

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO MEDIANTE EL USO DE
MODELOS DE MICROSIMULACIÓN.

JUAN CAMILO GOMEZ TRIMIÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2015

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO MEDIANTE EL USO DE
MODELOS DE MICROSIMULACIÓN.

JUAN CAMILO GOMEZ TRIMIÑO

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

YERLY FABIAN MARTINEZ

ING. CIVIL

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA

2015

CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCION	10
1. ESTADO DEL ARTE	10
1.1 Modelos de transporte público	10
1.1.1 Software Para Microsimulación.	11
1.1.2 Técnicas de Modelación Sofisticadas de Transporte Público	13
1.1.3 Funciones Externas a la Simulación	13
2. SOFTWARE UTILIZADOS PARA EL MODELADO DE TRANSPORTE PÚBLICO	14
2.1. BusSIGSIM	14
2.2. PASSION (Parallel Stop Simulation)	15
2.3. MISTRANSIT	15
3. PARAMETROS DE CONFIABILIDAD EN LAS MICROSIMULACIONES	16
3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS MICROSILUMADORES EN TRANSPORTE PÚBLICO	16
4. EXPERIENCIAS EN COLOMBIA Y AMÉRICA LATINA	17
4.1 COLOMBIA (BOGOTA)	17
4.2 CHILE (SANTIAGO)	18
4.3 COLOMBIA BUCARAMANGA	18
5. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN (TRANSMODELER)	18
5.1 ALTERNATIVAS PLANTEADAS	18
5.1.1 Escenario 1 (Simulación con todos los datos)	19

5.1.2 Escenario 2 (Simulación sin datos de parada)	19
6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	19
6.1.1 Estadísticas viaje	19
6.1.2 Flujo y tiempo de viaje	20
6.1.3 Demora	20
6.1.4 Niveles de servicio	20
6.2. DATOS OBTENIDOS EN LAS TABLAS DE RESULTADOS	20
6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	20
7. CONCLUSIONES	21
BIBLIOGRAFÍA	22

**ESTADO DEL ARTE ACERCA DEL ANALISIS DE
CAPACIDAD DE CORREDORES DE TRANSPORTE
PUBLICO MEDIANTE MODELOS DE
MICROSIMULACION.**

JUAN CAMILO GOMEZ TRIMIÑO
Estudiante de pregrado de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander
juancamilo179@hotmail.com

TITULO: ESTADO DEL ARTE ACERCA DEL ANALISIS DE CAPACIDAD DE CORREDORES DE TRANSPORTE PUBLICO MEDIANTE MODELOS DE MICRO SIMULACIÓN

AUTOR: JUAN CAMILO GOMEZ TRIMIÑO

PALABRAS CLAVES: modelos de simulación, Microsimulador, transporte público, corredores.

DESCRIPCIÓN:

Varios paquetes comerciales son utilizados actualmente en el modelado de sistemas de transporte particular, público y operaciones para las evaluaciones de proyectos específicos y diseños locales, especialmente en el contexto urbano. Después de revisar de la literatura, se observa que la mayoría de microsimuladores están orientadas a la circulación de automóviles, dejando los sistemas de transporte público como un complemento. En esta investigación, se proporciona información de diferentes modelos y paquetes de microsimulación que desde los años 90 han avanzado a pasos agigantados y se han utilizado para una variedad de aplicaciones; se utilizan de manera rutinaria para determinar fases semaforizadas en intersecciones viales, priorización para buses, control de tráfico urbano, el manejo de tráfico en área amplia, los trabajos de diseño de carreteras, la localización y control de parqueaderos, interacciones de peatones y ciclistas, el impacto del tráfico y el manejo de sucesos eventuales que se presentan en las vías diariamente. En resumen, se han utilizado en muchas circunstancias donde otros sistemas de modelado no pueden hacer frente; y como ejemplo del gran potencial que tienen este tipo de herramientas de micro simulación se hace una prueba con TransModeler, uno de los tantos simuladores que se encuentran en el mercado y con alta calidad para la competencia contra los otros simuladores existentes.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingeniería físicomecánica. Escuela de ingeniería civil. Director Ing. Civil Yerly Fabian Martinez

TITLE: STATE OF THE ART ON THE ANALYSIS OF CAPACITY OF PUBLIC THROUGH
BROKERS TRANPORTE MICRO SIMULATION MODELS

AUTHOR: JUAN CAMILO GOMEZ TRIMIÑO

KEY WORDS: Simulation Models, Microsimulator, Public Transport, Corridors.

DESCRIPTION:

Several commercial packages are currently used in modeling particular transport systems, public and operations for evaluations of specific projects and local designs, especially in the urban context as seen in the research of this project. After reviewing the existing literature on the market, it is observed that most microsimuladores are oriented to motor traffic, leaving the public transport systems as a complement. In this research, information from different models and microsimulation packages that since the 90s have made great strides and have been used for a variety of applications is provided; routinely used to determine signalized intersections phases, prioritization for buses, urban traffic control, traffic management wide area, work road design, location and parking control, interactions of pedestrians and cyclists, traffic impact and management of possible events that occur on the tracks daily. In short, they have been used in many instances where other modeling systems can not cope and microsimulation these systems came to compete to show the reality of public transport systems; and as an example of the great potential of this type of micro simulation tools TransModeler a test, one of the many simulators that are in the market and with high quality competitive against other existing simulators on the market is made.

* Bachelor thesis

**physicomechanical of engineering faculty. Civil engineering School. Director civil engineer Yerly Fabian Martinez

INTRODUCCIÓN

La planificación del transporte en las ciudades es clave para su desarrollo económico y social, por lo que se ha generado la necesidad de contar con herramientas que permitan la evaluación de las diferentes políticas y estrategias implementadas en escenarios actuales y futuros teniendo en cuenta la dinámica que se genera por los usos del suelo.

En el sistema vial influyen diferentes factores en el comportamiento del flujo vehicular, estos son: el transporte público, transporte privado, el componente humano (conductores, peatones, pasajeros y guardas de tránsito), en las vías los sistemas reguladores y el entorno urbano [17]. La integración de estos factores hacen que sea complejo la modelación del sistema vial, sin embargo hace ya algunas décadas se han venido desarrollando herramientas computacionales que permiten modelar en diferentes escenarios, las situaciones actuales y futuras; es por esta razón que la simulación se ha vuelto un instrumento indispensable para el análisis y la optimización de sistemas técnicos complejos, reduciendo costos y tiempo [40] [11]

Los modelos microscópicos de simulación de tránsito o micro simuladores de tráfico constituyen en la actualidad la herramienta más avanzada de representación de la circulación vehicular en una red de transporte. En el caso de transporte público sin embargo, no existen herramientas sofisticadas de modelación y que sean usadas para tomar decisiones de diseño importantes. Ellos cuentan actualmente con formas de modelación por defecto de sistemas de transporte público, de limitada flexibilidad cuando se intenta modelar operaciones complejas en paraderos y terminales, transferencia de pasajeros, etc.

Entre los paquetes comerciales que otorgan algún tipo de sofisticación a la modelación del transporte público, podemos mencionar AIMSUM/2 (TSS, 2004), CORSIM (FHWA, 1996), DRACULA (Liu,2003), VISSIM (PTV, 2003) y PARAMICS (Quadstone, 2004). Todos estos simuladores definen líneas de transporte público de ruta fija con vehículos y características especiales, frecuencias preestablecidas, operaciones en paraderos con tiempos de detención basados en distribuciones para la llegada de pasajeros, corredores exclusivos, etc.[26], [[32]

Este estudio tiene como objetivo presentar un estado del arte de la capacidad del transporte

masivo en la ciudad de Bucaramanga. Para ello se utilizará el software TransModeler, debido a que la Escuela de Ingeniería Civil UIS cuenta con este programa y la vía analizada es la Carrera 15 ya que esta es una de las pocas vías que tiene un corredor exclusivo para el transporte público. Estas características permiten hacer el análisis de la capacidad de pasajeros y el tiempo de recorrido, para esto se introducen datos como número de pasajeros iniciales, número de pasajeros que llegan a una estación, número de pasajeros que se suben, longitud de la parada e intervalo de tiempo en el cual llega un articulado a la estación.

1. ESTADO DEL ARTE

Un software de microsimulación de tráfico describe el proceso de creación de un modelo virtual de la infraestructura de transporte de una ciudad con el fin de simular las interacciones de tráfico por carretera y otros medios de transporte, en detalle microscópico. Esto implica el tratamiento de cada vehículo, bus, tren, tranvía, ciclista, peatón, etc., cada uno posee la capacidad de interactuar con otras entidades en el modelo. Los modelos capturan las interacciones del tráfico real a través de una serie complejos algoritmos que describen el seguimiento de carros, cambio de carril y distancia aceptable. [46], [43]

1.1 MODELOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

De la revisión bibliográfica que se ha llevado a cabo, se pueden distinguir tres modelos de microsimuladores de transporte público.

Modelos Macroscopicos

Este tipo de modelo es apropiado para la aplicación de gran escala donde las principales variables de interés se encuentran relacionadas con las características de flujo [5,6]. Su calibración puede llevarse a cabo de manera relativamente sencilla. Entre las plataformas más utilizadas se encuentran: TRANSYT-7F, VISUM, FREFLO, TRANSCAD, METANET Y METACOR. [37] [1].

Modelos Mesoscopicos

Los modelos mesoscopicos presentan una aproximación intermedia entre los microscópicos y los macroscópicos en la medida en que mezclan conceptos y herramientas de ambos modelos. [27].

Las plataformas que utilizan este modelo son METROPOLIS, DYNASMART, DYNAMIT E UNTERGRATION. [37] [1]

Modelos Microscopicos

Estos modelos como su nombre lo indica presenta la escala más pequeña para el acercamiento al análisis de los sistemas de tráfico urbano. En este sentido lo más importante son los vehículos individuales respecto a la infraestructura y a los demás vehículos de ella. Entre las plataformas más utilizadas se encuentran: INTRAS, FRESIM, MITSIM, NETSIM, CORSIM, VISSIM, THOREAU, FLEXYT-II Y AIMSUN [37] [13], [1]

Actualmente en Colombia la plataforma más comercial es TransCAD en conjunto con la herramienta GIS, esto los realizan como sistema de planeación, evaluación, optimización y simulación de los elementos que intervienen en el problema de tránsito.

La utilización de estas plataformas se realiza con base en las fortalezas, debilidades y alcance identificados para cada caso específico de la situación particular a analizar.

1.1.1 Software para microsimulación.

En la actualidad se encuentra un gran número de paquetes de microsimulación comerciales, pero solo alguno de ellos modelan vehículos de transporte y los que tienen esa opción no proporcionan un buen nivel de detalle para observar las diferencias que existen entre los vehículos particulares y el resto del tráfico. [2] [25]

Lo que hacen estos programas es que los buses son tratados como los carros más largos que se detienen a lo largo de una ruta predeterminada y cuando éste se detiene causa el mismo impacto que causa cualquier vehículo que se detiene en el camino. En realidad, los conductores saben que los buses se detendrán de forma continua y por lo tanto no tratan de seguirlos, y cuando deben hacerlo, ellos están listos para pasarlos a la primera señal de detención. En microsimuladores de tráfico, los vehículos que siguen los buses están en la cola detrás de ellos tratando de no cambiar de carril. Esta simplificación produce una sobreestimación de los impactos negativos de las operaciones de autobús sobre el tráfico.

Ahora se va a presentar los aspectos fundamentales de como los sistemas de tránsito se incorporan en diferentes sistemas de microsimulación de tráfico comercial. La presentación se centrará en las características del vehículo, su generación y manejo, así como en el modelado de las operaciones de parada de autobús.

Estos son alguno de los programas de microsimulación que existen para analizar su velocidad, capacidad, la tasa de aceleración y frenado entre otros en la simulación del corredor vial.

- PARAMICS
- VISSIM
- CORSIM
- DRACULA
- AIMSUN /2

El tipo de transporte que se pueden representar en estos programas de simulación son carros, buses, colectivos, trenes ligeros y tranvías. En estos microsimuladores de tráfico revisados, las líneas de transporte se definen por una etiqueta de ID, el tipo de vehículo y su ruta. Una ruta es una secuencia fija de enlaces, nodos (o conectores en VISSIM) y paradas de autobús. [22]

En **PARAMICS** y **VISSIM**, el usuario debe indicar la capacidad del vehículo y la tasa de ocupación de los vehículos al iniciar su recorrido. El número y la función de las puertas sólo se reconocen en **VISSIM**. Estas dos últimas características se utilizan para el cálculo del tiempo de permanencia en las paradas de autobús. [41], [12] En **PARAMICS**, la generación de vehículos de transporte se puede llevar a cabo a través de una frecuencia fija o un horario predefinido para cada línea. Los buses inician sus rutas en la primera parada de autobús de la línea a la que pertenecen. La creación de una zona de parada permite la atención de varios vehículos simultáneamente. La interacción entre dos buses sucesivos en los enlaces es controlada por el cambio siguiente y carril modelos utilizados para cada paquete. [14],[20]. También permite (a través de la API-interfaces de programador de aplicaciones) modificar completamente el coche y después el cambio de carril de los modelos de acuerdo con las metas modeladoras. Con el fin de dar facilidades para el desplazamiento de vehículos de transporte público, se puede modelar carriles exclusivos. Estos carriles pueden estar

situados tanto como lado derecho o izquierdo de la carretera [12], [8]. La prioridad en las uniones es dada por medio de semáforos accionados para buses. Ellos trabajan recibiendo los datos generados por los detectores de tráfico localizados en los enlaces. [18] Por último, el tiempo de espera en las paradas de pasajeros depende de la demanda. Esto sólo puede ser obtenido por medio de una tasa de llegada constante para cada línea. Además, el número de desembarque de pasajeros en cada parada se debe definir para cada línea como un porcentaje de la tasa de ocupación del bus. Por lo tanto, el tiempo de permanencia de los vehículos de transporte público en las paradas se calcula como: [29]

$$T_d = \max\left[\left(\frac{PaTs}{2} + 5\right); (PbTs + 5)\right]$$

Dónde:

- PA número de desembarque de pasajeros
- PB número de embarque de pasajeros,
- Ts es la hora de embarque marginal.

Como puede apreciarse, este modelo asume que el tiempo de desembarque marginal es la mitad de la hora de embarque marginal y que las operaciones de subir y bajar son simultáneas. T_d también puede ser modelado a través de un valor constante o distribuido normalmente con un promedio y un estándar de desviación dada por el usuario.

En **VISSIM** el tiempo de permanencia en las paradas se puede calcular de tres maneras: siguiendo una distribución normal, una distribución de usuario definida, o por cálculo explícito. En la última opción, el usuario debe indicar la demanda de pasajeros por línea (en pasajeros por hora) en cada parada de autobús y el número de pasajeros desembarcados como un porcentaje de la tasa de ocupación del vehículo [42],[12]. El modelo calcula el tiempo de permanencia en función del abordaje marginal y tiempo de desembarque y el tiempo muerto gastado al abrir y cerrar puertas, y es capaz de discriminar si las operaciones de embarque y desembarque son secuenciales o simultáneas. Si la zona de parada es lo suficientemente larga, puede dar cabida a más de un vehículo parado al mismo tiempo. En tal caso, los buses pueden pasar unos a otros para entrar o salir de la parada. Además, las prioridades se pueden establecer en los vehículos en tránsito permitiendo a los buses salir de la bahía de parada de bus.

CORSIM no tiene un modelo de demanda de pasajeros; Por lo tanto, el tiempo de espera en las paradas deben ser definidos antes de cada simulación. Este tiempo puede tener una fluctuación aleatoria dada por alguna distribución. Los vehículos de transporte tienen una frecuencia fija para cada línea.

En **DRACULA**, las paradas de los buses sólo pueden hacerse cargo de un vehículo a la vez. Al igual que **CORSIM** los vehículos de transporte tienen una frecuencia fija para cada línea. La demanda de pasajeros en cada parada de autobús se supone que tiene un valor promedio por hora. Por lo tanto, el tiempo de permanencia se calcula: [41], [12]

$$T_d = a_1(1 - ps)N + a_2psN + B$$

Dónde:

- N es el número de pasajeros en espera (con independencia de su destino)
- ps es la proporción de pasajeros que utilizan pases
- a1 es el momento de embarque para uno que paga en efectivo
- a2 es la hora de embarque de usuario con pase
- b es el tiempo empleado en la apertura y cierre de las puertas del autobús.

Este modelo simplificado asume además que no hay demora para el descenso de pasajeros.

En **AIMSUN / 2** los vehículos de transporte se agrupan en una "clase" que permite la definición de carriles exclusivos. Estos vehículos se generan con la misma frecuencia o siguiendo un horario determinado para cada línea; en tal caso, el usuario debe definir la desviación estándar del horario programado. Las paradas de autobús se pueden localizar en la carretera o en una bahía. Su longitud determina la capacidad de almacenamiento para los buses con parada en el mismo tiempo. Si los vehículos no se ajustan, deben esperar en los carriles designados para el tráfico, produciendo su bloqueo. [22] Éste no tiene un modelo para generar la demanda de pasajeros. Por lo tanto, los tiempos de permanencia en las paradas siguen una distribución normal, cuya media y desviación estándar debe ser dada por el usuario para cada línea que utiliza la parada de autobús dada. En consecuencia, una de las principales deficiencias del modelo es que se no tiene en cuenta las interacciones entre los pasajeros y los vehículos

de transporte; Así, por ejemplo, los indicadores del nivel de servicio del sistema, tales como el de tiempo de espera de pasajeros en las paradas de bus no puede ser obtenido. [16], [8]

1.1.2 Técnicas de Modelación Sofisticadas de Transporte Público

Las técnicas de modelación sofisticadas para el transporte son técnicas aproximadas para superar las deficiencias que se encuentran en los diferentes simuladores que se vio anteriormente, estas técnicas las hacen engañando al software utilizando modelos más sofisticados para simular sistemas de tránsito.

Se miraran algunos ejemplos sobre cómo los investigadores han tratado de superar las deficiencias de software comercial que utiliza el modelado sofisticado para simular sistemas de tránsito.

Para simular un tránsito rápido de buses (BRT) [16] utilizando VISSIM, el corredor tuvo que ser dividido en secciones más cortas con el fin de modelar la vía central señaladas para el bus en una calle circulada. También se codifico un tipo de vehículo diferente para los buses. [33]

La red se codificó similar al caso anterior, y las señales adicionales se codificaron para mantener los vehículos en algunos lugares previamente especificados en la red y mantener un progreso constante. El control retenía un bus en una ubicación si su progreso al bus por delante de éste era menor que el tiempo mínimo deseado.

Finalmente se encontró una manera de generar los pasajeros de acuerdo con una distribución Poisson u otras distribuciones empíricas de llegada, utilizando CORSIM. A pesar de esta mejora, el nuevo modelo no permite la asignación de pasajeros a diferentes rutas de autobús. "Esto conduce a la necesidad de simulación microscópica de bus, de pasajeros y de tráfico de interacciones en las paradas de autobús para comprender este problema"[15].

En teoría de probabilidad y estadística, la distribución de Poisson es una distribución de probabilidad discreta que expresa, a partir de una frecuencia de ocurrencia media, la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo. Concretamente, se especializa en la probabilidad de ocurrencia de sucesos con probabilidades muy pequeñas, o sucesos "raros" [20]

1.1.3 Funciones Externas a la Simulación

Las funciones externas, utilizando las APIs, permite modelar con mucho detalle y una gran flexibilidad cualquier tipo de operación que el modelador desee, dependiendo de la posibilidad de la interacción entre el software y los componentes externos conectados a través de la interfaz de programación de aplicaciones (API). [22]

El uso de un enfoque más flexible y genérico es producto de las limitaciones observadas y resumidos en los puntos anteriores en conjunto con otros aspectos, tales como: la definición necesaria de puntos de parada predefinidos (que no es realista cuando se modela sistemas como taxis compartidos, taxis, etc.); la imposibilidad de incorporar algoritmos y decisiones de enrutamiento de programación en tiempo real; la incapacidad para modelar y evaluar el desempeño de los pasajeros y conductores; etc. Todos los números anteriores provienen de considerar los sistemas de transporte público como componentes complementarios para el fundamento básico de los modelos de operación de tráfico, ya que, finalmente, los paquetes de simulación comerciales han sido generados sobre la base de la operación de los vehículos particulares [3,26].

Debido a la necesidad de generar un mejor ambiente de simulación para sistemas de transporte flexibles, [20] se propuso un enfoque híbrido de simulación orientado a la microsimulación de los sistemas de transporte personalizados del tipo de acceso telefónico (paratransist) en dos niveles [35]. Ellos definen un nivel abstracto, con una red simplificada (ABSNet), y una serie de estructuras de datos para controlar la posición de los vehículos y los clientes del servicio. La microsimulación se llevó a cabo a un nivel más detallado, conectado con el nivel abstracto a través de funciones que se actualizan en cada paso de tiempo de la simulación, o cuando un evento que afecte el estado del sistema suceda (llegada de un nuevo cliente, la llegada de un vehículo a una parada, etc.) [11] implementado este enfoque y evaluado varios sistemas flexibles combinados con sistemas de transporte masivo (BRT) utilizando PARAMICS para la microsimulación de tráfico. Los entornos de simulación se conectan a través del uso de la APIs y sus funciones asociadas,

disponible en las últimas versiones de PARAMICS.

Los trabajos empíricos recientes utilizan las ventajas de los microsimuladores para modelar esquemas de prioridad de señales de tránsito (TSP). [23] Se desarrolló una heurística que dan señal de prioridad a los buses y reduce los impactos negativos a otros usuarios. La validación de este modelo se lleva a cabo con PARAMICS a través de la API (interfaz de programador de aplicaciones). Los esquemas de prioridad de señales de tránsito (TSP) requieren conocer continuamente la ubicación de los buses para predecir su intersección de la hora de llegada y para calcular la nueva programación de la señal. [29] Se utiliza también PARAMICS para probar otra estrategia de prioridad de señales de tránsito (TSP). Este modelo predice el tiempo de llegada utilizando información en tiempo real y selecciona la estrategia de prioridad entre varios planes prioritarios predefinidos.

Por otra parte, Kim y Rilett [22] estudiaron un algoritmo de prioridad de señales de tránsito (TSP) con paradas de bus ubicadas cerca de las intersecciones. El objetivo del algoritmo es reducir los impactos negativos de tener paradas de bus cerca de las intersecciones. La influencia de las paradas de bus se mide en términos de tiempo estimado de llegada de los buses al llegar a la siguiente intersección. Este algoritmo de prioridad de señales de tránsito (TSP) se implementó en VISSIM a través de la interacción con un programa externo para controlar la programación accionada de señales (VAP).

En lo que sigue, se describen dos enfoques específicos de microsimulación para estudiar las operaciones de parada de autobús en detalle. En primer lugar, teniendo en cuenta modelos independientes del resto del tráfico (BusSIGSIM, PASSION) y no incluidos dentro de cualquier paquete comercial como los descritos anteriormente; y en una segunda opción, utilizando un módulo conectado al PARAMICS a través de API (llamado MISTRANSIT)

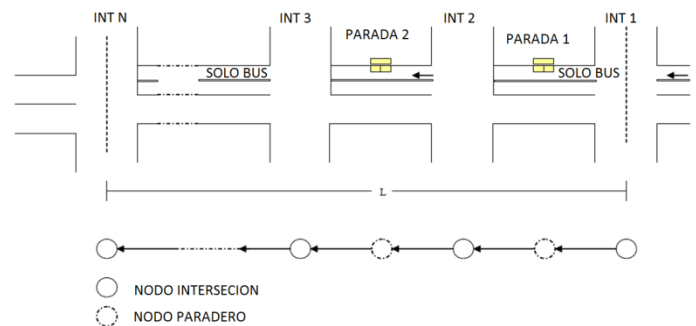
2. SOFTWARE UTILIZADOS PARA EL MODELADO DE TRANSPORTE PÚBLICO

Como primera consideración, es importante conocer de que se compone un modelo de transporte público, para posteriormente poder

mencionar los software que más y mejor se pueden adaptar a dichas modelaciones.

Un modelo de transporte público está compuesto básicamente por un corredor segregado del resto del tráfico por el cual circulan vehículos de dicho transporte, la interacción de estos vehículos en el corredor está dado por las demoras en cada uno de sus dispositivos.

A continuación se muestra un ejemplo de un corredor segregado de transporte público de superficie con N intersecciones y N paraderos dispuestos sobre un corredor de largo L.



Esquema de operación de un corredor TPS

Fuente: Modelo para planificación transporte público.

Esto permite entregar una serie de índices de rendimiento que apoye a la toma de decisiones de operación y diseño de corredores de transporte público de superficie. Entre ellas está estudiar cómo aumentar la velocidad comercial por medio de infraestructura, determinar la capacidad de paraderos e intersecciones y definir las demoras y largos de cola en paraderos e intersecciones en la operación. [39]

2.1. BusSIGSIM

BusSIGSIM se basa en las modificaciones hechas al microsimulador SIGSIM para una mejor representación de las interacciones entre los buses y el resto del tráfico, ya sea en redes o carreteras arteriales. Algunas de las características de SIGSIM, tomadas del formulario Silva [41] [10], se resumen a continuación.

SIGSIM fue diseñado para evaluar la optimización de señal en tiempo real [23]. Es una mezcla entre tiempo fijo y simulación basada en eventos construidos sobre Gipps 'carro-siguiente y los algoritmos de cambio de carril [30,42]. Cada tipo de vehículo que entra en la red se le asigna

una ruta (una serie de enlaces consecutivos de un solo sentido conectando nodos) para los que se define el flujo de tráfico y la composición del tráfico. La generación de un vehículo es un evento que produce un objeto con características tomadas de una tabla de medios y distribuciones. La cinemática de un vehículo se actualiza cada 2/3 segundos. Los vehículos pueden ser generados ya sea a intervalos fijos o aleatorios.

Los Buses en SIGSIM tienen características adicionales: número de pasajeros a bordo, la capacidad de los vehículos (88 pasajeros), y los tiempos totales de embarque y desembarque en los paraderos. El modelo calcula el tiempo de espera en un paradero como el máximo total del tiempo de embarque y desembarque más 4 segundos de tiempo muerto.

Los pasajeros son producidos en SIGSIM de una matriz origen-destino entre las paradas de bus; todos los pasajeros representados inician y terminan sus viajes dentro de la red simulada.

Una característica adicional del modelo con respecto a las paradas de autobús es el siguiente: “Con el fin de permitir que el modelo funcione correctamente, se aconseja a los usuarios diseñar la red de tal manera que las paradas de autobús estén colocadas suficientemente lejos de los límites de unión. Esta es una limitación en BusSIGSIM, impuesta por la arquitectura de la versión paralela de SIGSIM” [41] (. p 100).

Como resultado, de todas las posibles interacciones entre los buses y el tráfico que tienen lugar alrededor de los paraderos, BusSIGSIM considera tres elementos: los buses detenidos en los paraderos, los vehículos tratando de pasar los buses detenidos y los vehículos que viajan en los carriles adyacentes. El objetivo era entender cómo la operación de paradas de autobús podrían afectar el tráfico general.

2.2. PASSION (Parallel Stop Simulation)

El microsimulador PASSION representa las operaciones de las paradas de bus. La complejidad del problema requiere un diseño paralelo para representar todos los diversos procesos concurrentes en las paradas de bus, para ello se tuvieron en cuenta los siguientes componentes: [18], [29].

Módulo de bus: genera las características de los buses, como la ruta, tiempos de llegada al paradero, número de desembarque de pasajeros, el

tiempo promedio de salida de pasajeros, capacidad de buses de repuesto, y tiempos de bloqueo para salir.

Módulo de pasajeros: genera las características de los pasajeros, tales como ruta deseada, el tiempo de llegada a la plataforma, y la hora de embarque de cada pasajero.

Módulo principal de interacción: gestiona las relaciones entre los buses y los módulos de pasajeros, y considera las condiciones del diseño de la parada de autobús y el sistema de operación del bus.

Módulo de rendimiento: resume los resultados de las interacciones y permite la evaluación de los cambios realizados en las entradas.

Diseño de la parada de autobús: está relacionada con el tipo de paradas de bus.

Sistema de Operación de Buses: está relacionada con el tipo de buses (por ejemplo, uno / dos puertas, sistema de venta de entradas, facilidades de embarque y desembarque). [21]

Este modelo considera la posibilidad de operaciones en paralelo o secuencial para el embarque y desembarque del vehículo. Esto se debe a que los buses tienen dos puertas - embarque y desembarque - o sólo una puerta que permite a los pasajeros bajarse y luego abordar. En el modelo, dos fuentes de variabilidad se introducen en el momento del embarque: (a) las características de los pasajeros y (b) características de los buses [41][29]. El primero puede ser incluido en el archivo de entrada generando un tiempo de embarque para cada pasajero procedente de cualquiera distribución dada (por ejemplo, uniforme). La segunda fuente de variabilidad puede ser incorporada a través de la ruta de autobús, suponiendo el mismo tipo de vehículo para cada ruta [47], [29]. El tiempo de bajar del vehículo, por otro lado, sólo admite una fuente de variación: tipo de bus. Esto es porque el modelo no tiene en cuenta el desembarque individual de los pasajeros, sino el grosor de ellos. La variación en el tiempo de bajar del vehículo se puede realizar en el archivo de entrada a través de la ruta de autobús, utilizando el mismo valor para cada bus de la misma ruta. Como la operación de desembarque es más sencilla que el de embarque, uno infiere esta suposición que toda la dificultad reside en las instalaciones de desembarque de los buses. Un valor promedio para todos los buses puede ser asumido también.

2.3. MISTRANSIT

MISTRANSIT es una herramienta que reúne modelos específicos de tránsito en microsimuladores existentes de tráfico [41] [28]. Este programa añade cambios en tres aspectos de la modelización de tránsito: los vehículos de transporte tienen nuevas características; los pasajeros son incorporado como objetos individuales; se incluyen modelos específicos para mejorar la representación de la interacción entre los pasajeros y los vehículos en las paradas de autobús o terminales. **MISTRANSIT** utiliza **PARAMICS**, conectados a través de aplicaciones externas que utilizan la API. [33] **MISTRANSIT** hace uso de los vehículos de transporte y las paradas de autobús de **PARAMICS** [28]. Los datos requeridos son hora de llegada y las características de los vehículos de transporte y pasajeros [2]. Estos datos y estadísticas de vehículos de transporte y los pasajeros se almacenan en matrices de estructuras de datos.

3. PARAMETROS DE CONFIABILIDAD EN LAS MICROSIMULACIONES

La fiabilidad del tiempo de viaje es un atributo importante para la planificación de los sistemas de transporte urbano y también influye significativamente en el modo y ruta de elección de los viajeros. Por lo tanto si los resultados obtenidos tienen influencia directa sobre las decisiones a tomar, es importante que dichos resultados sean lo más confiable posibles; porque de las decisiones tomadas depende el rumbo que tome el transporte o el éxito o fracaso de la implementación de un determinado SITP.

Los resultados de una microsimulación dependen esencialmente de la calidad de información que se ingrese al software. Todas las plataformas existentes en el mercado tienen la capacidad de almacenar gran cantidad de información, además están programadas con una infinidad de variables, y es ahí donde el usuario debe hacer uso de su conocimiento, razón, y comprensión para ingresar los datos que apliquen según el tipo de análisis que se quiera realizar. La mayoría de software de este tipo simulan el comportamiento de cada vehículo cada décima de segundo. Los vehículos pueden variar sus características físicas o de rendimiento y puede ser adecuado a las necesidades del usuario. Se simula en detalle la aceleración, desaceleración, intervalo entre vehículos, cambios de carril, confluencias e

incorporaciones, situaciones que pueden ser afectadas por el comportamiento del conductor, las características del vehículo o la geometría de la vía. Por ejemplo Transmodeler incluye parámetros de defecto para los modelos más importantes de comportamiento. Sin embargo, el usuario puede cambiar estos parámetros fácilmente para calibrar el software a casos específicos.

Para lograr modelaciones correctas es conveniente tener claro el procedimiento a seguir y que se está buscando; en ese orden de ideas se plantea el siguiente método:

- **Recolección y análisis de Datos:** La recogida de datos es la primera y más importante actividad para desarrollar un modelo de simulación. Los datos de volumen de tráfico y velocidad se obtienen generalmente de la encuesta de la matrícula del vehículo, la encuesta del perfil de velocidad, la encuesta velocidad de punto y la encuesta del conteo de volumen de tráfico. Estos datos se deben analizar apropiadamente para proporcionar entradas adecuadas al modelo de simulación
- **Parámetros de Entrada:** Los parámetros de entrada, es decir, la red de carreteras, el flujo de tráfico por hora, las características vehiculares para cada tipo de vehículo y las características del conductor deben ser ingresadas correctamente para desarrollar el modelo de simulación microscópica.
- **Calibración del modelo:** El modelo se debe calibrar adoptando el método de ensayo y error mediante la modificación de los parámetros del seguimiento de carro y de cambio de carril de los conductores hasta que el error entre los datos observados y estimados se encuentra en los límites aceptados.
- **Validación del modelo:** El modelo desarrollado de simulación se debe validar utilizando los datos de tiempo de viaje obtenidos y el volumen de tráfico observados.

3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS MICROSIMULADORES EN TRANSPORTE PUBLICO

Las ventajas principales se basan en que pueden evaluar de manera detallada cada elemento de una red vial, analizar situaciones no predictivas (por ejemplo incidentes), analizar con mayor detalle la operación del transporte público y evaluar

distintos sistemas inteligentes de transporte, por otra parte se pueden modelar los procesos de transferencia de pasajeros en la terminal de autobuses y calcular el tiempo adecuado que se requiere para esta función.

Los microsimuladores realizan predicciones de comportamiento operacional de la red vial frente a distintos eventos o situaciones. Así, los modelos de simulación permiten otorgar una visión amplia de las complejidades de operación de una red frente a problemas específicos y permiten igualmente implementar y analizar estrategias de control que sirvan como soluciones eficaces, confiables y que generen un impacto positivo en tiempo real para los buses, dependiendo de la demanda, de las paradas y tiempo de espera de los pasajeros; también los microsimuladores pueden recopilar estadísticas para los pasajeros, considerándolos como objetos individuales. Igualmente pueden modelar la forma en que los pasajeros se mueven dentro del sistema, ya que pueden ser controlados y seguidos a través de la simulación.

Las limitaciones que tienen los microsimuladores es que al agregar pasajeros a la simulación implica más entidades y, en consecuencia, un uso intensivo de la memoria durante la simulación. Una mejor tecnología y la introducción de algoritmos en paralelo por medio de técnicas de computación, pueden mejorar considerablemente el rendimiento de la simulación, permitiendo modelar redes de mayor tamaño.

La más grande limitación que tiene los microsimuladores es que entre más complejo sean los modelos internos, más difícil son los procesos de calibración y validación, principalmente para escenarios realistas.

Los modelos microscópicos deben ser utilizados en redes de tamaño medio y menor, evitando simular redes extensas, debido a los diversos problemas presentados de convergencia en los flujos y de estabilidad computacional.

4. EXPERIENCIAS EN COLOMBIA Y AMÉRICA LATINA

A finales del siglo XX y principios del siglo XXI se ha venido implementando en América Latina los corredores transporte público como una solución a los problemas de movilidad de las grandes ciudades [38]. Entre estos países se

presentará los ejemplos de Brasil, Chile y Colombia.

4.1 COLOMBIA (BOGOTÁ)

TransMilenio es el sistema de BRT más grande del mundo, superando incluso a un gran número de líneas de metro. Es un sistema de bus de tránsito rápido con corredor segregado del tipo sistema cerrado, tronco alimentado, de plataforma alta y con paradas encapsuladas

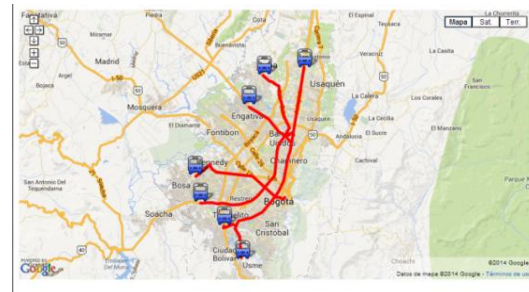


Figura 1: Sistema Transmilenio

Fuente: imagen tomada de Google Maps

El software utilizado en Transmilenio y Transantiago fue TRANUS, que utiliza el siguiente modelo para el sistema BRT. [38]

Búsqueda de pasos múltiples multimodales: esta búsqueda arroja varias formas de viajar, combinando los diferentes modos disponibles, relacionado con los costos, tiempos, valores del tiempo y preferencias.[31]

Generación elástica de viajes por categoría. Se calcula el número de viajes que se harán en el período de simulación (hora pico, total diario, etc.), en función del costo generalizado.[31]

Asignación probabilística multimodal. Los viajes entre cada par de origen-destino son distribuidos probabilísticamente entre las opciones de viaje, de acuerdo a un modelo logit en función del costo generalizado. [31]

Ajuste de la velocidad de los vehículos. Teniendo en cuenta el número de vehículos equivalentes asignados en cada tramo de la red, y de la capacidad de cada tramo, se ajustan las velocidades de circulación de todos los vehículos. [31]

Ajuste de los tiempos de espera. De acuerdo al número de pasajeros que abordan cada servicio de

transporte público y de la capacidad del mismo, se ajustan los tiempos de espera. [31]

Ajuste de frecuencias. De acuerdo a la demanda, las tarifas y los costos de operación, se puede incrementar la frecuencia del servicio. [31]

4.2 CHILE (SANTIAGO)

Transantiago, inaugurado el 22 de octubre de 2007, reformó por completo la malla de recorridos antigua, diseñando un sistema basado en el uso de servicios alimentadores y troncales, en conjunto con el Metro de Santiago, se realizó una enorme inversión en infraestructura (carriles bus y estaciones) y en la flota de vehículos, y además se estableció el uso de una tarjeta inteligente con el fin de establecer un sistema tarifario integrado.



Figura 2: Sistema Transantiago
Fuente: imagen tomada de Google Maps

4.3 Colombia Bucaramanga

Metrolinea, inaugurado el 22 de diciembre de 2009, cuenta con dos tipos de líneas: las troncales que son servidas por buses articulados de 160 plazas y las alimentadoras con buses tipo padrón de 80 plazas y minibuses de 45. [18]



Figura 3: Sistema Metrolinea
Fuente: imagen tomada de Google Maps

Para el modelo de Bucaramanga se utilizó el software TransCAD que utiliza el Modelo 4 ETAPAS:

Modelo de generación y atracción: analiza la capacidad de importación y exportación de viajeros de cada zona de transporte en distintas situaciones. [34], [6]

Modelo de distribución: estima las relaciones origen-destino, actuales y futuras, de los viajes que se dan en el campo de estudio. [9], [6]

Modelo de reparto modal: simula la elección modal que los viajeros toman en el momento de hacer un desplazamiento entre dos puntos. [9], [6]

Modelo de asignación: determina los caminos o rutas seleccionadas en cada relación origen-destino, y la carga por tramos de las líneas o redes viarias durante los distintos períodos temporales de análisis. [9]

5. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN (TRANSMODELER)

En la ejecución del escenario de micro simulación para el análisis de un corredor de transporte público se recurrió al paquete computacional desarrollado por la empresa Caliper Corporation, TransModeler, software que es utilizado para el análisis de tránsito y transporte de sistemas de información geográficos (SIG)[45].

La implementación de TransModeler como software para la modelación se debe a que la Escuela de Ingeniería Civil cuenta con este programa licenciado y que permite su utilización, además ofrece facilidad en el uso de sus diferentes componentes y se constituye en un paquete de muy alto nivel debido a que puede simular toda clase de redes de viales, desde autopistas hasta calles de los centros de las ciudades, y puede analizar redes multimodales de áreas extensas con gran detalle y fidelidad en los resultados. Además puede animar el comportamiento de sistemas de tráfico complejos para ilustrar la circulación de tráfico, la operación semafórica, y el funcionamiento conjunto de la red. [6].

5.1 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Se realizó el montaje en el software TransModeler de un sector de la ciudad Bucaramanga comprendido entre quebradaseca con 15 hasta la diagonal 15 con calle 56, donde existe un corredor vial exclusivo para el transporte público, en esta simulación se introdujo datos como número de

pasajeros iniciales, número de pasajeros que llegan a la estación, número de pasajeros que se suben, longitud de la parada e intervalo de tiempo en el cual llega un articulado a la estación. Para este estudio se realizaron dos escenarios que fueron:

5.1.1 Escenario 1 (Simulación con todos los datos)

En este escenario se introdujeron los siguientes datos: número de pasajeros iniciales, número de pasajeros que llegan a una estación, número de pasajeros que se suben en la estación, tiempo que demora en la estación, longitud de la parada. Esta alternativa es planteada con el propósito de observar los resultados en las vías con mayor tráfico vehicular.

5.1.2 Escenario 2 (Simulación sin datos de parada)

En este escenario se introdujeron todos los datos del escenario 1 exceptuando tiempo de demora en la estación y longitud de la parada. Se omitieron estos datos para analizar en qué grado variaba la velocidad del articulado y el tiempo de viaje.

6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las ecuaciones en las que se basan los programas de microsimulación para analizar y procesar la información suministrada por el usuario y con base en ello dar resultados confiables son específicas para cada caso de estudio, sin embargo para el caso estudiado las que mejor se adaptan para determinar el tiempo total de viaje son las siguientes.

$$Tt = Tm + Ti + Tp$$

Dónde:

- Tt: Tiempo total de viaje de un bus en un tramo de un corredor
- Tm: tiempo en el que el vehículo permanece en movimiento en el tramo, depende de la velocidad del recorrido entre detenciones.
- Ti: Tiempo total consumido en las intercesiones
- Tp: tiempo total consumidos en paraderos

Tiempo consumido en movimiento: tiempo en que un vehículo permanece en movimiento en el tramo, depende de la velocidad de recorrido de los vehículos sin considerar las detenciones.

$$Tm = \sum_{n=1}^{na} \left(\frac{Lk}{vy} \right) + \sum_{k=1}^{ni} dik dik$$

Dónde:

- Vy: velocidad de movimiento en arco
- Ni, Np: número de intersecciones y paraderos en el corredor
- Dik: demora media en intersección
- Dpk: demora media en transferencia de pasajeros

Tiempo consumido en intersecciones (Ti)

El tiempo consumido en intercesiones depende directamente del tipo de vía por la cual circula el transporte público de superficie. Si la vía por el cual se desplaza un bus en una pista exclusiva se reduce el tiempo de viaje a través del cruce, pero ese tiempo puede variar dependiendo de la ubicación del término de la pista exclusiva al llegar a la intersección.

$$Ti = (Dik + lik)hik$$

Dónde:

- Dik: demora por vehículo detenido en la intersección
- Lik: tiempo medio perdido por aceleración y frenado
- Hik: número medio de detenciones por bus en las intersecciones

Tiempo consumido en paradero: (Tp)

La intersección en paradero corresponde a los principales cuellos de botella, seguido de los semáforos.

$$Tp = \beta o + \max(\beta i Psi, \beta 2 Psi)$$

Donde:

- Psi: numero de pasajeros que suben
- $\beta 1, \beta 2$: tiempo marginal de subida
- βo : tiempo muerto por apertura y cierre de puertas.

A continuación se hace una explicación de los indicadores usados para la interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de simulación.

6.1.1 Estadísticas viaje

Son aquellas medidas de rendimiento recogidos para cada viaje individual, como el tiempo total de viaje, distancia total recorrida, el total de demora, el tiempo de detención y el número de paradas experimentadas entre el inicio del viaje hasta el final.

6.1.2 Flujo y tiempo de viaje

Son variables fundamentales de flujo de tráfico. Como caudal, velocidad, densidad, y tiempo de viaje.

6.1.3 Demora

TransModeler recopila información de demora en forma de tres variables: demora, tiempo de parada y número de paradas. Estos datos son necesarios para generar informes de retraso por intersección o segmento. [45]

6.1.4 Niveles de servicio

El concepto de nivel de servicio se utiliza para evaluar la calidad del flujo. Es “una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo de vehículos y/o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros” [34]. Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido.[44]

6.2. DATOS OBTENIDOS EN LAS TABLAS DE RESULTADOS

- **VMT:** valor de millas acumuladas por los vehículos por hora.
- **Tiempo Total de Viaje:** es el tiempo promedio que se demoró cada vehículo en a travesar cada corredor analizado y sus unidades son [Segundos]
- **Velocidad Promedio:** Velocidad Promedio de los vehículos en el segmento sus unidades son [Km/h]
- **Demoras totales**
- **Demora promedio**
- **Tiempo promedio de parada**
- **Número promedio de paradas**

6.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Después de la simulación realizada en TransModeler de cada uno de las alternativas se

realizaron las siguientes tablas donde se compara las velocidades promedios, total de tiempo de viajes, distancia recorrida, tiempo de la parada, retrasos de los articulados, nivel de servicio e intervalo de articulados que llegan a la estación cada 5 min como se realizó en la simulación de TransModeler.

Tabla 1

Velocidad promedio, tiempo de viaje y distancia recorrida en los distintos escenarios

	Vel. Promedio km/h	Total tiempo de viaje min	Distancia recorrida km
Escenario 1	34	15.4	3.1
Escenario 2	40	11.2	3.1

Comparando los dos escenarios se puede observar que en el escenario 2 la velocidad promedio aumenta en 6 km/h, es decir en un 17,64%, otro factor que se puede observar es que el total de tiempo de viaje en el escenario 2 disminuye significativamente en un 27,27% teniendo en cuenta que la distancia recorrida para los dos escenarios es la misma, (3.1 km como se muestra en la tabla 1). Estos datos varían de esta forma en los dos escenarios debido que como se dijo anteriormente en el escenario 2 no se tiene la longitud de paradas y el tiempo de demora en la estación.

Tabla 2

Tiempo de paradas y retrasos

	TIEMPO DE PARADA (min)	Retrasos (min)
escenario 1	3.2	2.1
escenario 2	1.4	0.7

Es esta Tabla 2 se puede observar que el tiempo de parada del escenario 1 en comparación del escenario 2 es del 43.75% de diferencia y en los retrasos es de 33.33%. Esto también se debe a lo explicado anteriormente para los dos escenarios y se ve como varían los datos por estos factores.

Tabla 3

Nivel de servicio e intervalo de buses

	nivel de servicio	Intervalo de buses seg
escenario 1	A	300
escenario 2	A	300

En los dos escenarios se puede observar que el nivel de servicio para los dos casos es un nivel A ya que es una circunstancia de flujo libre al ser un corredor vial exclusivo para los articulados y el intervalo de buses que llegan a la parada es de cada 300seg aproximadamente, estos datos demuestran que será un buen servicio y el sistema será óptimo.

En los modelos macroscópicos es posible analizar lo realizado en este caso; sin embargo los resultados obtenidos no van a tener la misma confiabilidad, debido a que, en los modelos macroscópicos no existe la posibilidad de incorporar en el análisis características específicas, como por ejemplo, el tipo de vehículo, (capacidad, dimensiones, cantidad de puertas), de los paraderos (dimensiones, capacidad), y demandas en la estación de parada. Gracias al avance de la tecnología y de la necesidad del ser humano de perfeccionar cada vez más sus herramientas, casos como el estudiado, hoy en día se modelan y analizan con software de microsimulación donde se tienen en cuenta los aspectos descritos anteriormente, los cuales influyen de manera determinante en los análisis de demoras y desde luego en los resultados obtenidos.

Como se pudo observar, el corredor estudiado, pudo ser correctamente simulado, obteniendo resultados consecuentes a lo que se presencia en campo.

7. CONCLUSIONES

En el estudio realizado sobre los software presentes en el mercado para la microsimulación de corredores de transporte público se puede observar que a través del tiempo han ido mejorando, especialmente los que se refieren a la simulación de tráfico de transporte público, pues la mayoría de los simuladores estaban orientados a los automóviles.

Hoy en día con estos software, se pueden evaluar nodos y tramos específicos de afluencia vehicular, teniendo en cuenta el movimiento particular de cada vehículo, arrojando estadísticas sobre la desviaciones promedio, máxima estándar de los pasajeros, la media y el número de pasajeros de la plataforma, la desviación media, máxima y estándar y el grado de saturación de las paradas de bus, y la media y la longitud máxima de la cola de los buses; información que resulta de vital importancia en el momento de planear la

operación y funcionamiento adecuado de los sistemas de transporte masivo.

También se puede percibir que los diferentes microsimuladores presentan todas las posibles interacciones que se pueden generar en el interior de cualquier corredor o intersección vial, pueden modelar los procesos de transferencias de un terminal de buses, calcular el tiempo adecuado que se requiere para tal funcionamiento, generar estrategias de control en tiempo real para los buses, dependiendo de la demanda en las paradas y tiempo de espera observado de los pasajeros; cabe recordar que la fiabilidad del tiempo estimado por los simuladores han demostrado ser de alta confiabilidad como lo comprobó el estudio exitoso realizado en India con el software VISSIM. [5]

Hasta el momento se mencionaron la gran cantidad de bondades y ventajas que tienen los microsimuladores, sin embargo, para los partidarios del modelado tradicional argumentan que cualquier intento de modelar el comportamiento individual es erróneo, ya que no se entiende y no se puede calibrar los parámetros de control. Además, aducen que son caros, exige muchos datos y es casi imposible de validar [43]. Esta percepción no tiene valides porque no existe estudios serios que lo avalen.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A High-Performance Traffic Flow Microsimulation for Large Problems- David Charypar- Michael Balmer- Kay W. Axhausen - Transport and Spatial Planning 2008
- [2] Abdulhai B, Shalaby AS, Georgi A. Microsimulation modelling and impact assessment of streetcar transit priority options: The Toronto experience. Proceedings of the 81st TRB Annual Meeting, Transportation Research Board: Washington, DC, 2002.
- [3] Análisis comparativo de diseños para un corredor de transporte público usando microsimulación. - Santiago de Chile 2014
- [4] Análisis de modelos de capacidad y demora en intersecciones prioritarias. - Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012.
- [5] Análisis y formulación de nuevos modelos de generación y atracción de viajes - Julio de 2010
- [6] Caliper Corporation. (s.f.). Caliper. Recuperado el 18 de abril de 2014, de <http://www.caliper.com/TransModeler/descripcion.htm>
- [7] Chien S, Chowdhury S, Mouskos K, Ding Y. Enhancements of CORSIM model in simulating operations. Journal of Transportation Engineering 2000; 126(5):396–404.
- [8] Comparison of PARAMICS and GETRAM/AIMSUN Microscopic Traffic Simulation Tools - Ruey Long Cheu Department of Civil Engineering National University of Singapore - November 2003
- [9] Consultoría para la Capacitación en Modelación de Transporte en Plataforma TransCAD® - 21 de octubre de 2008
- [10] Control y simulación de tráfico urbano en Colombia: Estado del arte - Santiago, Diciembre 2010
- [11] Cortes CE, Page`s L, Jayakrishnan R. Microsimulation of flexible transit system designs in realistic urban networks. Transportation Research Record 2005; 1923:153–163
- [12] Desarrollo de un simulador de operaciones de transporte público en un ambiente de microsimulación de tráfico- Vanessa Burgos, Rodrigo Fernández y Cristián E. Cortés Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile 21 de Octubre de 2005
- [13] F. Fang and L. Elefteriadou. “Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis”. Journal of Transportation Engineering, Vol. 131, 2005, p. 535.

- [14] F. Fang and L. Elefteriadou. "Some guidelines for selecting microsimulation models for interchange traffic operational analysis". *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 138, 2007, p. 435.
- [15] Fernandez R, Tyler N. Effect of passenger-bus-traffic interactions on bus stop operations. *Transportation Planning and Technology* 2005; 28(4):273–292.
- [16] Inga Note. Integration of a center-running guided busway into an arterial street. VISSIM User Group Meeting. Seattle, 2001.
- [17] J. Acevedo. "Retos del transporte urbano en Colombia". *Revista Uniandinos*, Vol. 173, Marzo 2009, pp. 12–14.
- [18] J. Núñez-Flores. "El sae de Transmilenio: Sistema de gestión de flotas para el transporte masivo de Bogotá". *Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera*, Vol. 140, 2005, pp. 139–145.
- [19] J. Osorio. Desarrollo e implementación de un modelo de simulación de tráfico para comportamientos no convencionales de conductores. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, 2003.
- [20] Jayakrishnan R, Cortes CE, Lavanya R, Page's L. Simulation of urban transportation networks with multiple vehicle classes and services: classifications, functional requirements and general-purpose modeling schemes. *Proceedings of the 82th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, DC, 2003.
- [21] K. Wood, J. Palmer and R. Bretherton. "Congestion analysis and diagnosis in utc networks". Presentado en: *Road Traffic Monitoring and Control, 1994, Seventh International Conference on*, Apr 1994, pp. 172–176
- [22] Kim W, Rilett LR. An improved transit signal priority system for networks with nearside bus stops. *Proceedings of the 84th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, DC, 2005.
- [23] Lee J, Shalaby A, Greenough J, Bowie M, Hung S. Advanced transit signal priority control using on-line Li MY, Yin Y, Zhou K, Zhang W, Liu H, Tan C. Adaptive transit signal priority on actuated signalized corridors. *Proceedings of the 84th Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington, DC, 2005.
- [24] M. Bedoya. Simulador microscópico de redes viales. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, 2000
- [25] M. Lighthill and G. Whitham. "On Kinematic Waves. I. Flood Movement in Long Rivers," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences (1934-1990)*, Vol. 229, No. 1178, 1955, pp. 281–316.
- [26] M. Papageorgiou, C. Diakaki, V. Dinopoulou, A. Kotsialos and Y. Wang. "Review of road traffic control strategies". *Proceedings of the IEEE*, Vol. 91, No. 12, 2003, pp. 2043–2067.

- [27] M. Papageorgiou, M. Ben-Akiva, J. Bottom, P. Bovy, S. Hoogendoorn, N. Hounsell, A. Kotsialos and M. McDonald. "ITS and Traffic Management, ser". Handbooks in Operations Research and Management Science. Vol. 14, Ch. 11, 2007, pp. 715–774.
- [28] Microscopic simulation of transit operations: policy studies with the MISTRANSIT application programming interface - 22 Mar 2010
- [29] Microsimulación y prioridad a buses en países en desarrollo. Estudio de casos Julio 18 de 2010
- [30] Modelación de intersecciones semaforizadas para simular su interaccion con un paradero de buses- Jaime Gibson Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile - Actas Del Séptimo Congreso Chileno De Ingeniería De Transporte (1995)
- [31] Modelación De Redes Integradas De Transporte Público (Brt) Tomás de la Barra, PhD. Modelística – Prof. Universidad Central de Venezuela - XIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, Santiago, Octubre 2007
- [32]Modelling passengers, buses and stops in traffic microsimulation: review and extensions -26 de mayo de 2010
- [33] Multisystems, Inc. Bus Rapid Transit Simulation Model Research and Development. Report USDOT/SBIR Phase 1, 2000.
- [34] Nivel de servicio de la red nacional de caminos- marzo de 2011
- [35] Oh Jun-Seok, Corte's CE, Jayakrishnan R, Lee Der-Horn. Microscopic simulation with large-network path dynamics for advanced traffic management and information systems. Proceedings of the 6th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Singapore, June 2000.
- [36] On Kinematic Waves. II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads," Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences (1934-1990), vol. 229, no. 1178, 1955, pp. 317–345.
- [37] Q. Yang. A simulation laboratory for evaluation of dynamic traffic management systems. Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology, June 1997.
- [38] Resultados de la modelación microscópica de interacciones vehículos-pasajeros-tráfico para el diseño de sistemas Brt. -Octubre 2007

- [39] S. Ordoñez. Plataforma de micro-simulación escalable y multimodal para evaluar movilidad urbana en escenarios no convencionales. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, 2009.
- [40] S. Spinel. Estimación de la capacidad del diseño de la troncal de la Caracas para Transmilenio. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, 2003.
- [41] Silva PCM, Modelling interactions between bus operations and traffic flow. PhD Thesis, University of London, 2001. 22. Tyler N, Silva P, Brown N, Fernandez R. Operational impacts of bus stops. In Tyler N (ed.). Accessibility and the Bus System: From Concepts to Practice. Thomas Telford: London, 2003; 99–137.
- [42] STT. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. 2005
- [43] Traffic microsimulation – dispelling the myths- By Steven Wood. www.tecmagazine.com Tec octubre 2012 pag 339
- [44] Tráfico de vías interurbanas - Luis Bañon Blázquez pag 75 - 15 de sept 1999
- [45] TransModeler traffic simulation software - www.caliper.com/transmodeler- opyright ©2015 Caliper Corporation
- [46] Transportation Planning and Technology 2014 <http://www.paramics-online.com/what-is-microsimulation.php>
- [47]. Tyler N, Silva P, Brown N, Fernandez R. Operational impacts of bus stops. In Tyler N (ed.). Accessibility and the Bus System: From Concepts to Practice. Thomas Telford: London, 2003; 99–137.
- [48] VisSim-A graphical language for simulation and model-based embedded development - August 18, 2014