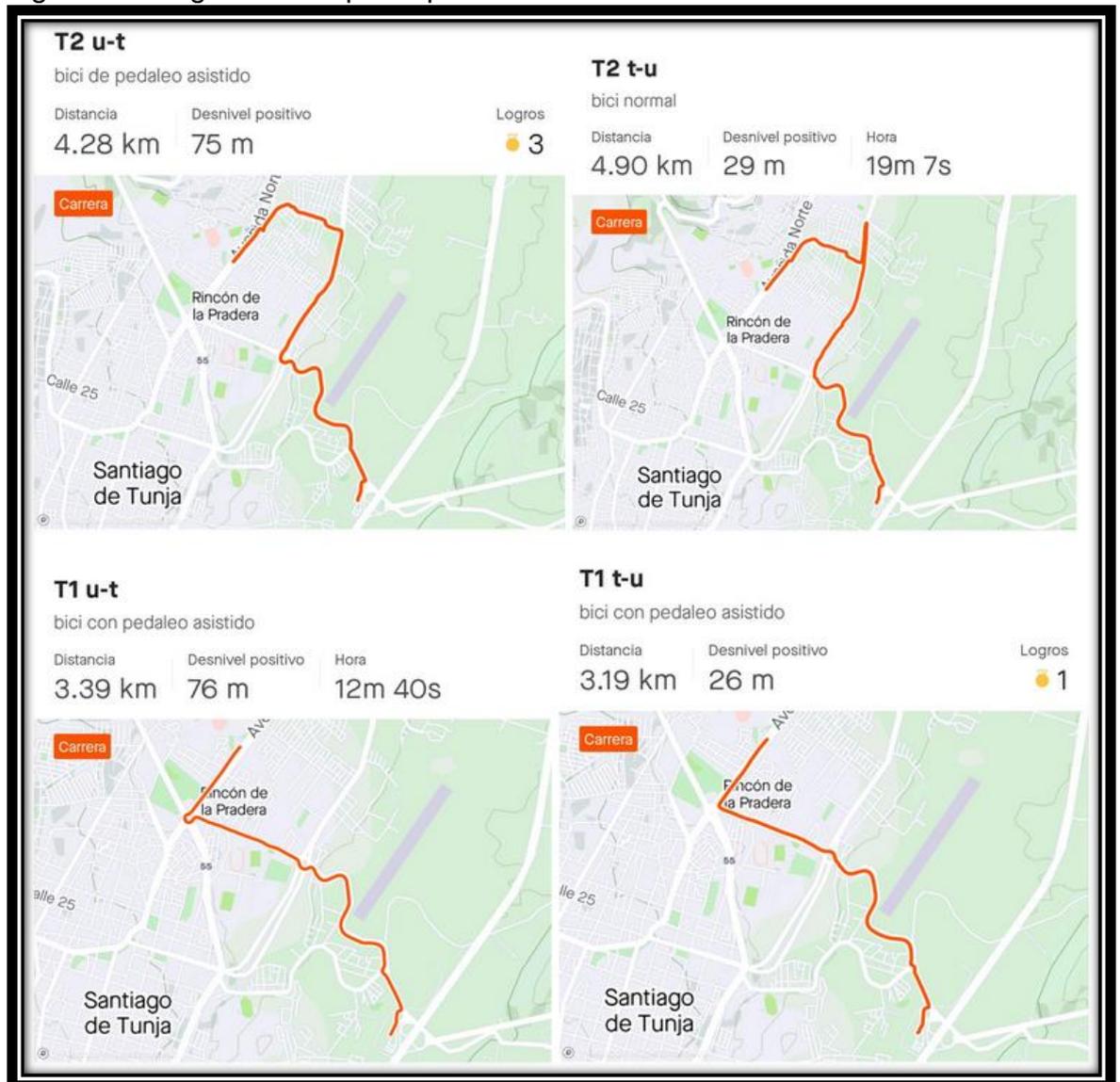


Figura 14. Registro del participante masculino



Fuente: Imagen captada desde la aplicación STRAVA, teniendo en cuenta recorrido en bicicleta. Creación Propia.

Figura 15. Registro de la participante femenina



Fuente: Imagen captada desde la aplicación STRAVA, teniendo en cuenta recorrido en bicicleta. Creación Propia.

## 2.2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y APLICACIÓN DE ENCUESTAS

Con los datos obtenidos en tiempos de viaje en los dos tipos de bicicleta, taxi y buses se realizó la respectiva asignación de niveles y atributos siendo el nivel cada medio de transporte y como sus atributos tiempo y costo para cada uno, dada la importancia de estos para la elección del usuario.

Tabla 2. Niveles y atributos para diseño experimental de encuestas PD

BICICLETA PÚBLICA	BUS	TAXI
<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo de viaje (bajo, medio o alto)</li><li>• Costo (bajo, medio o alto)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo de viaje (bajo, medio o alto)</li><li>• Costo (Bajo, esperado, alto)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo de viaje (bajo, medio o alto)</li><li>• Costo (Bajo, esperado, alto)</li></ul>

Fuente: Creación Propia.

Con la colaboración del ingeniero Phd. Luis Gabriel Márquez, se realizó el proceso del diseño experimental, con los atributos de tiempo y costo para cada nivel, obteniendo 18 tratamientos según los criterios de Kocur organizados en función de dos escenarios, ida y vuelta.

Los atributos analizados son:

- bici.t\_bici
- bici.c\_bici
- bus.t\_bus
- bus.c\_bus
- taxi.t\_taxi
- taxi.c\_taxi

Con el tratamiento realizado se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3. Resultado de diseño experimental para encuesta de PD

Situación	bici.t_bici	bici.c_bici	bus.t_bus	bus.c_bus	taxi.t_taxi	taxi.c_taxi	Bloque
1	10	800	25	1600	7	5000	B1
	10	1200	30	2000	10	5000	B1
	15	1000	35	2000	7	5500	B1
	10	1000	30	1800	10	5500	B2
	10	800	35	1600	15	5500	B2
	15	1200	25	1600	10	6000	B2
	10	1200	35	2000	15	6000	B3
	10	1000	25	1800	7	6000	B3
	15	800	30	1800	15	5000	B3
2	15	1000	30	1600	15	6000	B1
	20	1200	25	1800	15	5500	B1
	20	800	35	1800	10	6000	B1
	15	1200	35	1800	7	5000	B2
	20	800	30	2000	7	6000	B2
	20	1000	25	2000	15	5000	B2
	15	800	25	2000	10	5500	B3
	20	1000	35	1600	10	5000	B3
	20	1200	30	1600	7	5500	B3

Fuente: Creación propia, haciendo uso de MICROSOFT EXCEL.

Para cada nivel y alternativa quedó establecido de la siguiente manera

Tabla 4. Niveles, tiempo y costo para diseño experimental en encuesta de PD

Elección	Niveles	Tiempo	Costo
Bici	1	10	800
	2	15	1000
	3	20	1200
Bus	1	25	1600
	2	30	1800
	3	35	2000
Taxi	1	7	5000
	2	10	5500
	3	15	6000

Fuente: Creación propia, haciendo uso de MICROSOFT EXCEL.

Antes de la aplicación de las encuestas se debe realizar la estimación del tamaño de la muestra, para esto se tuvo en cuenta un nivel de confianza del 95% para una población de 30.000 estudiantes según datos de estadísticas de la UPTC, teniendo como resultado 379 encuestas. Tómese la idea de encuesta como una situación, de tal forma que para cada encuestado se le presenten 6 situaciones y por lo tanto serán seis encuestas para cada individuo

La presentación de la encuesta se realizó por medio de la herramienta GOOGLE FORMS, contando con 3 secciones diferentes, la primera con el encabezado y solicitud de datos personales básicos los cuales fueron de ayuda para la caracterización de la muestra, las siguientes dos secciones presentaban cada una tres situaciones en sentido ida y vuelta de los puntos de análisis con cuatro posibles respuestas, en donde se indican los medios (bici, bus, taxi y caminata) con el costo y tiempo correspondiente, estas encuestas se pueden visualizar en el Anexo B.

Con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis de la demanda para cada medio de transporte según las características de los individuos como el género, la edad, el estrato, el valor de la matrícula, el semestre cursado, si durante presencialidad viajaba fuera de la ciudad y si sabía montar bicicleta o no, todo lo anterior comparándolo con el medio escogido y de esta manera se obtuvieron resultados para cada situación. A continuación, se presentarán las gráficas del bloque 1 de encuestas que servirán de ejemplo para la continuación del trabajo. Los demás resultados se pueden consultar en el Anexo C

Figura 16. Situación 1 - Bloque 1 - Terminal Nuevo – UPTC

The figure displays two side-by-side survey form boxes. The left box is titled 'Situación 1 \* IDA' and the right box is titled 'Situación 1 \* VUELTA'. Both boxes contain four radio button options, each with a mode of transport, a time, and a cost.

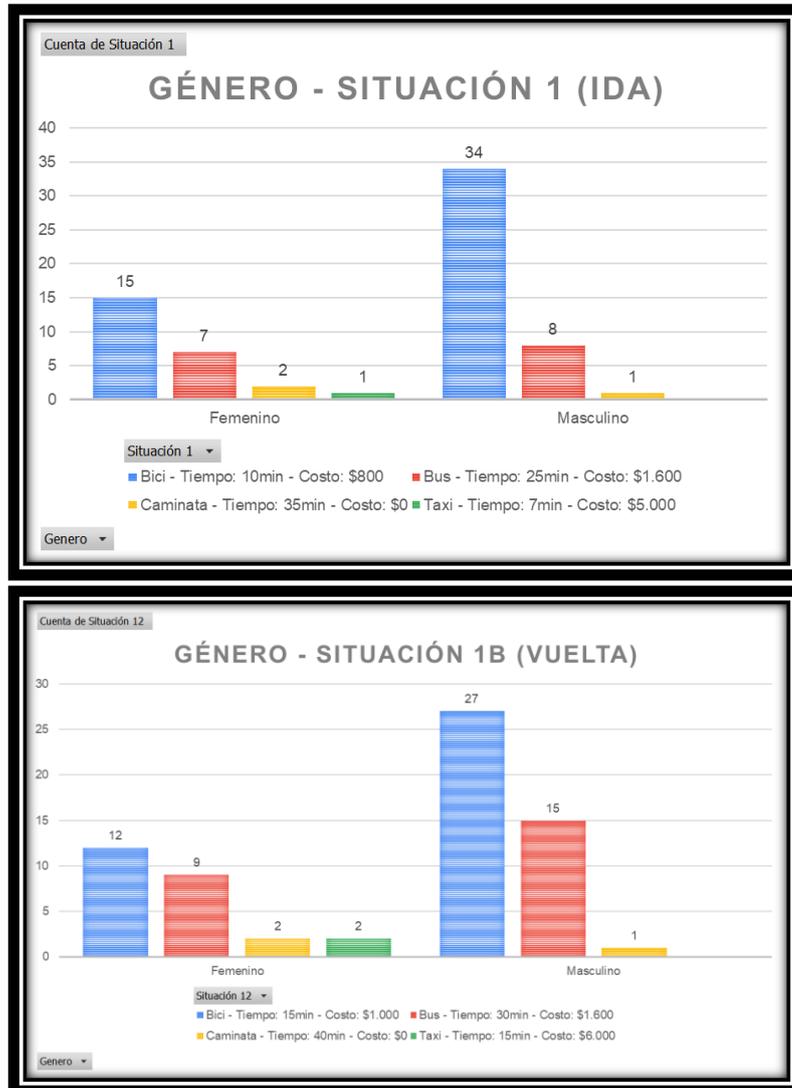
Modo de Transporte	Tiempo	Costo
Bici	10min	\$800
Bus	25min	\$1.600
Taxi	7min	\$5.000
Caminata	35min	\$0

Modo de Transporte	Tiempo	Costo
Bici	15min	\$1.000
Bus	30min	\$1.600
Taxi	15min	\$6.000
Caminata	40min	\$0

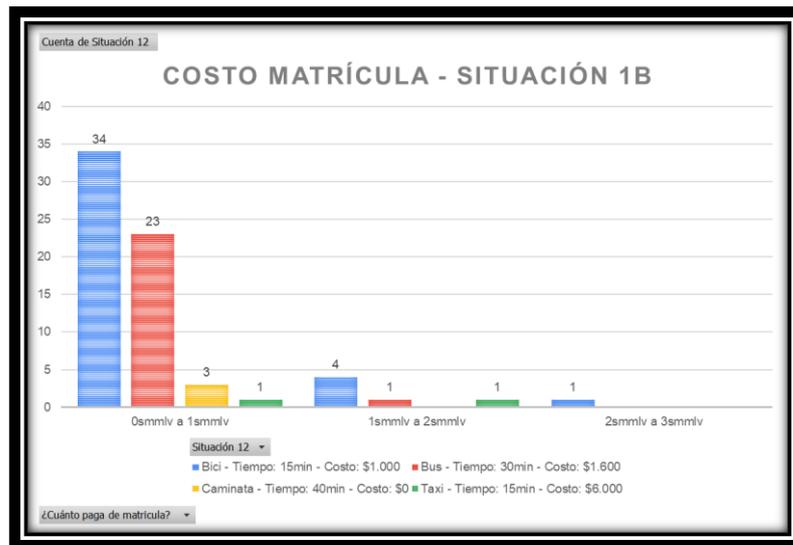
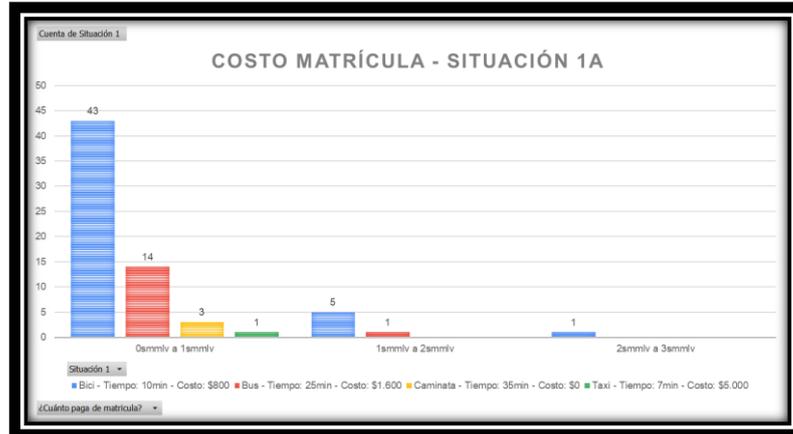
Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta GOOGLE FORMS.

Figura 17. Gráfica Género vs Situación 1 Terminal Nuevo – UPTC



Fuente: Creación Propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL.

Figura 18. Gráfica Costo matrícula vs Situación 1 UPTC - Terminal Nuevo



Fuente: Creación Propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL.

Figura 19. Situación 2 - Bloque 1 - Terminal Nuevo – UPTC

**Situación 2\***      **IDA**

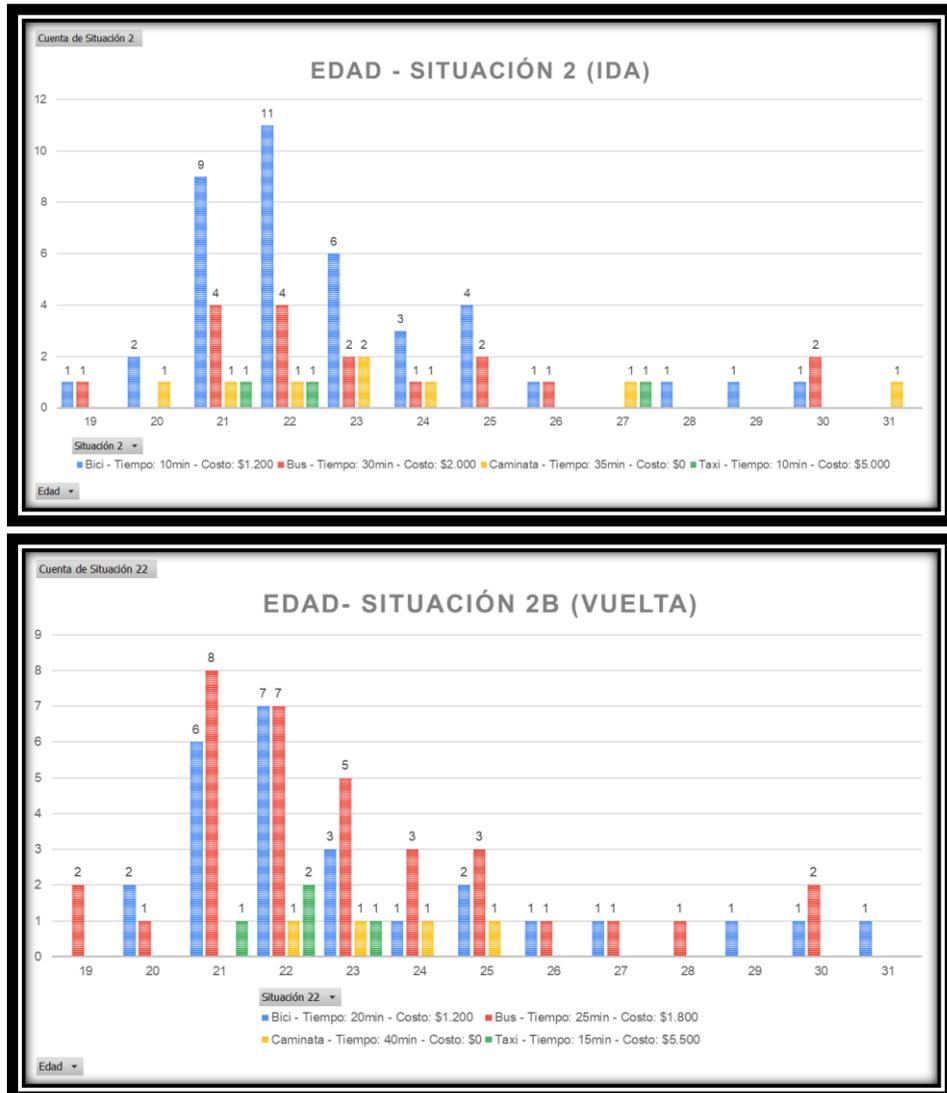
- Bici - Tiempo: 10min - Costo: \$1.200
- Bus - Tiempo: 30min - Costo: \$2.000
- Taxi - Tiempo: 10min - Costo: \$5.000
- Caminata - Tiempo: 35min - Costo: \$0

**Situación 2\***      **VUELTA**

- Bici - Tiempo: 20min - Costo: \$1.200
- Bus - Tiempo: 25min - Costo: \$1.800
- Taxi - Tiempo: 15min - Costo: \$5.500
- Caminata - Tiempo: 40min - Costo: \$0

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta GOOGLE FORMS.

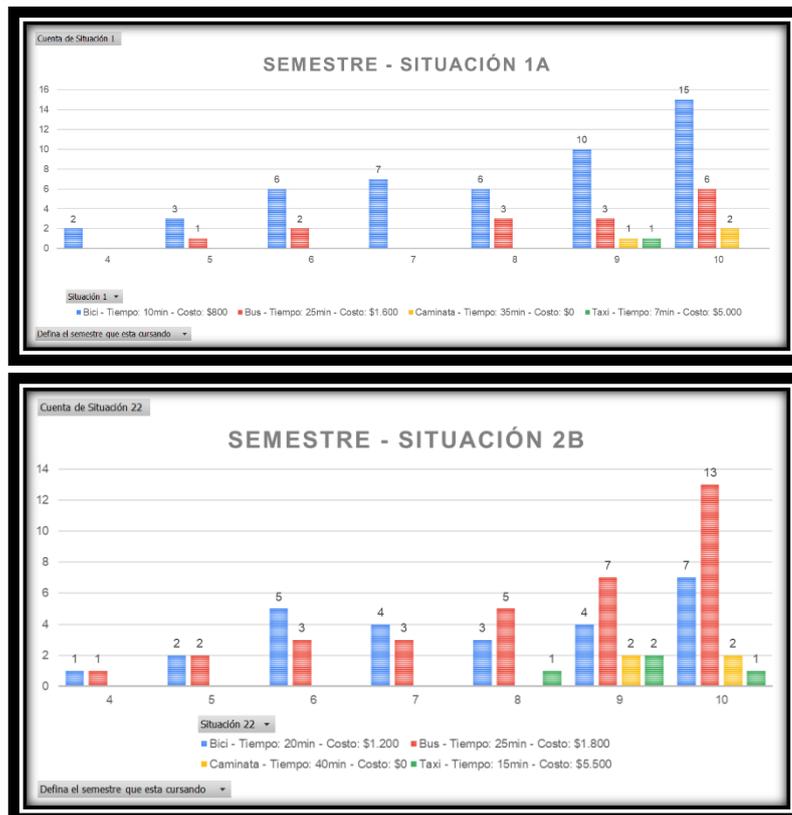
Figura 20. Gráfica Edad vs Situación 2 Terminal Nuevo – UPTC



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL.



Figura 21. Gráfica Semestre vs Situación 2 UPTC - Terminal Nuevo



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL.

Figura 22. Situación 3 - Bloque 1 - Terminal Nuevo - UPTC

**Situación 3 \***

**IDA**

Bici - Tiempo: 15min - Costo: \$1.000

Bus - Tiempo: 35min - Costo: \$2.000

Taxi - Tiempo: 7min - Costo: \$5.500

Caminata - Tiempo: 35min - Costo: \$0

**Situación 3 \***

**VUELTA**

Bici - Tiempo: 20min - Costo: \$800

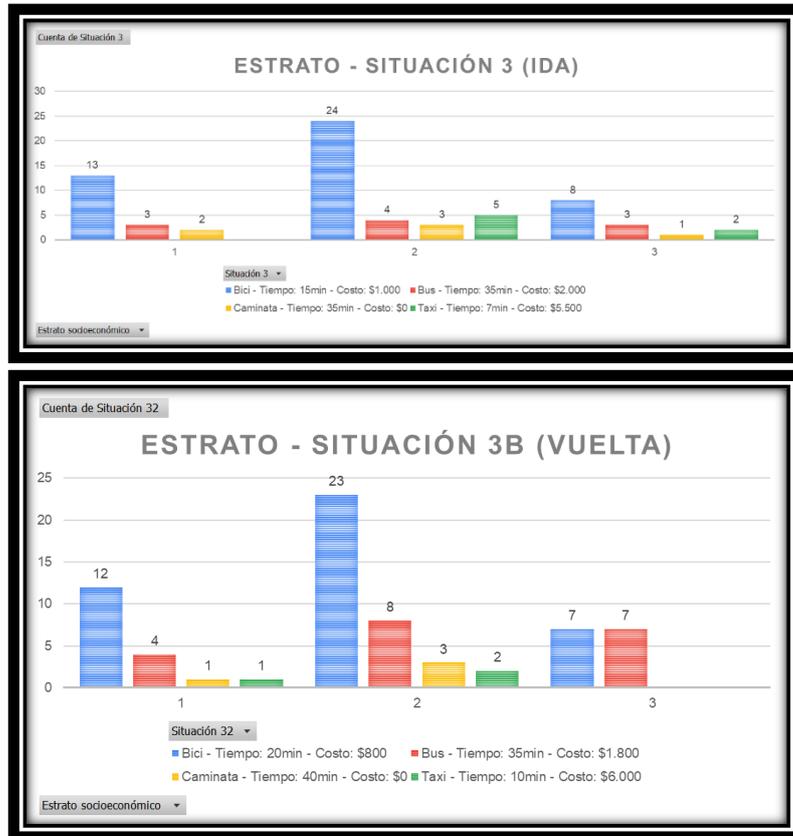
Bus - Tiempo: 35min - Costo: \$1.800

Taxi - Tiempo: 10min - Costo: \$6.000

Caminata - Tiempo: 40min - Costo: \$0

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta GOOGLE FORMS.

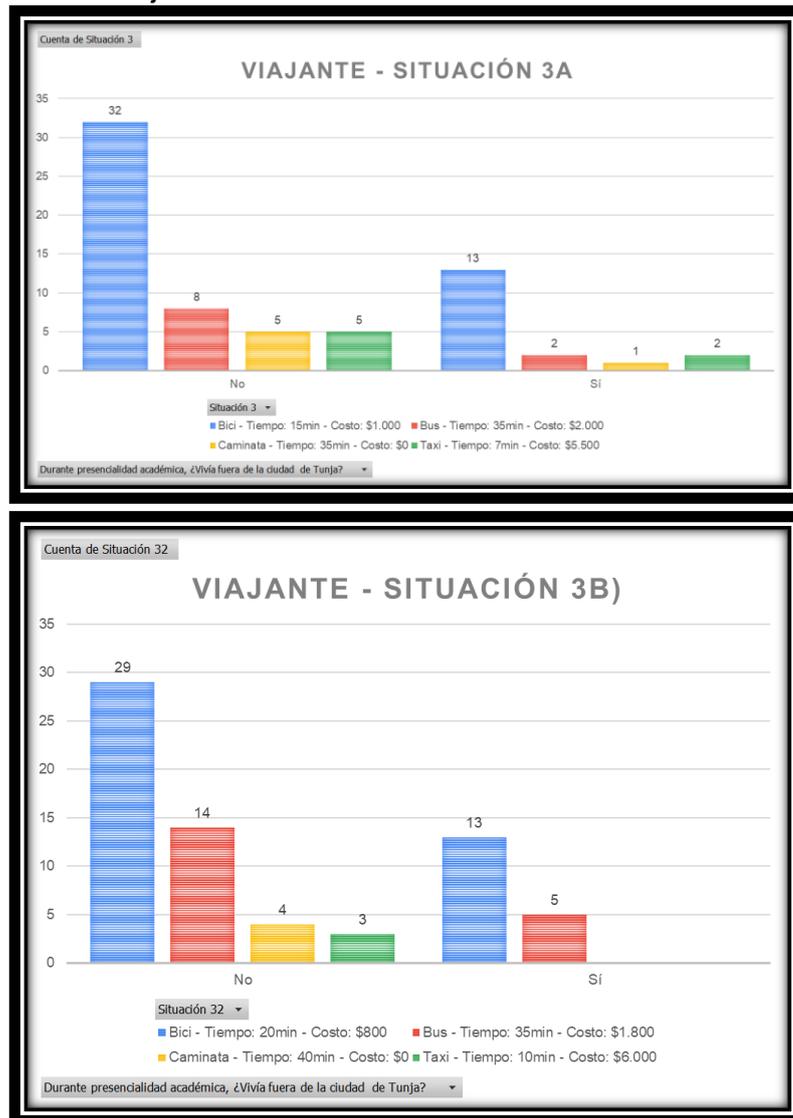
Figura 23. Gráfica Estrato vs Situación 3 Terminal Nuevo – UPTC



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL.



Figura 24. Gráfica Viajante vs Situación 3 UPTC - Terminal Nuevo



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL.

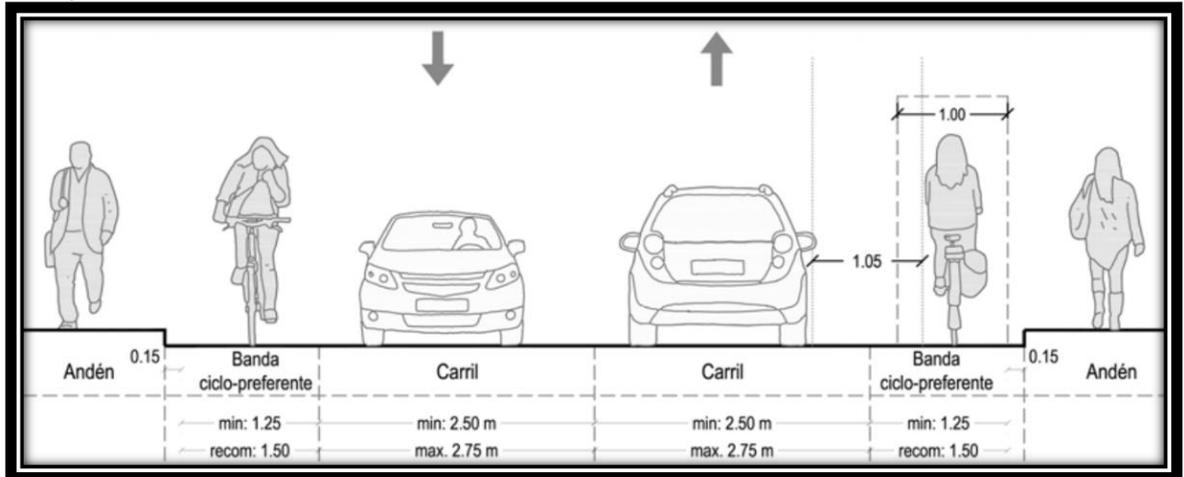
### 2.2.5 ELECCIÓN DE SECCIÓN TRANSVERSAL PARA TRAMO PROPUESTO

Según datos suministrados por la alcaldía se tiene un tramo propuesto que permitirá unir al terminal de transporte con la parte norte de la ciudad, con ciclorutas, conectando lugares de importancia económica como lo son los centros comerciales y de importancia educativa como lo son las universidades que se encuentran en la zona comprendida entre la glorieta norte y el barrio los Muiscas, como se muestra en la figura 25.

Conociendo estas rutas y buscando un tramo que permita unir al terminal con la UPTC de forma más eficiente se procedió a buscar una vía que permitiera disminuir distancias, para este caso se contempló la Avenida Olímpica (frente al estadio la Independencia), la cual permite unir la ciclorruta desde la glorieta del gobernador hasta la glorieta norte, y llegar a la UPTC por la Av. Norte, siendo

una ruta más corta que la propuesta por la alcaldía para unir estos puntos de importancia, dada la sección transversal tipo de la Avenida Olímpica, y buscando el menor costo posible al momento de una posible intervención se propone una banda ciclo preferente la cual permitirá el flujo de bicicletas y de vehículos, según lo estipulado en la guía de ciclo infraestructura BANDAS CICLOPREFERENTES, donde se estipula un ancho de banda de 1.00 m y se tiene en cuenta que la separación entre el vehículo y el usuario de la bicicleta debe ser de 1.05 m.

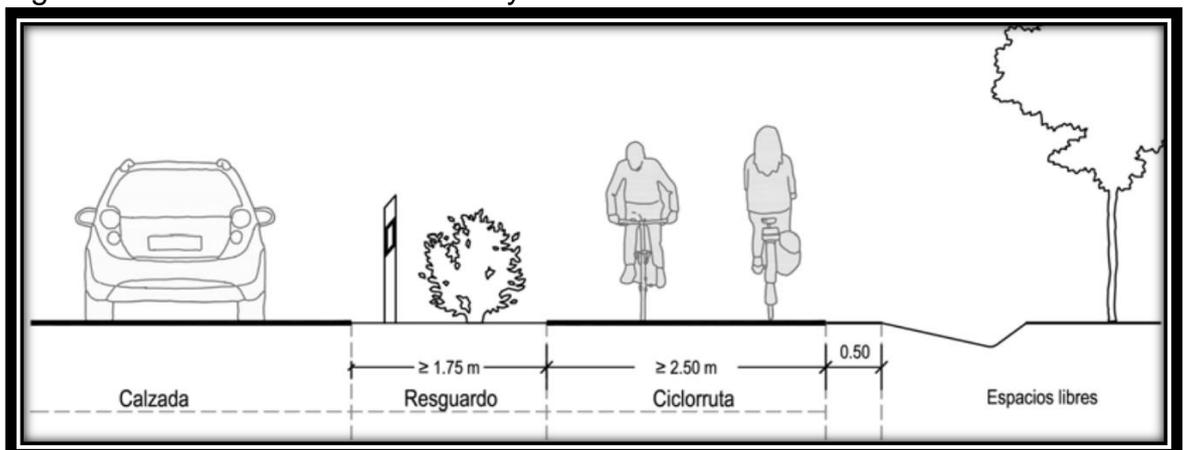
Figura 25. Dimensiones de referencia para una sección con bandas ciclopreferentes



Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia (2016), pág. 106.

Para el tramo entre la glorieta norte y la UPTC pasando por la Avenida Norte se propuso una ciclorruta a la derecha en el sentido sur - norte, debidamente señalizada y con las medidas estándar según el manual de ciclo infraestructura de Colombia.

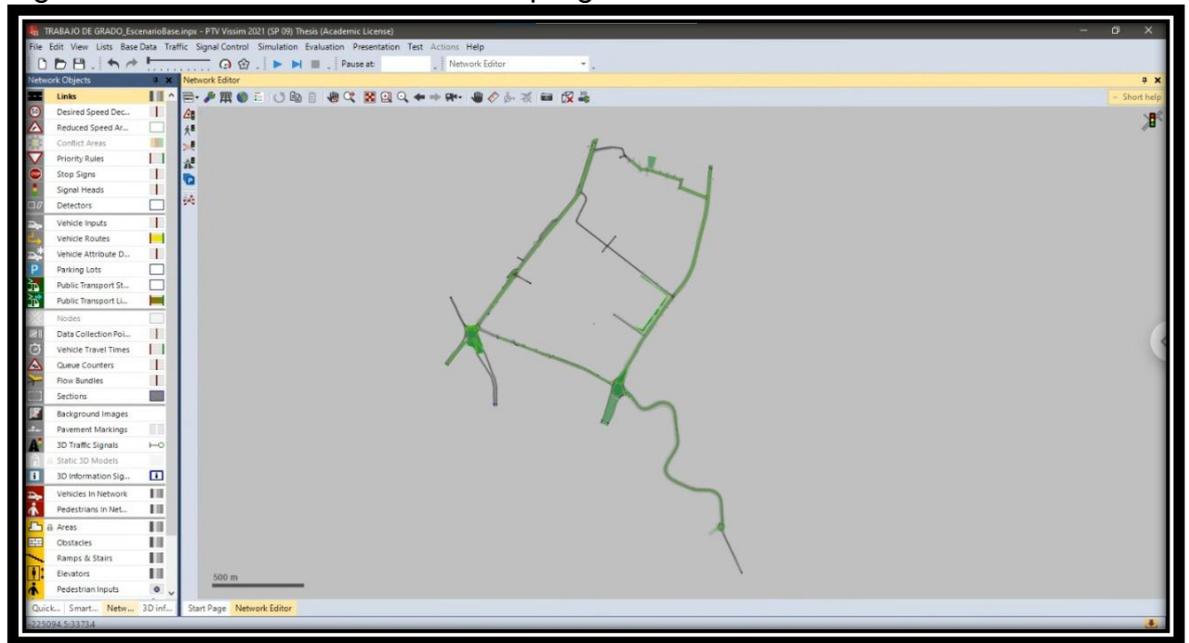
Figura 26. Ciclorruta entre calzada y cuneta



Fuente: Ministerio de Transporte de Colombia (2016), pág. 115.

Con el software VISSIM se realizó la simulación de las vías que conectan los puntos de estudio, y por los cuales pasará la ciclorruta propuesta en el proyecto BICIUNE de la ciudad de Tunja.

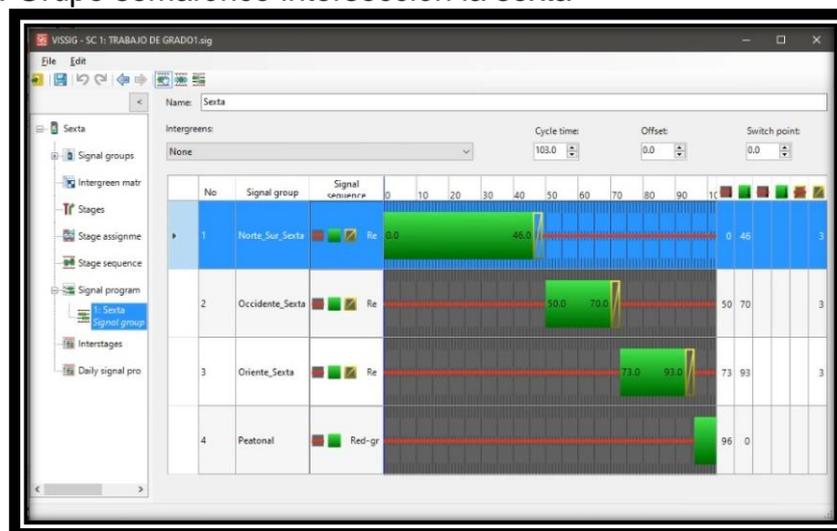
Figura 27. Simulación en interfaz de programa VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

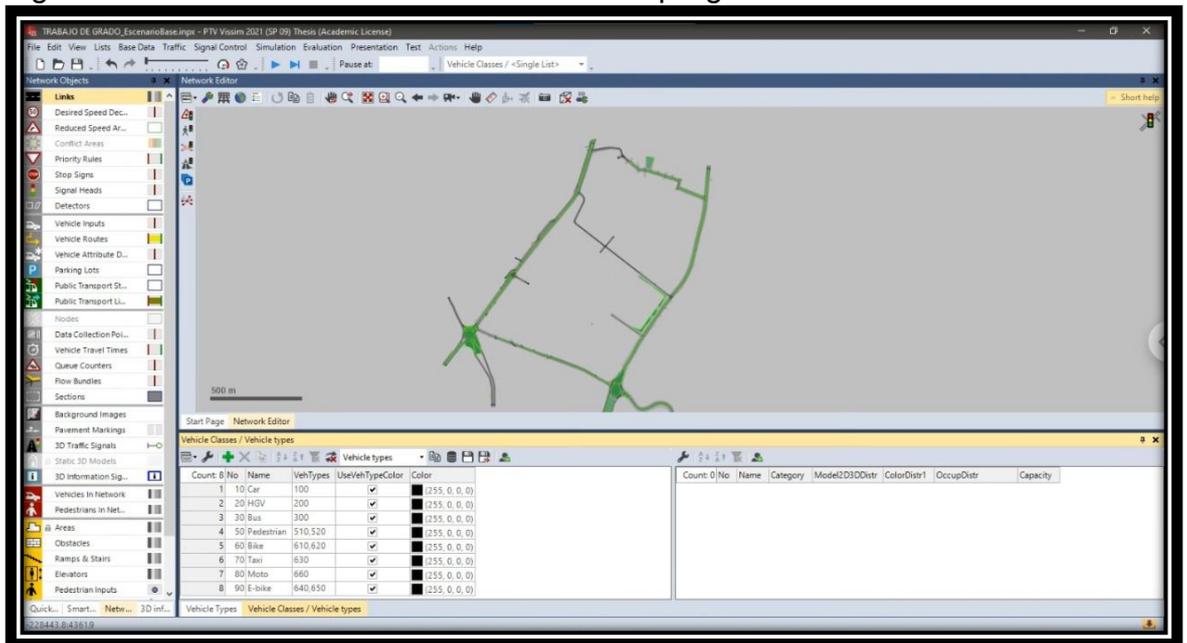
Para la simulación se realizaron tres escenarios los cuales tienen las mismas características iniciales de: tipo de vehículo, tiempos de semaforización, composición vehicular, comportamientos vehiculares y zonas limite.

Figura 28. Grupo semafórico intersección la sexta



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

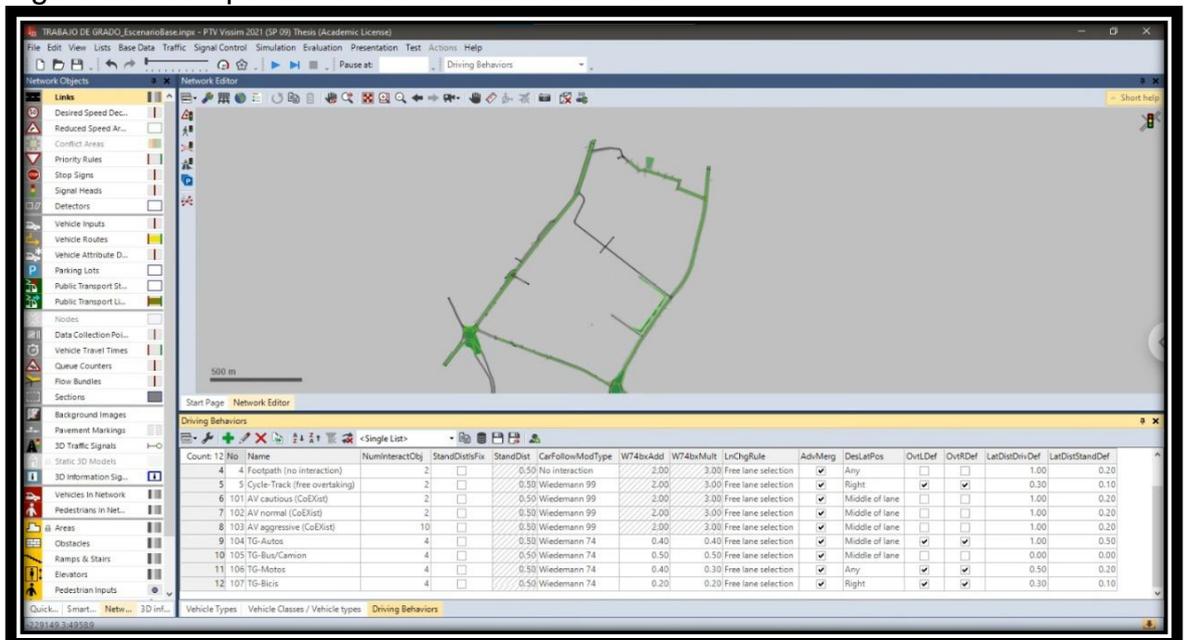
Figura 29. Clases de vehículos en interfaz de programa VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

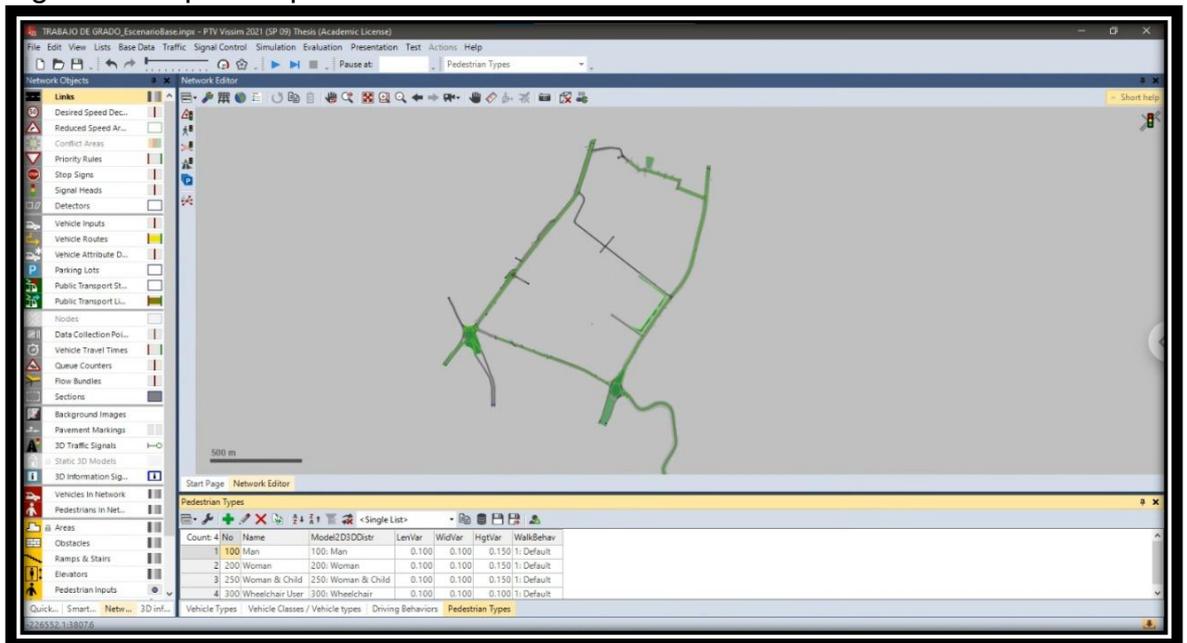
Los comportamientos vehiculares fueron asignados según el documento creado por el grupo de simulación de la secretaria distrital de movilidad de Bogotá, a su vez se asignaron las diferentes configuraciones de peatones, las cuales permiten un modelo más realista, teniendo en cuenta que no todos los usuarios tienen la misma velocidad.

Figura 30. Comportamientos vehiculares VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

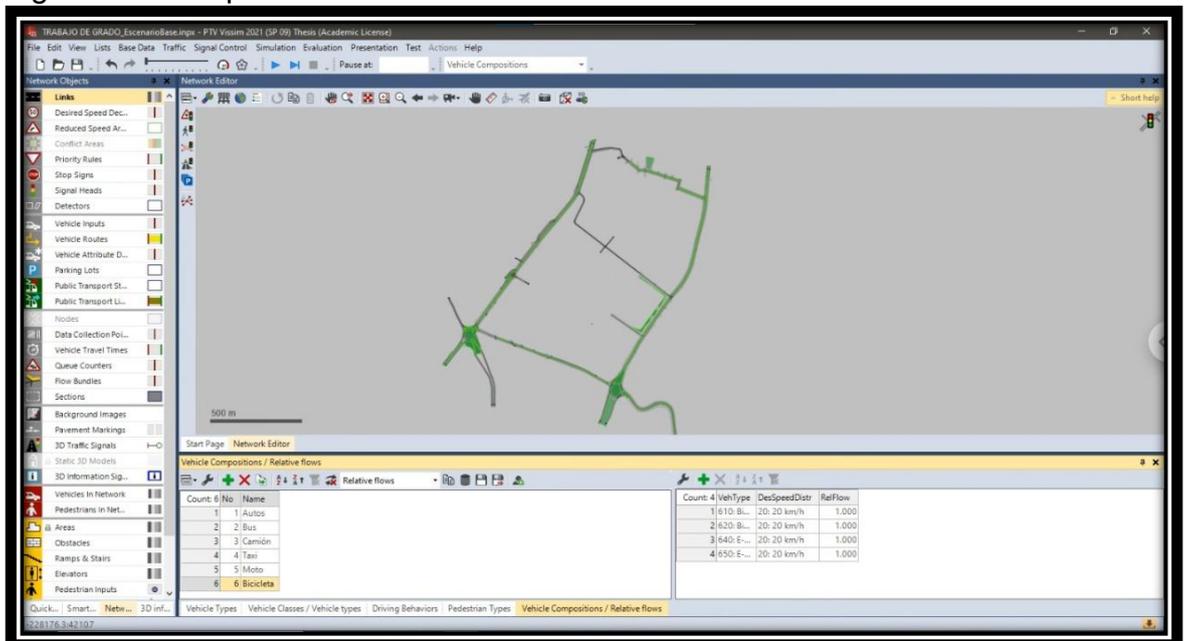
Figura 31. Tipos de peatones VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

Los valores de composición vehicular fueron obtenidos de los aforos realizados y la posterior tabulación de sus datos, con los cuales se hicieron las matrices de probabilidades origen destino para todo el escenario.

Figura 32. Composición vehicular VISSIM

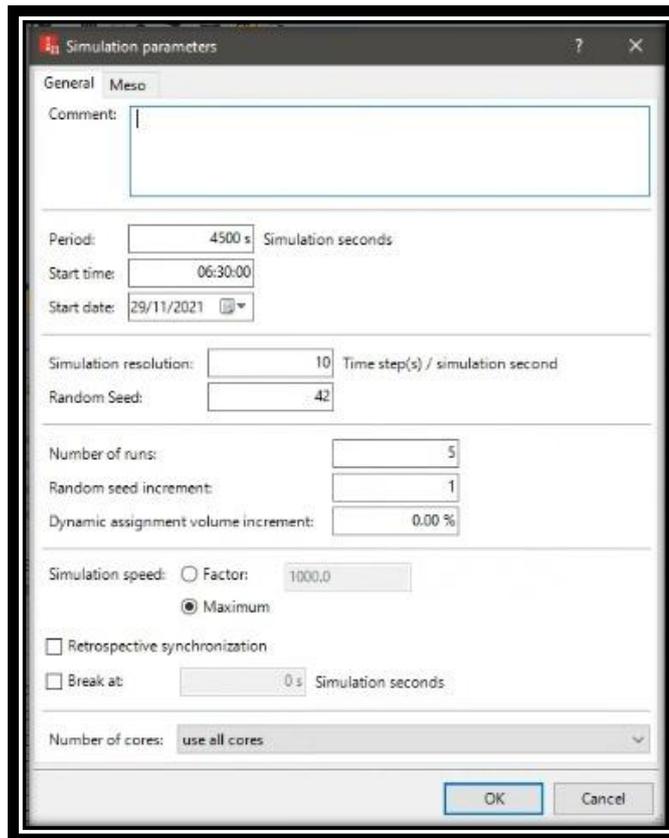


Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

El tiempo de simulación para todos los escenarios fue de 1 hora, expresado en segundos (3600 s), mas 15 minutos (900 s) que son para la respectiva precarga del modelo.

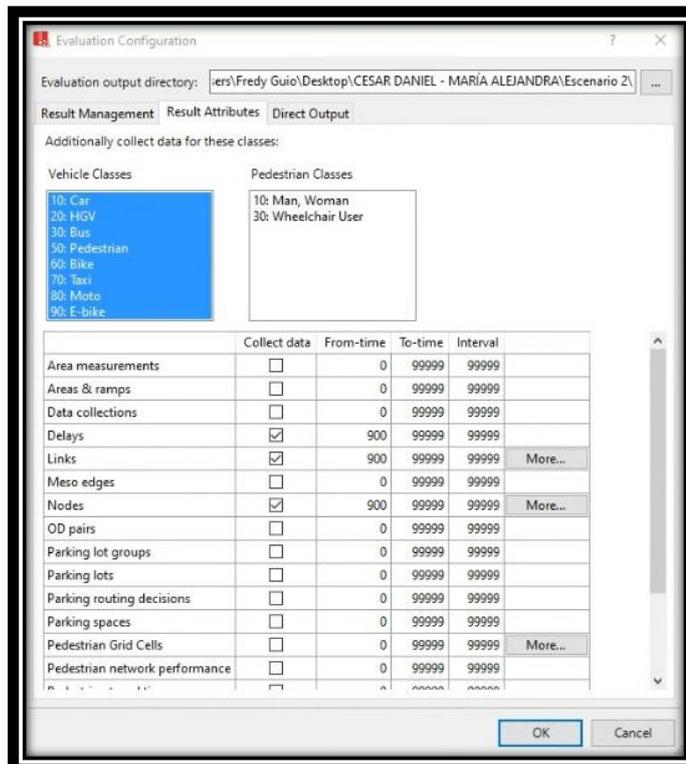


Figura 33. Parámetros de simulación VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

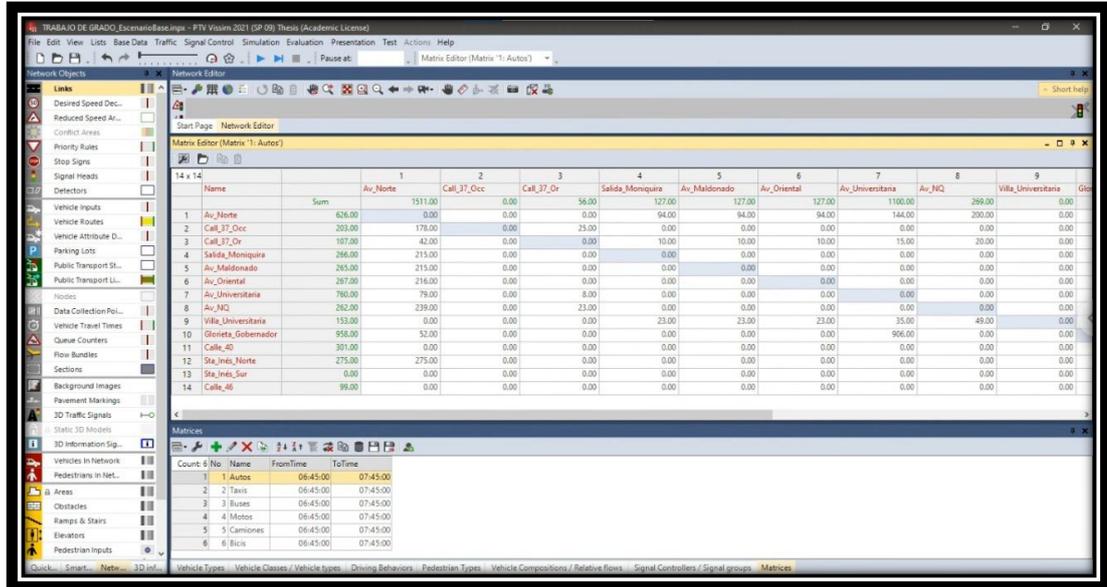
Figura 34. Configuración de evaluación VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

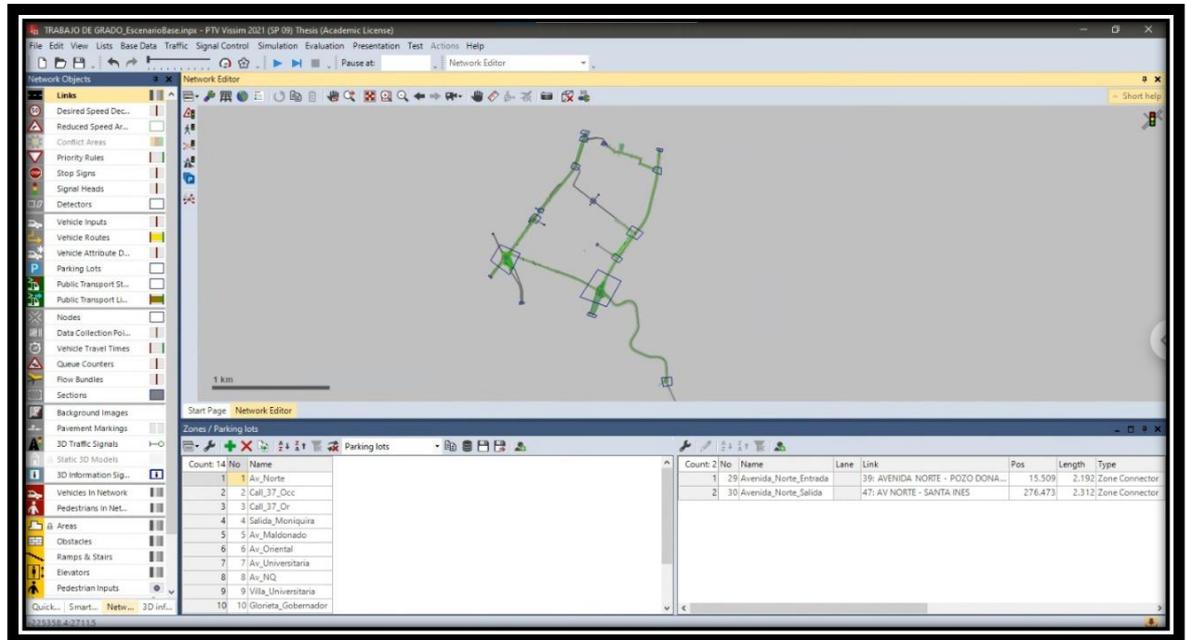
Luego de realizar la asignación de parámetros y la composición vehicular, se procedió a ingresar los datos en el editor de matrices del software, según las correspondientes zonas de origen y destino que se muestran en el Anexo D.

Figura 35. Editor de matrices VISSIM



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

Figura 36. Zonas VISSIM



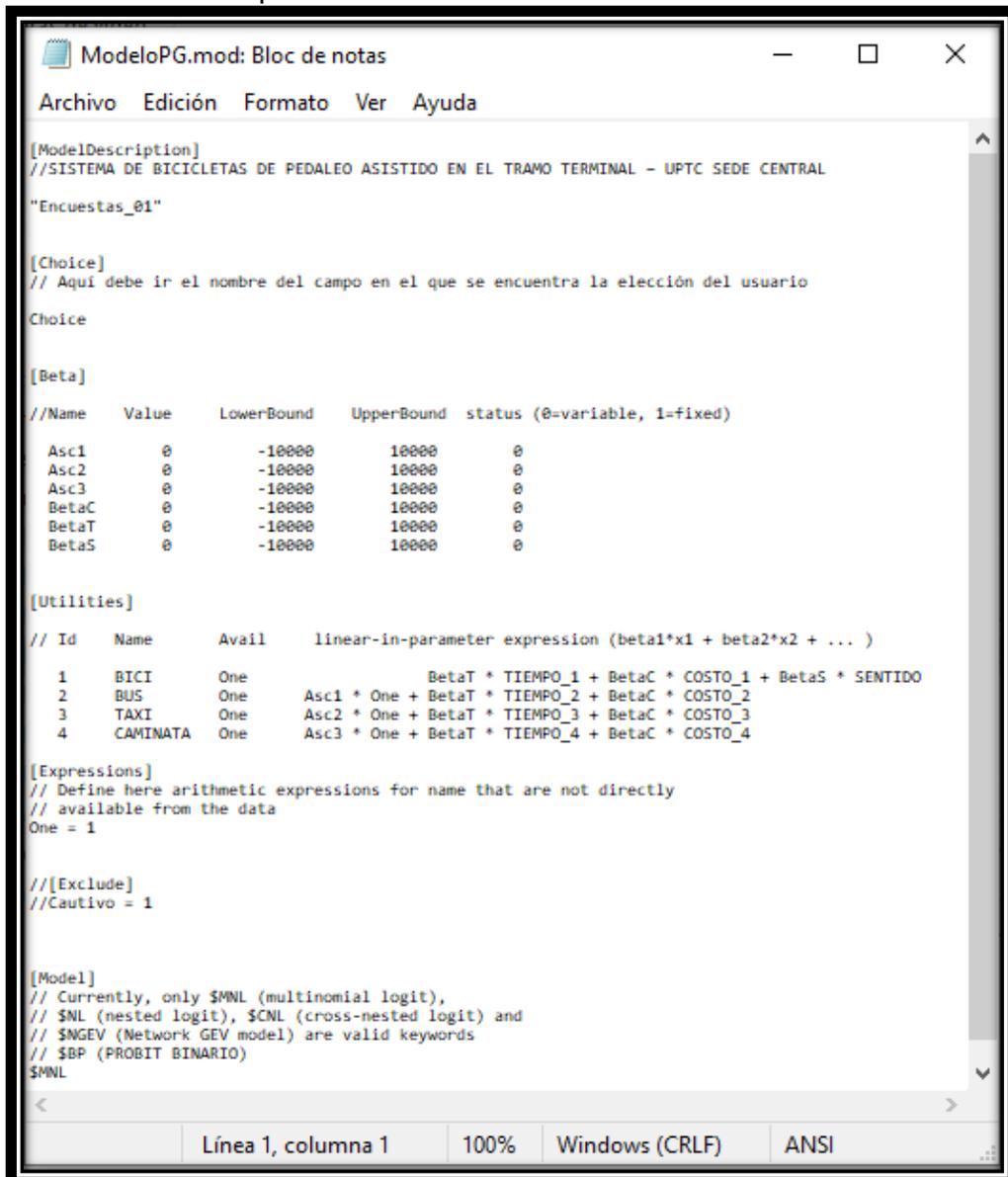
Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM.

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO

#### 3.1 ESTIMACIÓN DE DEMANDA

Luego de dar tratamiento a los datos obtenidos por medio de las encuestas de PD, se procedió a organizarlos en archivos de notas para que el programa Biogeme los procesara, poniendo el individuo, las opciones, el sentido y la elección que hizo cada usuario en cada situación (ver Anexo E), al igual que un archivo de notas con los parámetros básicos que describen las constantes que se quieren hallar, las funciones de utilidad y el modelo a aplicar como se muestra en la figura 37.

Figura 37. Modelo de parámetros iniciales



```
[ModelDescription]
//SISTEMA DE BICICLETAS DE PEDALEO ASISTIDO EN EL TRAMO TERMINAL - UPTC SEDE CENTRAL
"Encuestas_01"

[Choice]
// Aquí debe ir el nombre del campo en el que se encuentra la elección del usuario
Choice

[Beta]
//Name      Value      LowerBound  UpperBound  status (0=variable, 1=fixed)
Asc1        0          -10000      10000       0
Asc2        0          -10000      10000       0
Asc3        0          -10000      10000       0
BetaC       0          -10000      10000       0
BetaT       0          -10000      10000       0
BetaS       0          -10000      10000       0

[Utilities]
// Id      Name      Avail      linear-in-parameter expression (beta1*x1 + beta2*x2 + ... )
1         BICI      One        BetaT * TIEMPO_1 + BetaC * COSTO_1 + BetaS * SENTIDO
2         BUS       One        Asc1 * One + BetaT * TIEMPO_2 + BetaC * COSTO_2
3         TAXI     One        Asc2 * One + BetaT * TIEMPO_3 + BetaC * COSTO_3
4         CAMINATA One        Asc3 * One + BetaT * TIEMPO_4 + BetaC * COSTO_4

[Expressions]
// Define here arithmetic expressions for name that are not directly
// available from the data
One = 1

//[Exclude]
//Cautivo = 1

[Model]
// Currently, only $MNL (multinomial logit),
// $NL (nested logit), $CNL (cross-nested logit) and
// $NGEV (Network GEV model) are valid keywords
// $BP (PROBIT BINARIO)
$MNL
```

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta BIOGENE

Se realizaron dos tratamientos, inicialmente se tomaron 225 usuarios que fue el total de encuestados y luego se eliminaron 66 usuarios lexicográficos y de ambos casos se obtuvieron los siguientes valores.

Tabla 5. Resultados estimados para viajes entre la UPTC y el Terminal Juana Velasco de Gallo

PARÁMETRO	TOTAL USUARIOS		SIN LEXICOGRÁFICOS	
	VALOR EST	Test-t	VALOR EST	Test-t
Asc1	1,09	4,25	1,79	5,81
Asc2	0,933	1,21	1,99	2,24
Asc3	-1,13	-3,15	-0,336	-0,8
BetaC	-0,00074	-4,28	-0,000983	-4,88
BetaS	-0,151	-1,16	-0,246	-1,59
BetaT	-0,079	-6,89	-0,113	-8,1

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Con las constantes BetaC y BetaT se obtiene el valor subjetivo del tiempo para el total de usuarios (VSTt) y sin los usuarios lexicográficos (VSTs) de la siguiente manera.

$$VST = \frac{BetaT}{BetaC}$$

$$VSTt = \frac{-0.079}{-0.00074} = 107 \$/min$$

$$VSTs = \frac{-0.113}{-0.000983} = 115 \$/min$$

Como se mencionó anteriormente, se tienen 18 situaciones diferentes, es así que por medio de las funciones de utilidad y con las constantes halladas, se puede hallar la probabilidad de demanda en cada situación con la siguiente función

$$P = \frac{e^{(U_i)}}{e^{\sum(U_{i1}+U_{i2}+U_{i3}+U_{i4})}}$$

En la tabla 6 se muestran los datos estimados de las funciones de utilidad para luego hallar las probabilidades que se muestran en la tabla 7.

Tabla 6. Valores de utilidad para cada situación según el medio de transporte

FUNCIONES DE UTILIDAD							
U_Bici_T	U_Bici_SL	U_Bus_T	U_Bus_SL	U_Taxi_T	U_Taxi_SL	U_Caminata_T	U_Caminata_SL
-1,38	-1,92	-2,07	-2,61	-2,23	-2,41	-4,29	-4,73
-1,53	-2,11	-2,61	-3,37	-2,77	-3,17	-4,83	-5,50
-1,68	-2,31	-3,16	-4,13	-3,31	-3,93	-5,38	-6,26
-1,68	-2,31	-2,76	-3,57	-2,92	-3,37	-4,98	-5,69
-1,38	-1,92	-2,86	-3,74	-3,02	-3,54	-5,08	-5,86
-1,53	-2,11	-2,22	-2,80	-2,37	-2,60	-4,44	-4,93
-1,93	-2,68	-3,16	-4,13	-3,31	-3,93	-5,38	-6,26
-2,07	-2,87	-2,07	-2,61	-2,23	-2,41	-4,29	-4,73
-1,78	-2,48	-2,61	-3,37	-2,77	-3,17	-4,83	-5,50
-2,08	-2,92	-2,46	-3,17	-2,62	-2,97	-4,68	-5,30
-2,22	-3,12	-3,01	-3,93	-3,16	-3,73	-5,23	-6,06
-1,93	-2,73	-2,37	-3,00	-2,52	-2,80	-4,59	-5,13
-2,62	-3,69	-2,22	-2,80	-2,37	-2,60	-4,44	-4,93
-2,32	-3,29	-2,76	-3,57	-2,92	-3,37	-4,98	-5,69
-2,47	-3,49	-2,86	-3,74	-3,02	-3,54	-5,08	-5,86
-2,32	-3,29	-3,01	-3,93	-3,16	-3,73	-5,23	-6,06
-2,47	-3,49	-2,37	-3,00	-2,52	-2,80	-4,59	-5,13
-2,62	-3,69	-2,46	-3,17	-2,62	-2,97	-4,68	-5,30

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Con ayuda de la herramienta Excel, se logró obtener la máxima probabilidad y reconocer el medio con mayor elección. De esta forma se observa una mayor probabilidad de uso de la bicicleta en la mayoría de situaciones

Tabla 7. Probabilidades de demanda para cada caso

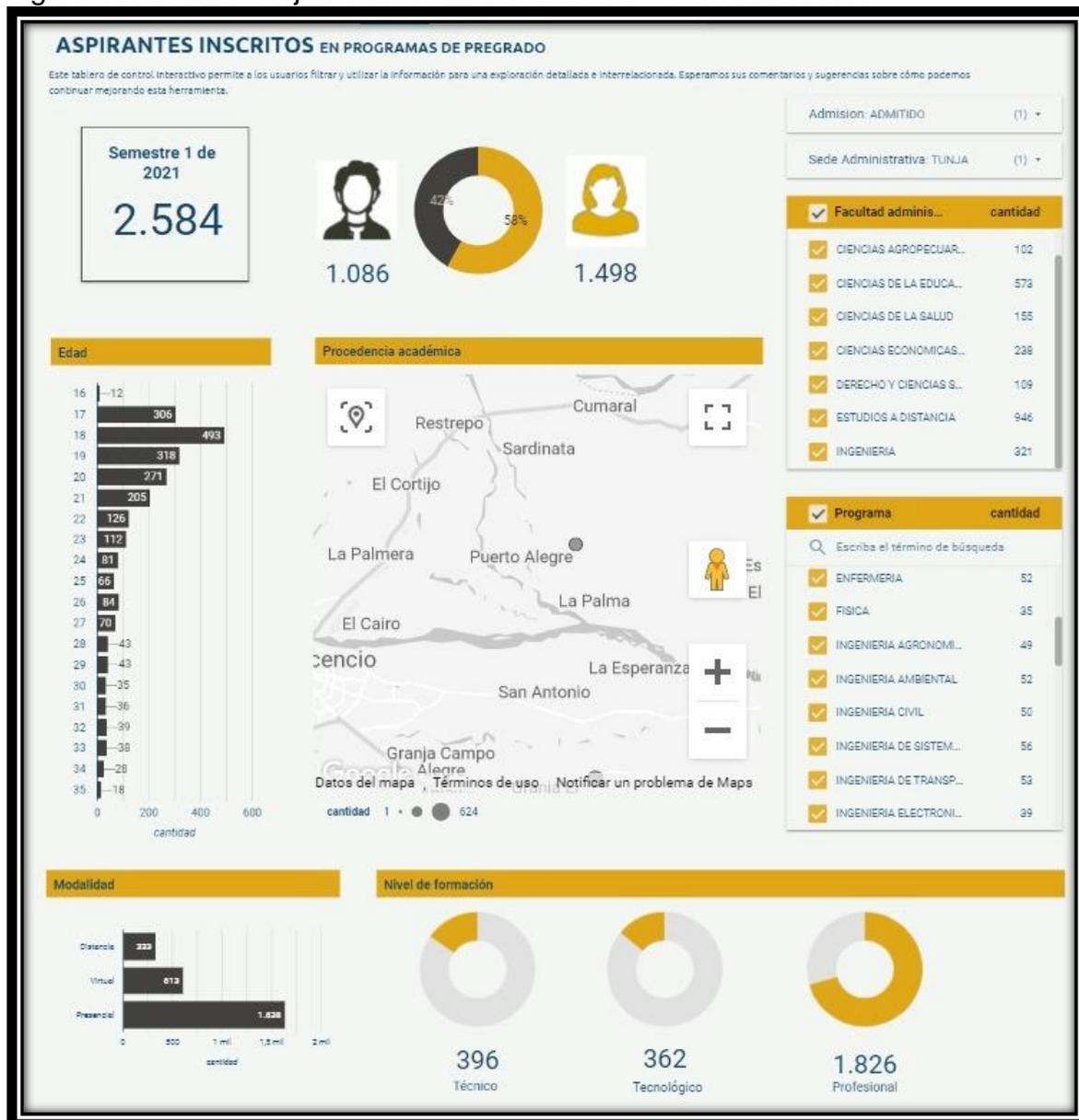
PROBABILIDADES DE DEMANDA								MAX Probabilidad	
Bici_T	Bici_SL	Bus_T	Bus_SL	Taxi_T	Taxi_SL	Caminata_T	Caminata_SL	Prob_T	Prob_SL
0,50	0,46	0,25	0,23	0,22	0,28	0,03	0,03	0,50	0,46
0,60	0,60	0,20	0,17	0,17	0,21	0,02	0,02	0,60	0,60
0,69	0,73	0,16	0,12	0,13	0,14	0,02	0,01	0,69	0,73
0,60	0,60	0,20	0,17	0,17	0,21	0,02	0,02	0,60	0,60
0,69	0,73	0,16	0,12	0,13	0,14	0,02	0,01	0,69	0,73
0,50	0,46	0,25	0,23	0,22	0,28	0,03	0,03	0,50	0,46
0,64	0,65	0,19	0,15	0,16	0,18	0,02	0,02	0,64	0,65
0,34	0,25	0,34	0,32	0,29	0,39	0,04	0,04	0,34	0,39
0,54	0,51	0,23	0,21	0,20	0,26	0,03	0,03	0,54	0,51
0,43	0,35	0,29	0,28	0,25	0,34	0,03	0,03	0,43	0,35
0,53	0,49	0,24	0,22	0,21	0,27	0,03	0,03	0,53	0,49
0,44	0,36	0,28	0,27	0,24	0,33	0,03	0,03	0,44	0,36
0,25	0,15	0,38	0,36	0,32	0,44	0,04	0,04	0,38	0,44
0,44	0,36	0,28	0,27	0,24	0,33	0,03	0,03	0,44	0,36
0,43	0,35	0,29	0,28	0,25	0,34	0,03	0,03	0,43	0,35
0,50	0,45	0,25	0,24	0,22	0,29	0,03	0,03	0,50	0,45
0,31	0,21	0,35	0,34	0,30	0,41	0,04	0,04	0,35	0,41
0,30	0,20	0,35	0,34	0,30	0,42	0,04	0,04	0,35	0,42

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

La plataforma “estadísticas UPTC”, es una herramienta web relacionada con estudiantes de pregrado, posgrado y docentes que incluye cifras de cada periodo académico y que permite segregar según la sede, facultad, programa, entre otros. (UPTC, 2021). De allí se tomó como base, aquellos estudiantes que no viven en Tunja y que por la cercanía a la ciudad podían hacer uso del terminal de transporte por lo menos una vez a la semana. Esta suposición llevo a tener

una cifra importante de población viajante que sirvió para estimar las probabilidades de uso del sistema de bicicletas de pedaleo asistido, teniendo en cuenta también los resultados de las encuestas aplicadas a una muestra de la población.

Figura 38. Gráfica Viajante vs Situación 3 UPTC - Terminal Nuevo



Fuente: Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia (2021). Tomado de: <https://datstudio.google.com/u/0/reporting/7ba267dd-930c-4c53-9376-cbac88277216/page/lmaJC>

A continuación, se presentan los datos de los estudiantes admitidos en Tunja en el periodo 2021/1, de ciudades aledañas a Tunja y que posiblemente hagan uso del terminal de transportes Juana Velasco de Gallo

Tabla 8. Estudiantes admitidos en el periodo 2021/1 de ciudades aledañas

PERIODO		2021-1	
TOTAL ADMITIDOS		2584	
PROCEDENCIA ACADÉMICA	CANTIDAD	PROCEDENCIA ACADÉMICA	CANTIDAD
Arcabuco	13	Santa Sofía	3
Chíquiza	5	Sogamoso	205
Chivata	3	Sora	5
Combita	15	Sora	5
Cucaita	9	Soracá	15
Duitama	265	Sotaquirá	6
Motavita	7	Sutamarchán	3
Nuevo Colón	4	Tibasosa	14
Oicatá	4	Tinjacá	5
Paipa	57	Toca	20
Ramiriquí	14	Ventaquemada	18
Sáchica	3	Villa de Leyva	19
Samacá	12	Villapinzón	20
<b>TOTAL</b>		<b>749</b>	

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Con la probabilidad hallada usando la herramienta Biogeme y los estudiantes que posiblemente hacen uso del terminal a diario, se buscó la máxima probabilidad en cada sentido y con sus situaciones correspondientes, siendo esta de 517 usuarios que prefieren la bicicleta en el sentido Terminal - UPTC y 395 usuarios que prefieren la bicicleta en sentido contrario. Para el objeto de la simulación se tomó el porcentaje de vehículos que puede hacer uso del sistema en la hora de máxima demanda, teniendo 43 usuarios por hora en el sentido Terminal - UPTC y 33 usuarios por hora en el sentido UPTC – Terminal.

Tabla 9. Distribución de bici usuarios a lo largo del día

Situación	Sentido	Bici	Bus	Taxi	Caminata	MAX	Bicis/h
1	T_UPTC	377	190	162	21	517	43
2	T_UPTC	450	152	130	17		
3	T_UPTC	517	118	101	13		
4	T_UPTC	450	152	130	17		
5	T_UPTC	517	118	101	13		
6	T_UPTC	377	190	162	21		
7	T_UPTC	476	139	119	15		
8	T_UPTC	252	253	216	27		
9	T_UPTC	404	175	150	19		
10	UPTC_T	321	218	186	24	395	33
11	UPTC_T	395	180	154	20		
12	UPTC_T	330	213	182	23		
13	UPTC_T	190	285	243	31		
14	UPTC_T	330	213	182	23		
15	UPTC_T	321	218	186	24		
16	UPTC_T	376	190	162	21		
17	UPTC_T	235	262	224	28		
18	UPTC_T	227	266	227	29		

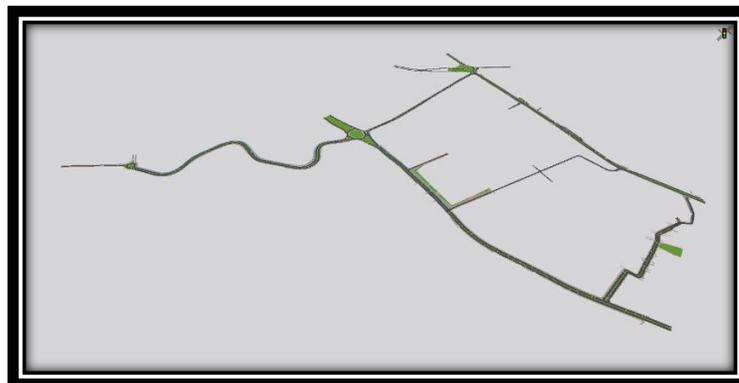
Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

### 3.2 MICROSIMULACIÓN

Con el desarrollo de la metodología se obtuvieron los datos suficientes para ingresarlos al software y realizar la simulación de la zona según los tramos propuestos, para el desarrollo de este análisis se realizaron 3 escenarios, el base con el cual se estableció una situación inicial, el primero con el tramo 1 de estudio, y el segundo con el tramo 2 de estudio.

Luego de realizar la respectiva asignación se obtuvieron datos de nivel de servicio de intersecciones con el fin de evaluar el impacto de la disposición de ciclo rutas y las demoras en los vehículos de estudio, para este caso bicicletas normales y de pedaleo asistido.

Figura 39. Modelo base



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM



### 3.2.1 ESCENARIO BASE

Como se mencionó anteriormente, por medio de los datos tomados en campo, se logró recrear un periodo de tiempo crítico debidamente calibrado en la herramienta de simulación Vissim, esto permitió evaluar cómo se encuentra actualmente cada intersección y el nivel de servicio que presta cada una. En la figura 40 se logra evidenciar que en la intersección La Sexta y en Unicentro, los niveles son bastante altos, representando un mal nivel de servicio, esto por las altas demoras que allí se presentan y el alto volumen de autos que pasa en este periodo de tiempo.

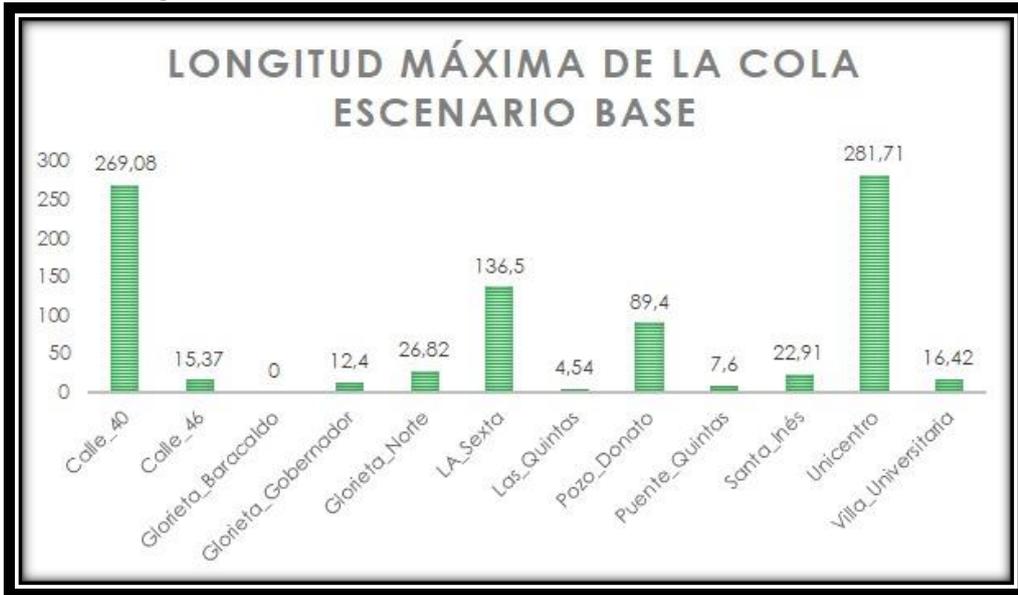
Figura 40. Nivel de servicio escenario base



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

La gráfica 41 demuestra la longitud máxima que llegaría a tener la cola de autos en el periodo de tiempo determinado, como se ve, las intersecciones críticas son la de la Calle\_40 y la de Unicentro.

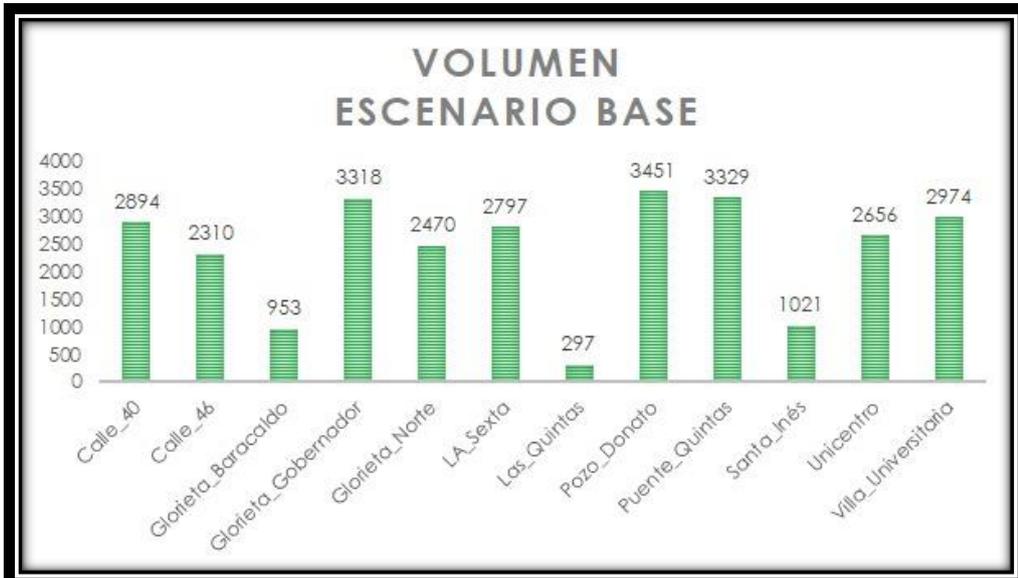
Figura 41. Longitud de cola en metros escenario base



Fuente: los autores, con base en herramienta MICROSOFT EXCEL

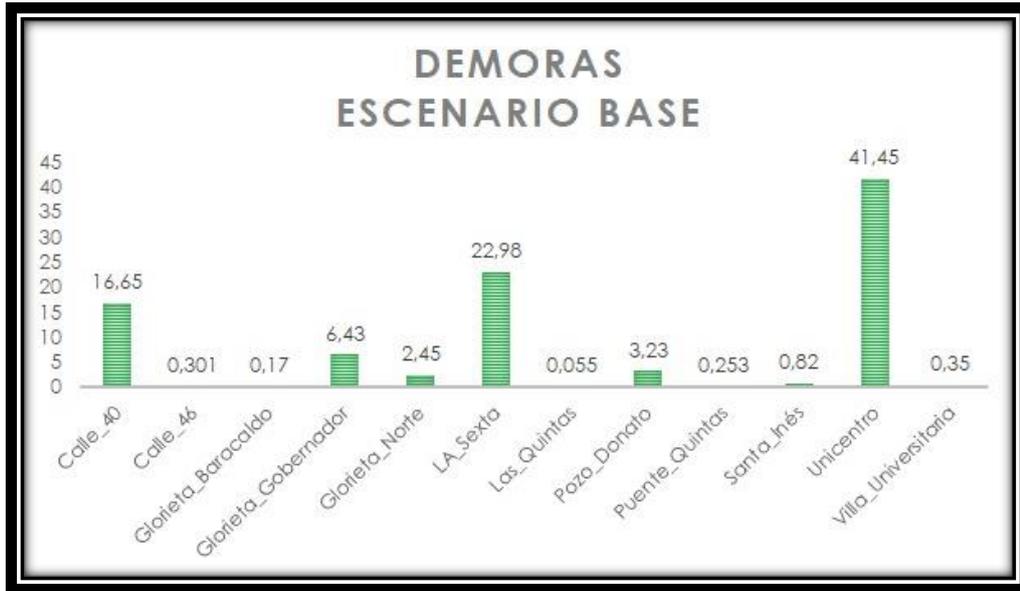
En la gráfica 42 se expresan los volúmenes de vehículos para el escenario base.

Figura 42. Volumen de escenario base



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

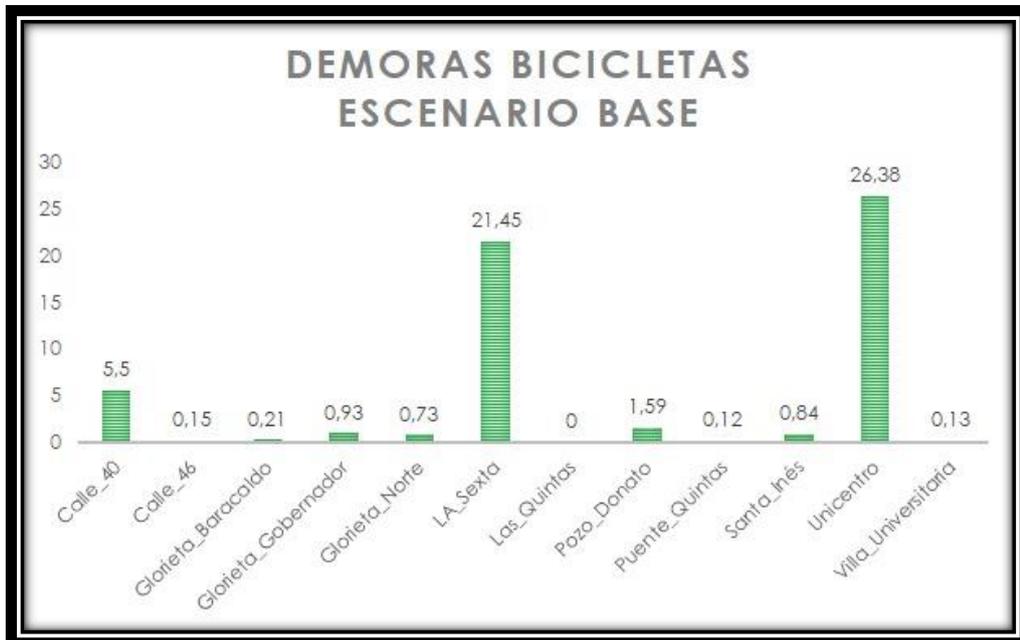
Figura 43. Demoras escenario base



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

En cuanto a demoras se tiene la justificación de las intersecciones con peor nivel de servicio, teniendo la mayor demora en la intersección de Unicentro, siendo este un punto de análisis importante en las modelaciones futuras.

Figura 44. Demoras para bicicletas escenario base



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

A su vez en la figura 41 se observa que en las intersecciones de menor nivel de servicio se presenta la mayor demora para la bicicleta, por lo tanto, se tendrán en cuenta para los otros dos escenarios y su comportamiento.

### 3.2.2 ESCENARIO 1

Para el nivel de servicio del escenario 1 se mantiene estable en todos los casos a excepción de la glorieta del gobernador, la cual puede ser por motivo de la implementación de una ciclobanda preferente, la cual se encargará de unir la ciclorruta procedente de la avenida paseo Nairo Quintana y que da acceso a la ciclobanda en la avenida olímpica, por lo tanto, se genera una afectación en el nivel de servicio.

Figura 45. Nivel de servicio escenario 1



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Figura 46. Simulación glorieta del gobernador



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta PTV VISSIM

El factor que pondera el software para obtener el nivel de servicio es la demora, la cual es proporcional a la longitud de la cola que puede formar en alguno de los accesos de las intersecciones de estudio.

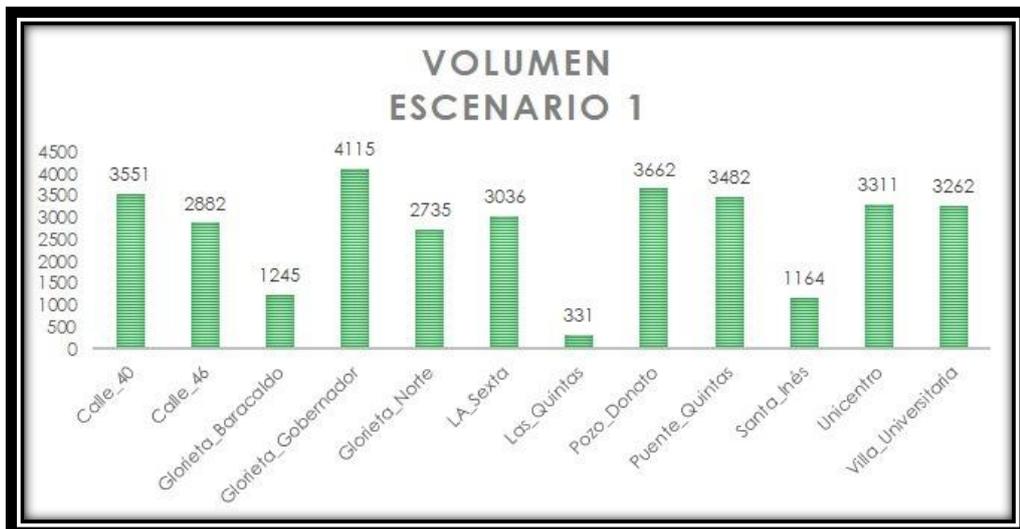
Figura 47. Longitud de cola en metros escenario 1



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Para el volumen de este escenario se tuvo un aumento considerable en el número de vehículos que hacen uso de la glorieta del gobernador para llegar a su destino, aunque una disminución en las demoras de esta misma.

Figura 48. Volumen escenario 1



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Figura 49. Demoras escenario 1



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

### 3.2.3 ESCENARIO 2

Dada la importancia de las intersecciones de la sexta y Unicentro se evidencia que en todos los casos mantiene su nivel de servicio constante, para este escenario se tiene que la glorieta del gobernador mejoró su nivel de servicio a su vez la calle 40, para este caso el trazado de la red de bicicletas es en su gran mayoría en ciclorrutas, compartiendo espacios con los peatones a excepción del subtramo que pasa por el sector del barrio las quintas, en donde se vuelve a proponer una ciclobanda preferente.

Figura 50. Simulación puente del barrio las quintas



Fuente: Creación propia, con base en herramienta PTV VISSIM

Figura 51. Nivel de servicio escenario 2



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

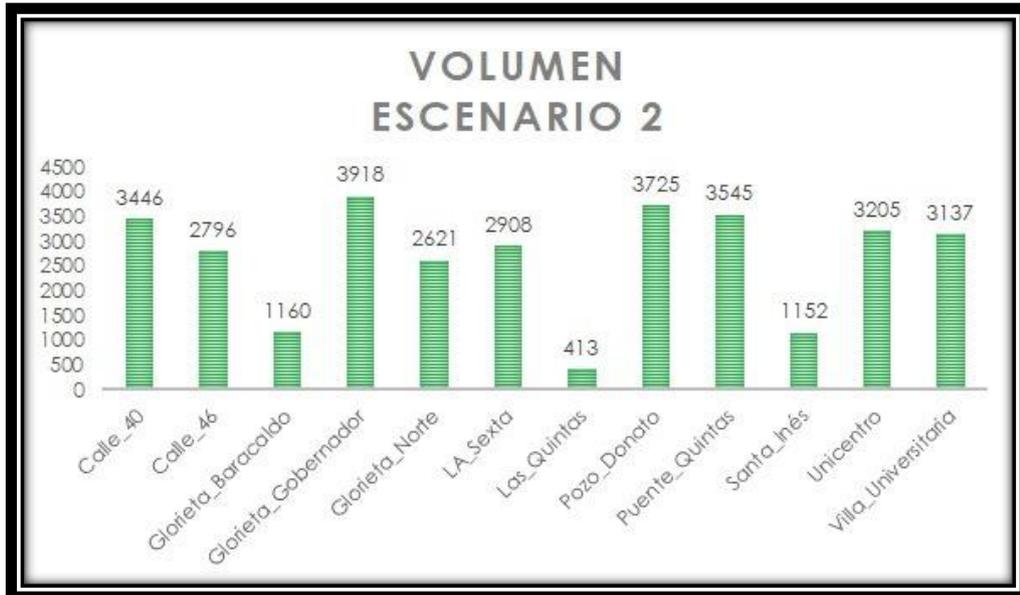
Para este escenario se tiene que las longitudes de cola, volúmenes y demoras aumentan, de forma mínima, pero no se afecta el nivel de servicio en ninguna intersección.

Figura 52. Longitud de cola en metros escenario 2



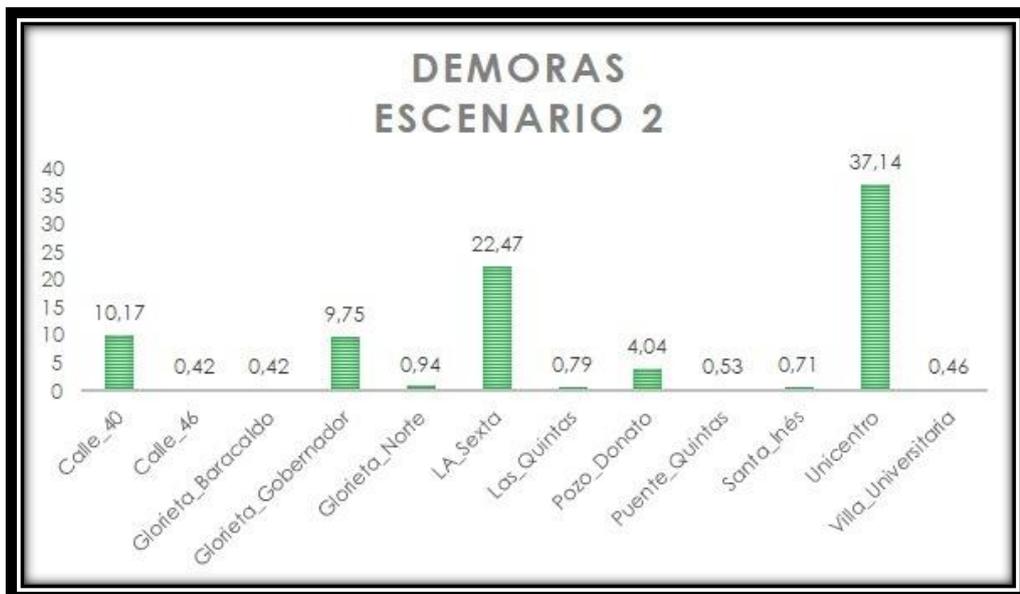
Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Figura 53. Volumen escenario 2



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

Figura 54. Demoras escenario 2



Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

En la tabla 10 se presentan los datos de nivel de servicio, tiempo de viaje (según vehículo) y distancia recorrida donde se observa el rendimiento de la bicicleta de pedaleo asistido en comparación a la bicicleta normal, aunque tienen el mismo nivel de servicio (A) el tiempo de viaje en la primera en la mayoría de casos es mejor.



Tabla 10. Nivel de servicio en las ciclo-infraestructuras

	NIVEL DE SERVICIO	TIEMPO DE VIAJE ASISTIDA (min)	TIEMPO DE VIAJE NORMAL (min)	DISTANCIA RECORRIDA (Km)
ESCENARIO 1 UPTC_TERMINAL	A	12,4	13,3	3,4
ESCENARIO 1 TERMINAL_UPTC	A	9,48	9,32	3,4
ESCENARIO 2 UPTC_TERMINAL	A	15,46	16,55	4,3
ESCENARIO 2 TERMINAL_UPTC	A	15,09	18,3	4,3

Fuente: Creación propia, haciendo uso de herramienta MICROSOFT EXCEL

#### 4. CONCLUSIONES

Luego de realizar la revisión bibliográfica sobre la implementación de bicicletas de pedaleo asistido y enfocados a la ciudad de Tunja, no se encontraron referentes que incluyan esta iniciativa dentro de la ciudad, sea por motivos geográficos, económicos o de infraestructura. Para complementar la información se encontraron documentos que afirman la buena experiencia de la implementación de un sistema público de bicicletas que incluyen vehículos de pedaleo asistido para aquellas ciudades que presentan pendientes muy altas y que los tiempos en sistemas públicos de transporte sean extensos sin importar el costo, dadas estas ventajas, y teniendo en cuenta que para la ciudad de Tunja el último estudio de tránsito realizado fue en el año 2012, muestra que el 1% de los viajes de la ciudad se realizan en bicicleta, y aunque no se tienen datos de este tipo actualizados se puede inferir que pasados 9 años, el contexto ha cambiado y por lo tanto los usuarios de estos vehículos han aumentado ya que en este tiempo ha habido interés de parte del gobierno local de implementar sistemas de préstamo de bicicletas que permitan unir zonas importantes de la ciudad, como fue el BICI TUNJA el cual funcionó en una zona de la ciudad relativamente plana según lo expresa Dueñas & Pineda (2018).

Quintero & Quintero refiere al sistema de bicicletas como la alternativa eficiente para algunas ciudades de Latinoamérica, describiendo las ventajas del uso masivo de bicicletas públicas y el impacto que estas tienen sobre los usuarios. Como se evidencia, varios autores refieren esta misma conclusión buscando una mejor alternativa de movilidad y generando accesibilidad, comodidad y seguridad bajo los parámetros de protección al usuario por ser el más expuesto en la vía.

Se indago sobre la situación de muchos estudiantes de la UPTC en el boletín informativo que presenta la página web de la universidad, donde se conoce la cantidad de estudiantes que viven en ciudades aledañas a Tunja y que por consiguiente hacen uso del terminal de transporte Juana Velasco de Gallo y que buscan conexión entre este punto y su destino de interés que es la universidad. Como referente se tiene el trabajo realizado por Albarracín & Salamanca (2018) donde recomiendan el uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte para llegar a la universidad

Se realizaron las pruebas en campo con la bicicleta de pedaleo asistido (vehículo tipo A), que cumplió con la resolución 160 de 2017 del ministerio de transporte. Este vehículo se le asignó a la persona que menos actividad física realizaba quien expresó su satisfacción en especial al momento de pasar por las pendientes teniendo un pedaleo constante, el tiempo que tuvo este usuario en la bicicleta de pedaleo asistido igualó al tiempo que logró el usuario que realizó la prueba en una bicicleta de características normales (tipo B), con la diferencia de un mayor esfuerzo y cansancio físico a pesar de ser un deportista

Dentro del experimento realizado, se establecieron costos y tiempos para cada medio de transporte, los tiempos y costos referentes a la bicicleta oscilaban entre \$800 a \$1.200, los tiempos entre 15 y 25 minutos de viaje. Con la aplicación de las encuestas de PD estos datos no fueron impedimento para que de los 225

usuarios, el 82% en alguna de las situaciones presentadas escogieran la bicicleta para el recorrido entre la UPTC y el Terminal de transporte, privilegiando el sentido terminal - UPTC, dadas sus condiciones geográficas y que en ningún momento se les hizo saber qué condiciones tienen los vehículos, por lo tanto muchos de ellos preferían utilizar otro medio de transporte, de tal forma que le evitara la zona con una mayor pendiente.

Con los datos obtenidos y el manejo que se le dio con la herramienta Biogeme, de manera general se demostró que la bicicleta tiene una probabilidad de demanda mayor la mayoría de las situaciones, por lo tanto, al analizar estas probabilidades y escoger la más alta para su evaluación se encontró que de los estudiantes de la UPTC que posiblemente hacen uso del terminal, llegaron a realizar un total de 76 viajes por hora, siendo un número importante de usuarios para este sistema.

Los resultados arrojados por el software luego del proceso de simulación permiten demostrar la importancia de la información actualizada, para verificar el impacto que tiene un cambio en la red y las implicaciones que tiene en el nivel de servicio, por lo tanto cualquier modificación realizada puede afectar de manera positiva o negativa el modelo, es el caso de la implementación de espacios exclusivos (ciclorrutas) o preferenciales (ciclo bandas) para bicicletas que producen la reducción de la capacidad del tramo de vía y en consecuencia se presenta una afectación a la movilidad representada en demoras y longitudes de colas mayores al escenario actual. De esta forma en el escenario 1 se presenta mayor conflicto al compartir parte de del carril de la avenida olímpica, ya que los biciusuarios tienen prelación, pero el beneficio para los usuarios es considerable, ya que se tiene una reducción en tiempos de viaje y a su vez en costo.

Por otro lado, el escenario propuesto en el programa BICIUNE, presenta una mayor longitud que recae en afectaciones de tiempo y costo para los estudiantes de la UPTC sede central, ya que este escenario está propuesto para unir zonas de interés general, enfocado en el comercio y los puntos atractores de viajes de la ciudad, en donde la ruta para ir a la UPTC se alarga en 1 km de distancia, haciendo menos atractivo el uso del servicio.

Con el desarrollo del trabajo se logró identificar la existencia de la demanda cuantificable por medio de elementos probabilísticos que afirman la viabilidad de un sistema público de bicicletas donde se incluya el vehículo de pedaleo asistido para facilitar el viaje entre los puntos de interés.

## 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización de un estudio de tránsito que permita actualizar la información en cuanto a necesidades actuales de los usuarios de servicios de transporte de la ciudad.

Para el complemento de la información presentada se recomienda a la universidad tener una base datos de estudiantes que realicen viajes a diario desde sus ciudades de origen y así enfocar este estudio a datos más acertados y generales proporcionando esta información al ente gubernamental a cargo.

Con la inminente ejecución del sistema BICIUNE, se recomienda la revisión de los ciclos semafóricos para dar prelación a las bicicletas ya que con el tiempo dado para el paso de peatones y un aumento de la demanda se generan colas según la simulación en el software

Como recomendación general a la Secretaria de Tránsito y Transporte de la ciudad, se debe hacer un seguimiento de los espacios públicos para peatones que ocupan los vehículos, de la señalización que se encuentra en estado deplorable, de los ciclos semafóricos de la zona y de la gestión para el descongestionamiento de vías principales por culpa del uso de parqueo ilegal de vehículos, así mismo del cumplimiento de la normatividad para la construcción de cicloinfraestructura con las medidas recomendadas según la Guía de Cicloinfraestructura de Colombia

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Albarracín Vega, M.A. Salamanca Rodríguez, J.G. (2018). Análisis de preferencias por modos alternativos de transporte para acceder al campus de la UPTC. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja – Boyacá.

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2005). Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Disponible en: [https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/16-03-2020/7.\\_manual\\_de\\_planeacion\\_y\\_diseño\\_para\\_la\\_administracion.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/16-03-2020/7._manual_de_planeacion_y_diseño_para_la_administracion.pdf)

Alcaldía Mayor de Tunja (2012). Herramienta de transporte terrestre urbano de pasajeros y carga. simulación del efecto de proyectos de infraestructura y políticas de transporte. Convenio Interadministrativo No. 010 de 2012. Tunja.

Arellana, J.A. Ortúzar J.D. Rizzi L.I. (2011). Diseño Experimental de PD con Dependencia entre Niveles de Atributos: Aplicación a Modelos de Elección de Horario de Viajes. Ingeniería De Transporte Vol. 15, N° 01: 15-27.

Bernal Méndez, P.E. Torres Albarracín J.E. (2019). Diseño e implementación de un sistema de asistencia eléctrico en una bicicleta mediante la reutilización de baterías de Ni-MH.

Bierlaire M. (2020). A short introduction to pandasbiogeme. Report TRANSP-OR 200605 Transport and Mobility Laboratory School of Architecture, Civil and Environmental Engineering Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Cárdenas Quintero, G.A. Sarmiento García, E.A. (2014). Vehículo unipersonal eléctrico portable de micro-movilidad para la Generación (Y) en la ciudad de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

Chanca Cáceres, J. A. C. (2004). Simulación microscópica de tráfico urbano y su aplicación en un área de la ciudad de Zaragoza.

Chiriboga C. J.A. (2014). Metodología de estudio de preferencias declaradas y relevadas para la implementación del sistema de bicicleta pública en una ciudad. Caso de estudio del centro urbano de Sangolquí. Quito.

Decreto No. 170 de 2001 (05 de febrero). Por el cual se reglamenta el Servicio Público de Transporte Terrestre Automotor Colectivo Metropolitano, Distrital y Municipal de Pasajeros. Ministerio de Transporte.

Decreto No. 121 de 2020 (26 de abril). Alcaldía Mayor de Bogotá. D.C.

Divantoque Villalobos, A.M. Agudelo Niño, O.J. González Hernández, L.D. (2017). Modelación del tránsito vehicular en la carrera 39 con calle 7 en el barrio 5 etapa de la esperanza de la ciudad de Villavicencio. Universidad Cooperativa de Colombia.

Dueñas López, J.A. Pineda Pineda, L.X. (2018). Determinación de la percepción del sistema de bicicletas públicas de la ciudad de Tunja. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Espacio & Ciudad (SF). Movilidad. Disponible en:

<http://espacioyciudad.com/movilidad/>

Fontalvo Arrieta, K. (2013). Modelación del tránsito vehicular con el software ptv vissim tramo bomba el gallo - bomba el amparo. Cartagena – Colombia.

García Schilardi, M. E. (2017). Evaluación de la dimensión operativa del transporte colectivo en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Perspectiva Geográfica*, 22(2), pág. 29-46.

Lema Mosquera, J.R. (2016). Estudio de pre factibilidad de la construcción de una vía troncal elevada exclusiva para bicicletas eléctricas utilizando el cause del rio Machángara en la ciudad de Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Ley 769 de 2002 (06 de julio). Congreso de la República. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 44.932 de 13 de septiembre de 2002.

Ley 1811 de 2016 (21 de octubre). Congreso de Colombia. Por la cual se otorgan incentivos para promover el uso de la bicicleta en el territorio nacional y se modifica el código nacional de tránsito.

Méndez T, Douglas (2009). Maestría en vías terrestres propedéutico. Disponible en: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/velocidad-ingenieria-de-transito.pdf>

Ministerio de Transporte de Colombia. (2016). Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas. (C. Pardo & A. Sanz, Eds.). Bogotá D.C.: Ministerio de Transporte de Colombia.

Navarro Hudiel, S.J. (2008). Análisis de flujo vehicular. Disponible en: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/analisis-de-flujo-vehicular-cal-y-mayor.pdf>

Peñalosa, E. (2002). Modelación del tránsito vehicular con el software ptv vissim tramo bomba el gallo}- bomba el amparo.

Quintero González, J. R. (2011). Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte. *Revista Facultad de Ingeniería*, UPTC, I Semestre 2011, vol. 20, No. 3, pp. 65-77.

Quintero González, J.R. Quintero González, L.E. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano. *Revista Ingeniería y Región*. 2015; 14(2). Pág. 87-97.

Quintero González, J.R. (2017). Bicicletas compartidas como sistema de transporte público urbano: análisis de políticas públicas en Colombia (1989-2017). Vol. 4 (3). Pp. 17-35.

Resolución No. 0000160 de 2017 (02 de febrero). Por la cual se reglamenta el registro y la circulación de los vehículos automotores tipo ciclomotor, 1 tricimoto y cuadríciclo y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Transporte.

Sartori, J. (2006). Diseño de un experimento de preferencias declaradas para la elección de modo de transporte urbano de pasajeros. Revista de Economía y Estadística, 44(2), pp. 81-123.

Serrano Romero, R.O. (2014). Hacia una conceptualización integral de la movilidad urbana: Primera Aproximación a la Construcción de Instrumentos de Planificación Para la Integración y Consolidación del Espacio Público en la Movilidad Urbana. Universidad Piloto de Colombia, Pontificia Universidad Javeriana.

Siabato León, N.N. Martínez Vega, K.D. (2016). Estudio de la eficiencia de la bicicleta eléctrica comparado con el transporte público y la bicicleta convencional. Universidad de la Salle. Bogotá. D.C.

Specialized (SF). Especificaciones E – Bike turbo vado 4.0. Disponible en: <https://www.specialized.com/co/es/turbo-levo-sl-comp/p/175107/specs>

Universidad Tecnológica y pedagógica de Colombia (2021). Aspirantes escritos en programas de pregrado. Disponible en: <https://datastudio.google.com/u/0/reporting/7ba267dd-930c-4c53-9376-cbac88277216/page/ImaJC>

Zuluaga García J.D. (2017). Propuesta metodológica para el diagnóstico y planificación urbana de una red de ciclorrutas. caso estudio: Manizales.

## ANEXOS

ANEXO\_A-FORMATO INVENTARIO VIAL

ANEXO\_B-ENCUESTAS APLICADAS

ANEXO\_C-RESULTADOS ENCUESTAS

ANEXO\_D-AFOROS VEHICULARES

ANEXO\_E-DATOS INICIALES