

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS EXPRESOS PARA LAS
CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA INTEGRADO DE
TRANSPORTE MASIVO METROLÍNEA.**

**SERGIO GONZÁLEZ SUÁREZ
RICARDO ANDRÉS CRISTANCHO TORRES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS EXPRESOS PARA LAS
CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA INTEGRADO DE
TRANSPORTE MASIVO METROLÍNEA.**

**SERGIO GONZÁLEZ SUÁREZ
RICARDO ANDRÉS CRISTANCHO TORRES**

Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar el título de
Ingeniero Civil

**DIRECTOR
YERLY FABIAN MARTINEZ ESTUPIÑAN**
Ingeniero Civil, Ms. C. – Profesor UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

*A mis familiares y amigos que me han apoyaron en el
transcurso de mi carrera universitaria.*

*A todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y
compartieron sus conocimientos para lograr sobrepasar los
obstáculos de la vida universitaria.*

Sergio.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi Mamá por darme la motivación de seguir adelante en cada uno de los obstáculos que tuve que enfrentar en el proceso de aprendizaje de mi carrera universitaria.

A mi familia por darme el incentivo necesario para lograr este objetivo. Pero sobre todo a Dios por ser el inspirador de cada una de mis decisiones de mi vida diaria.

Ricardo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a Dios, por guiarnos en el sendero correcto de la vida y darnos la fortaleza para enfrentar las adversidades. A nuestros padres, por ser el ejemplo a seguir de todo hijo y el apoyo incondicional en cada una de las metas propuestas. A nuestro director de tesis el Ingeniero Yerly Fabian Estupuñan por tenernos paciencia y guiarnos en cada paso de este proyecto. A nuestros docentes de la Universidad Industrial de Santander que nos dieron los conocimientos y experiencias en el transcurso de vida estudiantil que de una forma u otra sirvió para hacer posible la realización de la tesis. A nuestros amigos y amigas que nos acompañaron en este proceso y nos motivaron para seguir adelante con los objetivos de este propósito.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	18
1. OBJETIVOS:	19
1.1. OBJETIVO GENERAL:	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	19
2. SISTEMAS DE BUS RAPIDO – BUS RAPID TRANSIT (BRT)	19
2.1. HISTORIA DEL BRT	20
2.2. CARACTERISTICAS DEL BRT	21
3. SERVICIOS EXPRESOS	22
3.1. VENTAJAS DE LOS SERVICIOS EXPRESO	24
4. METODOLOGIA USADA PARA DEFINIR LOS PARAMETROS DE DISEÑO DE SERVICIOS EXPRESOS	24
4.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA:	24
4.2. ESTUDIO FRECUENCIA – OCUPACIÓN:	25
4.3. ESTUDIO DE ASCENSOS Y DESCENSOS	26
4.4. MATRIZ ORIGEN – DESTINO	26
5. PARAMETROS DE DISEÑO PARA SERVICIOS EXPRESOS	27
5.1. LONGITUD TOTAL	27
5.2. FRECUENCIA	27
5.3. NUMERO DE PARADAS	27
5.4. NUMERO DE PASAJEROS	27
5.5. NUMERO DE VIAJES	27
5.6. CAPACIDAD VEHICULO	28
5.7. TIEMPO DE CICLO	28
5.8. VELOCIDAD COMERCIAL	28
6. MODELO DE ASIGNACION DE TRAFICO	28
6.1. TIPOS DE MODELOS DE ASIGNACION DE TRAFICO	29
7. PARAMETROS DE DISEÑO DE ACUERDO AL MODELO DE ASIGNACION	30
7.1. SISTEMA DE RUTAS EXPRESO PROPUESTO	31
7.1.1. Ruta Piedecuesta –CRA 27– UIS	31
7.1.2. Ruta Lagos–Carrera 15	31

8.	RED UTILIZADA EN LA MODELACIÓN.....	34
8.1	SISTEMA DE RUTAS ACTUALES DE METROLINEA EN LA MALLA VIAL.	35
8.2	RUTAS DE SERVICIOS EXPRESOS ADICIONADAS A LA RED	35
8.3	SIMULACION DE ESCENARIOS	36
8.4	PARAMETROS DE SIMULACION	36
9.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	38
10.	CONCLUSIONES:	40
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Escenario propuesto para la condición actual del sistema.....	32
Tabla 2 Escenario B propuesto.....	33
Tabla 3 Escenario C propuesto.....	33
Tabla 4 Escenario D propuesto.....	34
Tabla 5 Modos de Viaje	37
Tabla 6 Tabla de transferencias.....	37
Tabla 7 Resultados obtenidos de la simulación de escenarios en TransCAD	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Servicios expreso alrededor del mundo.....	23
Figura 2 Esquema de las líneas de alimentadores que apoyan a los servicios locales y expresos de una sola estación de transferencia.	23
Figura 3 Ejemplo del resultado del estudio Frecuencia – ocupación.	25
Figura 4 Ejemplo del resultado del estudio de Ascensos y descensos.....	26
Figura 5 Red utilizada en la modelación.	35
Figura 6 Rutas de servicios expresos planteadas.....	36

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Características de algunos BRT alrededor del mundo.	45
Anexo B. Sistema de rutas totales del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea.	46
Anexo C. Parámetros de Modelación	47
Anexo D. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “A” en TransCAD.	48
Anexo E. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “B” en TransCAD.	49
Anexo F. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “C” en TransCAD.	50
Anexo G. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “D” en TransCAD.	51

GLOSARIO

BRT	Buses de transito rápido.
OD	Origen Destino
Tijr	Número de viajes entre un origen denominado i y un destino llamado j para una ruta r
Va	Flujo o velocidad de una arco de ruta a.
IPKe	Índice de pasajeros por kilómetro equivalente
CGV	Costo Generalizado de Viaje

RESUMEN

Título	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS EXPRESOS PARA LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO METROLÍNEA.*
Autores	Sergio González Suárez Ricardo Andrés Cristancho Torres **
Palabras Claves	Corredor de buses, demanda, perfil de carga base, servicios expresos, sistemas de información geográfica.

Descripción:

En los sistemas de transporte público con altos niveles de demanda, es frecuente el uso de servicios expresos como alternativa para mejorar la eficiencia del transporte público, este sistema es prometedor dado los beneficios que ofrece a los usuarios y operadores, tales como la disminución del tiempo de viaje y el número reducido de paradas; en la práctica, estos servicios han sido usados en sistemas de transporte público como Transmilenio (Bogotá, Colombia) y Transantiago (Santiago, Chile) demostrando ser eficaces. Para la implementación de servicios expreso en un corredor de buses, es necesario tener en cuenta las características de la demanda de usuarios y definir parámetros para su identificación como son: el perfil de carga de pasajeros, la escala de la demanda, el desbalance de la demanda entre ida y vuelta y el tiempo promedio de viaje, entre otros. En la actualidad existen herramientas que permiten realizar o establecer diferentes escenarios para evaluar el impacto de la implementación de estos servicios, mediante programas de modelación en transporte como TransCAD, que utilicen los sistemas de información geográfica y que permiten realizar análisis de diferentes escenarios. En esta investigación se pretende hacer un análisis del impacto que generaría implementar estos servicios expresos para el sistema de transporte masivo del área metropolitana de Bucaramanga.

* Proyecto de Investigación.

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ms. C. YERLY FABIAN MARTINEZ ESTUPIÑAN.

ABSTRACT

Title	PROPOSAL OF IMPLEMENTING EXPRESS SERVICES FOR CURRENT OPERATING CONDITIONS IN MASS TRANSIT SYSTEM INTEGRATED METROLINEA.*
Authors	Sergio González Suárez Ricardo Andrés Cristancho Torres**
Key words	Bus corridor, demand, base load profile, express services, geographic information systems.

Description:

In the public transport systems with high levels of demand, is frequently used as an alternative express services to improve the efficiency of public transport, this system is promising given the benefits to users and operators, such as reducing the time travel and reduced number of stops, in practice, these services have been used in public transport systems as Transmilenio (Bogotá, Colombia) and Transantiago (Santiago, Chile) proving to be effective. For the implementation of express services in a bus corridor, it is necessary to take into account the characteristics of user demand and define parameters for identification such as: passenger load profile, the level of demand, the imbalance of demand round trip and the average travel time, among others. Currently there are tools that allow or establish different scenarios to assess the impact of the implementation of these services through programs such as TransCAD transportation modeling, using geographic information systems and allow analysis of different scenarios. This research aims to analyze the impact of implementing these express services generate for mass transportation system in the metropolitan area of Bucaramanga.

* Research Project.

** Faculty of physical and mechanical engineering. School of Civil Engineering. Director: Ms. C. YERLY FABIAN MARTINES ESTUPIÑAN.

INTRODUCCIÓN

El transporte en cualquier ciudad o lugar del mundo es un componente difícil de gestionar, a diferencia de todas las demás unidades de una ciudad, no se mejora con el desempeño económico, todo lo contrario; un indicador de lo dicho, es el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) de una ciudad que normalmente trae consigo un mayor nivel de congestión vehicular, y de todas las externalidades asociadas como lo es la contaminación, accidentalidad, inequidad, entre muchas otras como los altos costos energéticos. Para solucionar o mitigar de alguna forma estos problemas se han planteado varias opciones, algunas relacionadas directamente con la construcción de nuevas infraestructuras, otras con el desarrollo de proyectos de transporte público, esquemas de promoción entorno al uso de vehículos como bicicletas, e incluso restricciones para el uso de automóviles particulares.

Con la expansión acelerada en población y área de algunas metrópolis del mundo, el transporte público convencional conocido estaba siendo insuficiente a tan alta demanda de pasajeros. Así surge a principios de la década del 70 el concepto e implementación de Buses de Tránsito Rápido (BRT), estos son sistemas de transporte que, en su mayoría, están emergiendo en las ciudades de países con menor desarrollo, resultado de una estrategia de participación pública y privada, y que a través de políticas gubernamentales, han resultado primordiales para regular y mejorar la calidad del servicio brindado, sin embargo en este proceso no solamente existen consideraciones técnicas a tomar en cuenta, sino políticas, ambientales, económicas y sociales. Bajo esta óptica, en algunas ciudades se empezó con la implementación de servicios de transporte masivo que contaran con servicios expresos cuyo objetivo es disminuir el tiempo entre recorridos largos. Esto es aplicable en ciudades donde el origen de las rutas son áreas de alta demanda que se encuentran a una distancia considerable del centro de la ciudad.

Para este caso de análisis, el área metropolitana de Bucaramanga es una ciudad donde el crecimiento poblacional ha alcanzado una cifra del 30.58% en las últimas tres décadas¹ y con áreas grandes de población alejadas como los municipios de Floridablanca, Piedecuesta y Girón. Esto hace que sea atractiva la implementación servicios expresos entre estas áreas y el centro de la ciudad en las condiciones actuales del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea.

¹ Estado de avance de los objetivos de desarrollo del milenio, Bucaramanga 2012. Disponible en: http://www.pnud.org.co/2012/odm2012/odm_bucaramanga.pdf

Con el fin de ofrecer una mejor calidad de transporte para los ciudadanos del Área Metropolitana de Bucaramanga, en esta investigación se plantean alternativas de servicios expresos para determinar el impacto que tienen para los usuarios este nuevo servicio y determinar si aporta una mejora en el actual Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea.

1. OBJETIVOS:

1.1. OBJETIVO GENERAL:

Determinar la viabilidad de implementar servicios expreso para las condiciones de operación actual del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea del Área Metropolitana de Bucaramanga.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Revisar las metodologías existentes para el diseño e implementación de servicios expresos en sistemas de transporte masivo.
- Determinar los parámetros de diseño de servicios expreso.
- Proponer alternativas de rutas a implementar en el sistema expreso, para el sistema de transporte masivo Metrolínea.
- Determinar el impacto de las rutas planteadas para el sistema de transporte masivo Metrolínea; mediante la determinación del indicador costo generalizado de viaje.

2. SISTEMAS DE BUS RAPIDO – BUS RAPID TRANSIT (BRT)

El sistema de Buses de Transito Rápido (BRT, por sus siglas en ingles de Bus Rapid Transit) es un sistema de alta calidad que revolucionó el transporte en las últimas décadas, por su versatilidad y bajos costos de inversión en infraestructura.

Basado en el uso de carriles segregados combinado con estaciones de autobuses para lograr una operación rápida, frecuente, excelencia en mercadeo y servicio al cliente.

2.1. HISTORIA DEL BRT

El concepto de BRT proviene de una extensa variedad de esfuerzos para mejorar la calidad del transporte público para el usuario. Aunque en la mayoría de textos se le acredita a la apertura del sistema de Curitiba el cual fue desarrollado en los años 70's en América Latina en la ciudad de Curitiba (Brasil).

Los primeros 20 kilómetros del sistema de Curitiba fueron planeados en 1972, construidos en 1973 y abiertos al servicio en 1974². Irónicamente, Curitiba inicialmente buscaba construir un sistema de metro sobre rieles. Pero la falta de recursos hizo necesaria una aproximación más creativa.

Así, bajo el liderazgo del entonces alcalde, la ciudad comenzó un proceso de desarrollo de corredores de carriles exclusivos que salían del centro de la ciudad. Como muchas ciudades de América Latina de aquel tiempo, Curitiba estaba experimentando un crecimiento rápido de población. Pasó de una población aproximada de 600.000 habitantes en la década de 1970, a una población aproximada a la fecha de más de 2.3 millones de habitantes.

La crisis del petróleo del principio de la década de 1970 presiono a muchos gobiernos a encontrar formas rápidas de mejorar su transporte público. Así, la década de 1970 represento una actividad acelerada alrededor de carriles exclusivos tempranos. Con Curitiba como ejemplo, muchas otras ciudades de Brasil siguieron este modelo con sistemas básicos que se desarrollaron en São Paulo (1975), Goiânia (1976), Porto Alegre (1977) y Belo Horizonte (1981)³.

Sólo fue en la década de 1990 que el perfil de los sistemas BRT se comenzó a conocer ampliamente y se logró implementar en muchos lugares alrededor del mundo. Entre ellos se encuentran países como: Estados Unidos, Costa de Marfil, Alemania, Australia, Ecuador, China, entre otros. Ejemplos de países con sistemas BRT y algunas de sus características en el Anexo 1.

² Guía de planificación de sistemas BRT, Autobuses de Tránsito Rápido, Enero de 2010. Pág. 24.

³ Guía de planificación de sistemas BRT, Autobuses de Tránsito Rápido, Enero de 2010. Pág. 25.

Pero Bogotá (Colombia) no era la excepción a estos problemas de movilidad que enfrentaron las otras ciudades. Para finales del siglo XX la situación era crítica. No existía un verdadero sistema de transporte público urbano que sirviera como alternativa al vehículo particular – lo cual incentivaba aún más su uso – y la ciudad registraba bajos niveles de competitividad a nivel latinoamericano y una insatisfactoria calidad de vida de la gran mayoría de sus habitantes. Esto cambió cuando se reconoció que la entrega adecuada de una red de alta calidad de transporte masivo no podría lograrse a través de tecnologías férreas costosas. Fue así que el alcalde y su equipo de trabajo examinaron la experiencia de ciudades como Curitiba, Goiana y Quito y pensaron que el BRT podría ser una solución a la movilidad de Bogotá.

En el transcurso de unos pocos años, la primera fase del sistema Transmilenio en Bogotá se lanzó en diciembre del 2000. En septiembre de 2006 el sistema Transmilenio alcanzo 84 kilómetros de corredores troncales y 420 kilómetros de rutas de alimentación. En este momento el sistema mueve más de 1.2 millones de viajes-pasajeros por día⁴.

Años más tarde, el área metropolitana de Bucaramanga se sumó a la implementación de sistemas BRT inaugurando a finales del año 2009 el Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea y dando inicio a su primera fase que contaba con seis líneas que pasaban por las principales vías de la ciudad. Actualmente el sistema cuenta con 8.6 km de carriles exclusivos troncales, 36.2 km de carriles pre troncales y 61.1 km de vía para rutas alimentadoras. En este momento el sistema mueve aproximadamente entre 160.000 y 200.000 pasajeros diarios⁵.

2.2. CARACTERISTICAS DEL BRT

Las principales características que tiene un sistema BRT son:

- Carriles segregados o carriles solo-bus, preferiblemente en el carril central.
- Pago de la tarifa y validación del viaje fuera del autobús.

⁴ TRANSMILENIO. Agosto de 2013, Historia de Transmilenio. Disponible en:

<http://www.transmilenio.gov.co/es/articulos/historia>

⁵ SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO PARA EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA – METROLINEA. BRC – Disponible en:

<http://brc.com.co/archivos/OPEFO7%20IV%2006%20E%20Metrolinea%20RA.pdf>

- Puntos de paradas fijos mediante el uso de estaciones especiales que dan acceso a nivel entre la plataforma y el piso del vehículo.
- Autobuses de gran capacidad (Articulados y Biarticulados). Sin embargo en la mayoría de ciudades se pueden complementar con autobuses de mediana capacidad que dan un servicio auxiliar denominado “Alimentador”.
- Servicio frecuente, rápido y controlado entre orígenes y destinos principales.
- Mapas de rutas, señalización y/o pantallas de información que son localizados de manera visible dentro de estaciones y/o vehículos.

Las condiciones locales son las que realmente definen las características del sistema y puede que algunas de las mencionadas arriba no se puedan aplicar en ciudades de tamaño pequeño.

3. SERVICIOS EXPRESOS

Los servicios expresos son aquellos recorridos que a lo largo de una ruta definida tienen un número de paradas exclusivas en puntos de mayor interés para el público en general, es decir, se salta todas las estaciones entre un área periférica y un área central. Lo cual lo diferencia de los servicios de paradas limitadas.

Existen ejemplos de implementación de servicios expresos en numerosas ciudades del mundo: según Global BRT Data existen 158 ciudades distintas, en países de todo el mundo, en las que opera algún servicio de este tipo (Figura 1). Algunas de las ciudades donde estos servicios operan exitosamente son Bogotá, Los Ángeles y Nueva York (entre muchas otras ciudades de los Estados Unidos), Curitiba (célebre por ser una de las primeras ciudades en implementar BRT), Pekín, Ámsterdam, Auckland, Lagos, etc.

En el caso de Transmilenio, el ampliamente reconocido sistema BRT de la ciudad de Bogotá, los servicios expresos forman la espina dorsal de la operación del sistema. Durante días hábiles, un 88% de la flota de este sistema se destina a este tipo de servicio, y un 90% de los servicios que se ofrecen son expresos. Sin

embargo, y a pesar de la propagación del uso de este tipo de servicios alrededor del mundo y del gran potencial que representan como herramienta para mejorar el desempeño de las redes de transporte público, los modelos comerciales o herramientas científicas actualmente existentes para el diseño de transporte público no son capaces de modelar efectivamente los servicios expresos y menos aún diseñarlos.

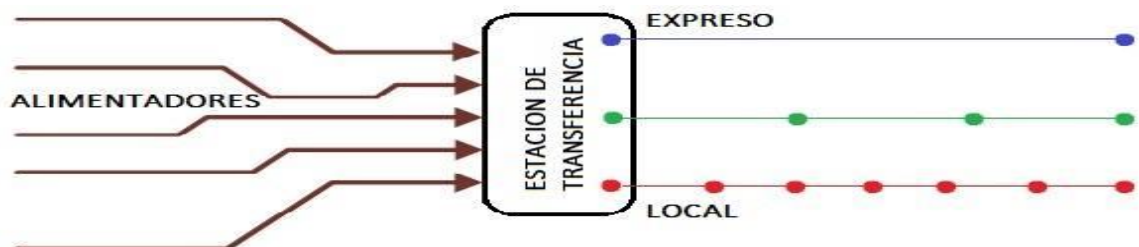
Figura 1 Servicios expreso alrededor del mundo.



Fuente: Imagen tomada de GLOBAL BRT Data. <http://www.brtdata.org/#/location> (Septiembre de 2013).

Los servicios expresos son muy eficientes cuando el origen del viaje es un área de alta demanda que se encuentra a una distancia considerable del centro de la ciudad. Si las densidades de población son suficientes para que el vehículo llene su capacidad en las áreas periféricas puede ser muy eficiente transportar a estos pasajeros directamente a los destinos centrales.

Figura 2 Esquema de las líneas de alimentadores que apoyan a los servicios locales y expresos de una sola estación de transferencia.



Fuente: Elaboración propia.

3.1. VENTAJAS DE LOS SERVICIOS EXPRESO

- Ahorro de tiempo tanto para los vehículos como para sus pasajeros, al utilizar un número de paradas limitadas.
- Reducción de la saturación (congestión) en las estaciones donde el servicio no se ha detenido. Así, puede ser posible construir estaciones más pequeñas en algunos lugares.
- Aumento de la capacidad total del sistema. No obstante, estos servicios también introducen algunos retos para los administradores del sistema.
- Reducción de la frecuencia de cada línea.

4. METODOLOGIA USADA PARA DEFINIR LOS PARAMETROS DE DISEÑO DE SERVICIOS EXPRESOS

Las etapas para empezar el análisis de diseño de cualquier servicio de BRT se describen a continuación:

4.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA:

Analizar los servicios existentes de transporte y las condiciones en las que operan es el primer paso en una evaluación rápida de demanda. Los principales datos que se necesitan recoger son:

- Las rutas de los sistemas actuales de transporte público.
- El número de pasajeros que utiliza cada ruta.
- Las velocidades de los vehículos de transporte público en cada ruta.

Dichos datos se recogen mediante conteos de tráfico y mediciones de ocupación en ubicaciones clave, acompañados de algunas encuestas de velocidad de buses.

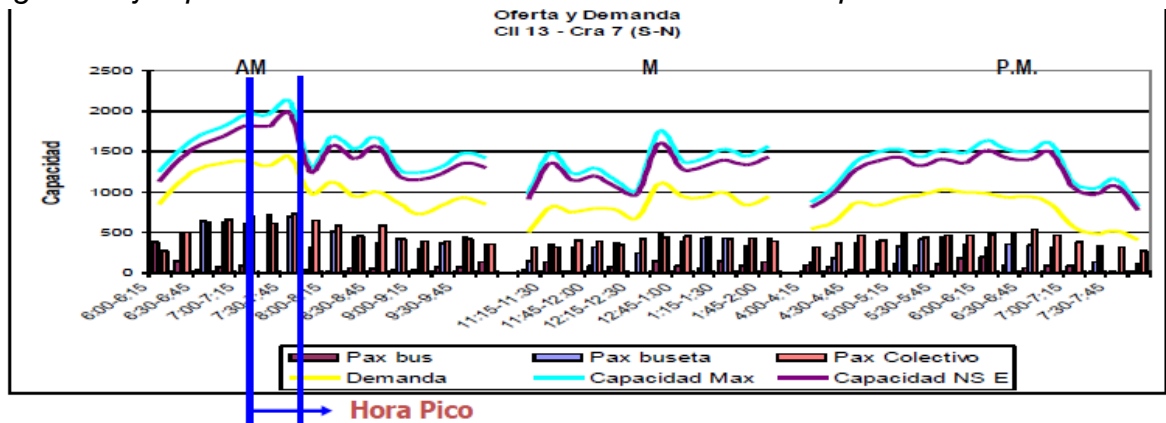
Es primordial conocer el tamaño de la demanda de los usuarios a lo largo de los corredores y la localización geográfica de los orígenes y destinos, porque permite planificar de manera adecuada los servicios expreso necesarios de acuerdo con las necesidades de los usuarios.

4.2. ESTUDIO FRECUENCIA – OCUPACIÓN:

Los datos de la frecuencia y los niveles de ocupación de los buses, pueden ser recogidos de manera separada o simultánea. La frecuencia se hace por medio de conteos de autobuses y el tiempo se separación entre ellos. Los encargados de la medición de ocupación, usualmente escriben, lleno, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, o vacío.

Como resultado de este estudio, se obtiene una distribución horaria de la carga de pasajeros en un punto específico con las respectivas ocupaciones de los vehículos del sistema de transporte. En adelante el análisis se concentra en las horas pico, por ser el momento crítico del sistema. Lo usual es que los servicios expresos se implementen en estas horas (Figura 3).

Figura 3 Ejemplo del resultado del estudio Frecuencia – ocupación.

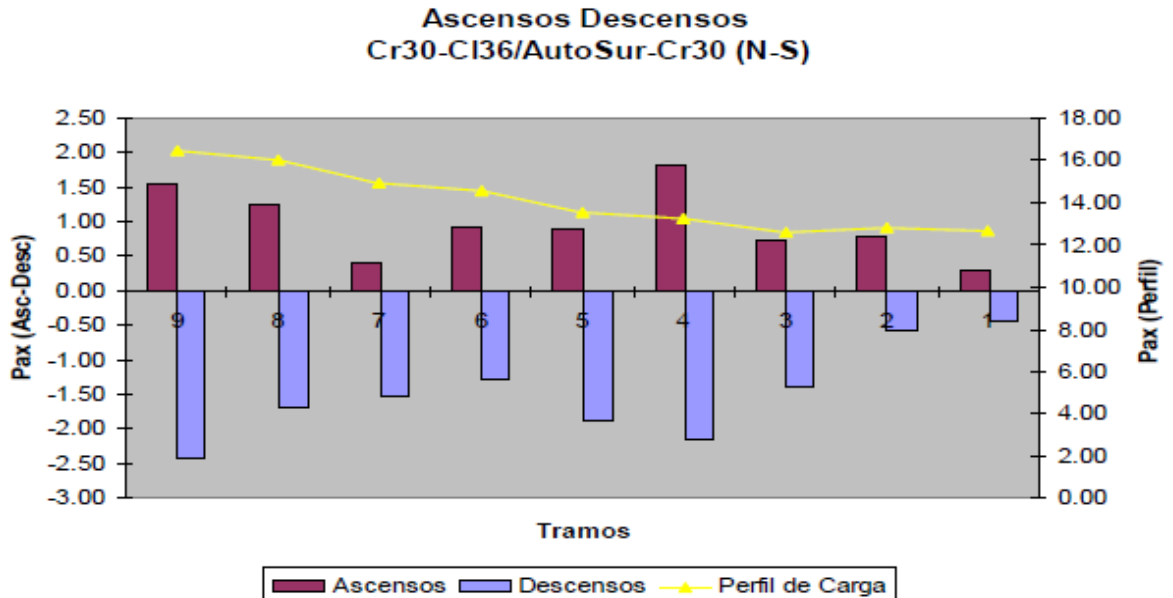


Fuente: Imagen tomada del Taller Latinoamericano de Planificación e Implementación de Sistemas de Autobuses Confinados (BRT) NESTLAC, Ciudad de Guatemala, Mayo 2008.

4.3. ESTUDIO DE ASCENSOS Y DESCENSOS

Se hace mediante conteo de personas y es fundamental la selección estratégica de los puntos en los cuales se va a llevar a cabo esta medición. Con este estudio se obtiene el movimiento de pasajeros a través de todo el corredor. De ahí se tiene una idea para el diseño de las paradas de cada servicio expreso.

Figura 4 Ejemplo del resultado del estudio de Ascensos y descensos.



Fuente: Tomada del Taller Latinoamericano de Planificación e Implementación de Sistemas de Autobuses Confinados (BRT) NESTLAC, Ciudad de Guatemala, Mayo 2008.

4.4. MATRIZ ORIGEN – DESTINO

Para la modelación de transporte, la ciudad se divide en zonas, lo que facilita la interpretación de los datos de origen y destino de los viajes, así a cada una de las zonas se le aplica una dirección. Después de expandir la muestra se obtiene una matriz de viajes entre las zonas de la ciudad. Cuantas más zonas más precisa es la matriz Origen-Destino.

Nota: Los datos de las encuestas usadas en esta investigación fueron aportados por el grupo de investigación de Geomática que realizaron estas encuestas entre los años 2010 y 2011.

5. PARAMETROS DE DISEÑO PARA SERVICIOS EXPRESOS

A continuación se presenta una recopilación de los parámetros más utilizados para el análisis de implementación de servicios expreso.

5.1. LONGITUD TOTAL

Corresponde a la suma total en kilómetros de las longitudes individuales del recorrido de ida y vuelta de una ruta.

5.2. FRECUENCIA

Es importante este parámetro porque si la frecuencia es baja genera menores tiempos de espera de los usuarios y por lo tanto un mayor confort. La frecuencia se calcula como se muestra a continuación:

$$f = \frac{n}{tc} = \frac{\text{número de buses}}{\text{tiempo de ciclo}}$$

5.3. NUMERO DE PARADAS

El número de paradas que serán definidas depende del perfil de la demanda. Las principales paradas serán aquellas cuyo flujo de usuarios sea el más alto.

5.4. NUMERO DE PASAJEROS

Es fundamental para el cálculo de la Ruta más conveniente obtenido mediante el análisis de demanda. Este parámetro es importante para determinar la viabilidad de una ruta.

5.5. NUMERO DE VIAJES

Corresponde al número de despachos programados para un día hábil de operación por la longitud de la ruta. Es usado para tener una relación ideal de beneficio – costo de una ruta.

5.6. CAPACIDAD VEHICULO

Corresponde a la cantidad máxima de pasajeros que un autobús puede transportar. Se utiliza para dar la adecuada distribución de las frecuencias.

5.7. TIEMPO DE CICLO

Tiempo usado por un vehículo en completar una ruta y volver a su punto de partida, incluyendo los tiempos de parada y demoras en estaciones de transferencia.

5.8. VELOCIDAD COMERCIAL

Velocidad comercial de un bus en un tramo corresponde a la velocidad media de viaje entre un paradero origen y otro destino, incluyendo todas las detenciones y demoras intermedias.

6. MODELO DE ASIGNACION DE TRAFICO

La asignación de tráfico consiste en determinar el itinerario que seguirán los usuarios entre los recorridos alternativos posibles que se les ofrece dentro del corredor.

Los modelos de asignación pueden ir desde uno tan simple como el de determinar el tráfico en una única alternativa, cuando el corredor está constituido por una sola vía, hasta un modelo sofisticado de equilibrio de red, cuando las alternativas son múltiples.

Dichos modelos persiguen reducir la congestión, mejorar la eficiencia de los viajes urbanos, minimizar los costos que acarrea el transporte de un usuario de un punto a otro, y en algunos casos influenciar en el uso de transporte público.

6.1. TIPOS DE MODELOS DE ASIGNACION DE TRAFICO

Los modelos más sencillos de asignación de tráfico para el transporte público no se basan en el equilibrio pero son de gran utilidad ya que su uso iterativo permite encontrar soluciones razonables con menos esfuerzo que el requerido por otros métodos más complejos que exigen la estimación de parámetros como la capacidad y los coeficientes de las funciones volumen-demora.

El método de asignación **todo o nada** es el más simple de todos, ya que los flujos son asignados a la ruta más corta que conecta cada par O-D; Este método supone que no hay congestión, que todos los conductores consideran los mismos atributos, su percepción, su importancia o peso en la elección de ruta de la misma manera. La ausencia de congestión significa que los costes de los arcos son fijos, mientras la suposición de que todos los usuarios perciben el coste de la misma forma significa que todos los que viajan entre i y j deben elegir la misma ruta o recorrido; por tanto dichos usuarios son asignados a un solo recorrido entre i y j y ningún usuario es asignado a otros recorridos menos atractivos. Estas hipótesis son razonables en redes no densas y no congestionadas, con pocas alternativas de recorrido y con costes de recorrido muy diferentes entre ellos. El algoritmo que permite buscar la ruta más corta entre i y j se denomina Dijkstra el cual usa parámetros tales como, T_{ijr} que define el número de viajes entre i y j por el recorrido o ruta r y V_a que representa el flujo en el arco "a"⁶.

De otra parte, el método de asignación **estocástica** distribuye los flujos entre múltiples caminos alternativos que conectan los pares O-D, la proporción de viajes que es asignada a cada camino particular es igual a la probabilidad de elegir ese camino; el algoritmo que resuelve este método es conocido en la literatura como el algoritmo de Dial, cuyo procedimiento implementa el modelo Logit de elección de ruta con parámetro θ ⁷; este método de asignación no emplea todas las rutas

⁶ LUIS MARQUEZ, HENRY MONSALVE, Comparación de Métodos de asignación a Redes Para Distintos Volúmenes de Tránsito, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2010, p. 2.

⁷ Y. Sheffi, Urban Transportation Networks: Equilibrium analysis with mathematical programming methods, first edition, Massachusetts Institute of Technology, Prentice Hall, New Jersey, 1984, p. 313.

posibles, pero asigna viajes a todos los arcos considerados razonables, es decir, aquellos por medio de los cuales se aleja del origen y se acerca al destino.

El método de asignación **Pathfinder** permite un tratamiento más complejo y realista del acceso, salida y enlaces de transferencias; así como el uso de las tarifas en el cálculo de los mejores caminos. En el método Pathfinder las estrategias de viajes se construyen a partir de la superposición de servicios idénticos construyendo rutas, utilizando una lógica similar a la del método de estrategias óptimas. Pathfinder se diferencia de estos otros métodos en que las tarifas se tienen en cuenta para determinar el mejor camino.

Finalmente, el método de asignación con restricción de capacidad permite aproximarse a una solución de equilibrio mediante la iteración entre asignaciones todo o nada, recalculando los tiempos en función de la relación existente entre el volumen asignado y la capacidad; este método presenta el problema de que sus resultados dependen fuertemente del número de iteraciones que se ejecuten.

Otros métodos más complejos incluyen el efecto de la congestión, según el cual, a medida que crece el volumen de tráfico, la velocidad promedio de los arcos tiende a decrecer, primero lentamente y luego de manera más significativa.

Para terminar, se definirá el modelo de asignación de tráfico que se usara en esta investigación de acuerdo a las características de la red de transporte del área metropolitana de Bucaramanga y el modelo que más se adecue al objetivo de este trabajo; entre las cuales está el hecho de que los corredores y las estaciones de parada ya están preestablecidas por Metrolinea, los mismos corredores que se usaran para la modelación de los servicios expresos. Partiendo de este hecho y añadiendo que es necesario el uso de la tarifa para calcular el costo generalizado de viaje, se determina que para este caso es adecuado el método **Pathfinder**.

7. PARAMETROS DE DISEÑO DE ACUERDO AL MODELO DE ASIGNACION

De acuerdo al modelo escogido (**Pathfinder**) para la asignación de tráfico se determinaron algunos de los parámetros que serán usados para cada una de las rutas que serán planteadas en esta investigación, los cuales son: Frecuencia (Metrolinea utiliza una frecuencia en horas pico para buses padrón y articulados es de 7 a 10 minutos respectivamente, la misma utilizada para esta investigación),

número de paradas (Parámetro definido en el siguiente numeral), número de pasajeros, número de viajes, capacidad de vehículo (270 personas para buses articulados y 90 para buses padrón), tiempo de ciclo (Depende de la longitud de cada ruta), velocidad comercial (20 km/h), Tarifa (1.700 \$), entre otros.

7.1. SISTEMA DE RUTAS EXPRESO PROPUESTO

A partir de la observación de las zonas pobladas con mayor movimiento de pasajeros cerca de Bucaramanga como Piedecuesta y Floridablanca, se propusieron las siguientes rutas de servicios expresos, las cuales se combinaron de diferentes maneras con las rutas actuales para formar distintos escenarios o alternativas de modelación que permitan determinar el esquema de rutas óptimo. Las rutas de servicios expresos propuesta para la implementación al sistema de transporte masivo Metrolinea fue la siguiente:

7.1.1. Ruta Piedecuesta –CRA 27– UIS

Esta ruta se le asignaron paradas en Piedecuesta, Cañaveral, Provenza, Parque Turbay, UIS, teniendo en cuenta que estas son las paradas más utilizadas por los usuarios.

7.1.2. Ruta Lagos–Carrera 15

Esta ruta consta de paradas en Lagos, Provenza, Rosita y Quebrada seca, teniendo en cuenta que estas son las paradas más utilizadas por los usuarios.

Dichas rutas se determinaron a partir de la demanda de pasajeros del Área Bucaramanga, la cual muestra zonas con alto número de usuarios que tienen un destino en común. Algunas de estas zonas se encuentran en Piedecuesta, Lagos, Centro y la UIS.

Con las anteriores rutas propuestas y considerando los pares O-D, así como el esquema final de rutas del sistema para la fase II, se dio paso a las configuración de los siguientes escenarios para los servicios expresos y las actuales rutas del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea:

- **Escenario A:** Comprende solo las rutas actuales del sistema integrado de transporte Metrolinea.

- **Escenario B:** Incluye las rutas actuales de Metrolinea mas la ruta de servicio expreso, Piedecuesta Cra 27-UIS, en el cual se utilizaran buses padrón.
- **Escenario C:** Contiene las rutas actuales de Metrolinea mas la ruta de servicio expreso, Lagos – Cra 15, este servicio se prestara con buses Articulados.
- **Escenario D:** Abarca Las rutas actuales de Metrolinea y las dos rutas expreso propuestas.

Tabla 1 Escenario propuesto para la condición actual del sistema.

TIPO SERVICIO	NOMBRE DE RUTA
Troncales	Piedecuesta centro
	Lagos centro
Pre- Troncales	Ruta Piedecuesta Cra 33
	Cañaveral-Carrera 33
	Lagos-Carrera 27
	Cumbre – Centro
	Villabel – Centro
	Bucarica – Carrera 27
	Caneyes – Carrera 33
	Caneyes –Diagonal 15
	Caneyes – Carrera 27
	Poblado – Carrera 33
	Ciudadela Real de Minas - Provenza
Alimentadores	Cuenca Piedecuesta
	Cuenca Floridablanca
	Cuenca Cañaveral
	Cuenca Provenza
	Cuenca Ciudadela

Fuente: Autores.

Tabla 2 Escenario B propuesto

TIPO SERVICIO	NOMBRE DE RUTA
Troncales	Piedecuesta centro
	Lagos centro
Pre- Troncales	Ruta Piedecuesta Cra 33
	Cañaveral-Carrera 33
	Lagos-Carrera 27
	Cumbre – Centro
	Villabel – Centro
	Bucarica – Carrera 27
	Ciudadela Real de Minas - Provenza
Alimentadores	Cuenca Piedecuesta
	Cuenca Floridablanca
	Cuenca Cañaveral
	Cuenca Provenza
	Cuenca Ciudadela
Expresos	Piedecuesta- Cra 27-UIS

Fuente: Autores.

Tabla 3 Escenario C propuesto

TIPO SERVICIO	NOMBRE DE RUTA
Troncales	Piedecuesta centro
	Lagos centro
Pre- Troncales	Ruta Piedecuesta Cra 33
	Cañaveral-Carrera 33
	Lagos-Carrera 27
	Cumbre – Centro
	Villabel – Centro
	Bucarica – Carrera 27
	Ciudadela Real de Minas - Provenza
Alimentadores	Cuenca Piedecuesta
	Cuenca Floridablanca
	Cuenca Cañaveral
	Cuenca Provenza
	Cuenca Ciudadela
Expresos	Lagos- Cra 15

Fuente: Autores.

Tabla 4 Escenario D propuesto

TIPO SERVICIO	NOMBRE DE RUTA
Troncales	Piedecuesta centro
	Lagos centro
Pre- Troncales	Ruta Piedecuesta Cra 33
	Cañaveral-Carrera 33
	Lagos-Carrera 27
	Cumbre – Centro
	Villabel – Centro
	Bucarica – Carrera 27
Alimentadores	Ciudadela Real de Minas - Provenza
	Cuenca Piedecuesta
	Cuenca Floridablanca
	Cuenca Cañaveral
	Cuenca Provenza
Expresos	Cuenca Ciudadela
	Piedecuesta- Cra 27-UIS
	Lagos- Cra 15

Fuente: Autores.

8. RED UTILIZADA EN LA MODELACIÓN

La red utilizada que corresponde a la red vial del área metropolitana de Bucaramanga y la zonificación fueron aportadas por el grupo de investigación Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. Cada arco de la red se caracterizó a través de su longitud, capacidad, tiempo de viaje y Velocidad comercial, entre otros.

Figura 5: Red utilizada en la modelación.



Fuente: Grupo de investigación Geomática UIS.

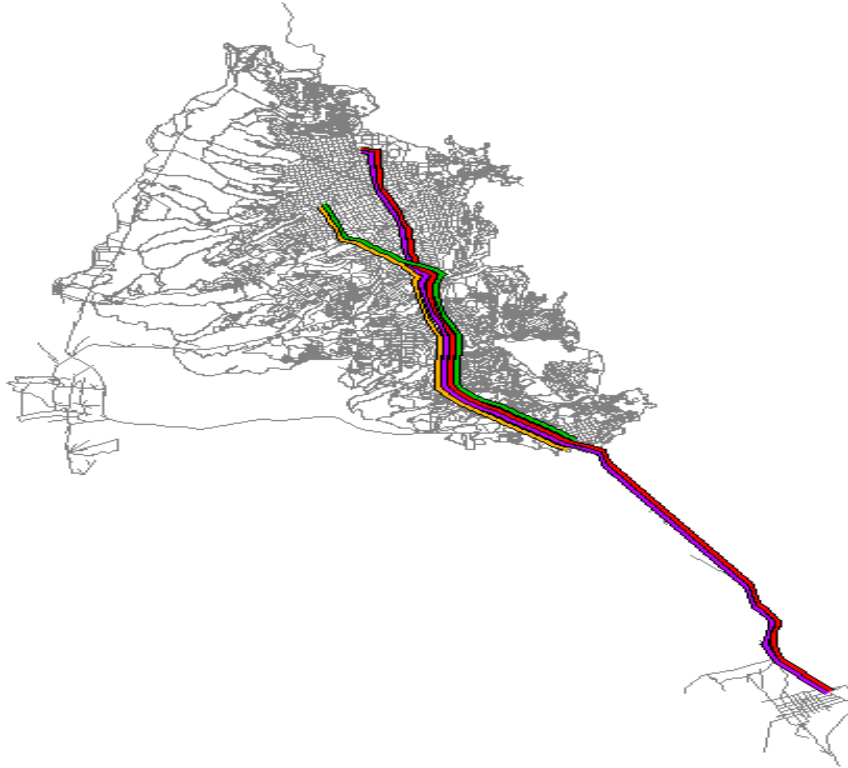
8.1 SISTEMA DE RUTAS ACTUALES DE METROLINEA EN LA MALLA VIAL.

Para realizar la investigación de acuerdo a lo planteado en el plan de proyecto fue necesario usar la proyección de rutas del sistema Integrado de Transporte de Metrolinea, el cual era necesario para la modelación de los escenarios planteados anteriormente para tener una respuesta más acertada de acuerdo con la situación actual del sistema. La grafica que contiene las rutas totales del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea se encuentran en el Anexo 2.

8.2 RUTAS DE SERVICIOS EXPRESOS ADICIONADAS A LA RED

El siguiente paso fue agregar las rutas de servicios expresos antes mencionadas a la red utilizada, teniendo en cuenta los corredores diseñados por Metrolinea para su recorrido.

Figura 6 Rutas de servicios expresos planteadas



Fuente: Elaboración propia TransCAD.

8.3 SIMULACION DE ESCENARIOS

Para la modelación se utilizó el modelo **Pathfinder** mencionado en el capítulo 6.1, el cual permite un tratamiento más simple y rápido debido a que los corredores ya están pre establecidos por Metrolinea, además este modelo se ajusta mejor a los datos disponibles para la investigación.

8.4 PARAMETROS DE SIMULACION

Para la estructuración del modelo se utilizó la red vial del área metropolitana de Bucaramanga, caracterizada con la longitud, y los tiempos de viaje por modalidad de transporte. En el proceso de simulación se consideraron cinco (5) modos diferentes, tal y como se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla 5 Modos de Viaje

MODE_NAME	MODE_ID	MODE_USED	MODE_ACCES	MODE_EGRES	FARE_TYPE	FARE	SPEED	IVTT
Troncal ordinario	2	1	0	0	1	1.55	22.00	IVTT_TRONCALORD
Alimentador	4	1	0	0	1	1.55	18.00	IVTT_ALIMENTADOR
Bus corriente	5	1	0	0	1	1.55	15.00	IVTT_BUSCTE
Caminar	1	1	1	1	1	0.00	3.50	IVTT_CAMINAR
Auxiliar	6	1	0	0	1	1.55	18.00	IVTT_ESPECIAL

Fuente: Elaboración propia TransCAD.

De igual manera, se incluyó una tabla de transferencias para establecer las condiciones de integración tarifaria existentes en el sistema masivo. La Tabla 3 muestra los valores establecidos entre modos.

Tabla 6 Tabla de transferencias

FROM	TO	STOP	PENALTY	FARE	PROHIBIT
4	4	--	--	--	1
4	2	--	--	0.00	--
4	6	--	--	0.00	--
2	2	--	--	0.00	--
2	4	--	--	0.00	--
2	6	--	--	0.00	--
6	4	--	--	0.00	--
6	2	--	--	0.00	--
6	6	--	--	0.00	--

Fuente: Elaboración propia TransCAD.

Para la estimación de las velocidades de viaje por modo, se tomaron las velocidades medias de viaje por modo y ruta. En la siguiente tabla se presentan los valores de los diferentes parámetros utilizados en el proceso de simulación utilizados por el software TransCad para tener en cuenta la función costo generalizado de viaje, los cuales fueron tomados como información secundaria de los resultados obtenidos a partir de las encuestas de preferencia declarada, realizadas en el estudio “CONSULTORIA PARA EL ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL Y FUTURA DEL TRANSPORTE COLECTIVO COMPLEMENTARIO Y MASIVO DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA”. Las tablas de los parámetros de simulación se encuentran en el Anexo 3.

9. ANALISIS DE RESULTADOS

Después de adicionar todos los atributos de la red y los parámetros de diseño de las rutas se dio paso a la extracción de los resultados arrojadas por el programa de acuerdo a los escenarios planteados, los cuales muestran datos para cada una de las rutas en cada escenario, los cuales son (Anexo 4).

- **Longitud Total (Km):** Corresponde a la longitud total en kilómetros de cada ruta. Es decir, la suma de las longitudes individuales del recorrido de ida y de vuelta. Los datos son tomados del sistema TransCAD. Esta longitud no incluye los kilómetros muertos o en vacío, recorridos por los autobuses entre el patio-taller y los puntos de inicio y fin de ruta.
- **Velocidad (Km/h):** Velocidad de circulación promedio de las rutas entre el origen y el destino.
- **Demanda (Pas/h):** Es la demanda total que se presenta en la ruta durante el periodo de tiempo en estudio para el sentido más crítico.
- **Carga Máxima (pas/h):** Es una salida del modelo de simulación y corresponde al número máximo de usuarios a bordo de una ruta en el tramo más crítico de la misma. Este indicador mide el uso máximo que tiene en un punto y momento particular la flota utilizada.
- **Intervalo (min):** Se determina como la relación entre la carga máxima y la capacidad del vehículo para un nivel de servicio determinado.

$$\text{Intervalo} = \frac{\text{Carga Máxima}}{\text{Capacidad del Vehículo}}$$

- **Ciclo (min):** Corresponde al tiempo gastado por las rutas en realizar todo el recorrido de ida y vuelta, incluyendo los tiempos de parada y demoras en estaciones de transferencia y cabecera.
- **Flota Operativa (veh):** Representa el número de vehículos necesarios para la operación de la ruta y se obtiene de la relación entre el tiempo de ciclo y el intervalo.

- **Pasajeros Día (Pas/día):** Es la demanda esperada a lo largo de todo el día en la ruta, la cual se calcula a partir de la demanda horaria y el factor de expansión por hora pico.
- **Recorrido Promedio Diario (Km/día):** Corresponde a la cantidad de kilómetros que recorre la flota durante un día y se obtiene de multiplicar el número de despachos programados para un día hábil de operación por la longitud de la ruta.
- **Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK):** Es un indicador de cuantos pasajeros son movilizados por la ruta en un kilómetro de recorrido, se obtiene de la relación entre la demanda horaria y la longitud recorrida.

Una vez calculados los indicadores operacionales de cada uno de los escenarios, se estimaron los indicadores generales del sistema que permitieron evaluar entre sí el desempeño de los escenarios propuestos, la Tabla 4 presenta los indicadores generales del sistema, una visión más clara y concisa de los resultados presentados por TransCAD en el Anexo 5.

Tabla 7 Resultados obtenidos de la simulación de escenarios en TransCAD

Escenario	Kilómetros HP			Kilómetros Equiv. HP Total	Costos HP	Pas-Hora	IPKe	Transfere ncias	CGV Promedio
	Articulados	Alimentadores	Padrones						
A	734,0	5742,5	8333,1	10.184,7	\$46'974.166	29.535	2,9	12.855	\$ 7.287,7
B	734,0	5271,3	10105,10	11.412,5	\$52'636.922	29.719	2,8	12.834	\$ 7.217,7
C	734,0	5271,4	9006,7	10.153,0	\$46'828.032	30.798	3,2	12.804	\$ 7.189,9
D	734,0	5271,5	11652,00	11.629,7	\$53'638.444	30.28	3,1	12.958	\$ 7.226,5

Fuente: Autores.

Dónde:

- **Kilómetros Equivalente Hora Pico Total (Kilometros Equiv. HP Total):** Longitud recorrida por todo el sistema durante el periodo de tiempo en estudio expresada en una longitud equivalente de recorrido de buses troncales, la cual es calculada a partir de las proporciones del costo por kilómetro de los servicios troncales, pre-troncales y alimentadores.

- **Costo Hora Pico (Costos HP):** Costo operacional en pesos colombianos por concepto de la longitud recorrida por todas las rutas del sistema durante la hora pico, se calcula como el costo por kilómetro de un bus troncal por la longitud equivalente mencionada anteriormente.
- **Pasajeros Hora (Pas-Hora):** Es la demanda total de pasajeros (incluyendo transferencias) durante la hora pico.
- **Índice de Pasajeros por Kilómetro Equivalente (IPKe):** Es la relación entre los pasajeros hora y la longitud equivalente en buses troncales recorrida por todo el sistema.
- **Transferencias:** Es el total de transbordos realizados en el sistema durante la hora pico.
- **Costo Generalizado de Viaje Promedio (CGV Promedio):** Es el costo promedio que le representaría a un usuario del sistema desplazarse durante la hora pico, este costo incluye la tarifa, los tiempos de viaje, espera, transbordo y caminata antes de llegar y después de salir del sistema.

Después de haber definido los indicadores generales del sistema es importante destacar que a medida que el costo generalizado de viaje promedio (CGV promedio) disminuye, aumenta la eficiencia del sistema porque representa ahorros de tiempo de viaje, espera, transbordo y caminata de los usuarios. También es fundamental que el número de transferencias hechas por los usuarios durante un recorrido, sea el menor posible.

En cuanto se refiere al Índice de pasajeros por kilómetro equivalente (IPKe) es importante mencionar que entre mayor sea este valor, mayor va a ser el número de pasajeros que se van a movilizar por kilómetro. Es decir que a medida que el IPKe va creciendo, la eficiencia de un sistema también.

10. CONCLUSIONES:

Tal como se planteó en el objetivo de esta investigación, se quiere conocer los efectos operacionales que tendría la implementación de servicios expresos en el sistema integrado de transporte masivo Metrolinea en el área metropolitana de

Bucaramanga, es decir que para efecto de estas conclusiones, fue necesaria la comparación de los resultados obtenidos de las rutas de servicios expresos y su impacto en las rutas que operan actualmente.

De acuerdo al análisis de resultados anteriormente expuesto, se concluyó en primera medida que una inclusión de un servicio expreso que funcione desde Piedecuesta hasta la UIS por la Cra 27, es viable operacionalmente, es decir que funciona de manera óptima el sistema debido a que el número de transferencias que realizan los usuarios al hacer este recorrido es menor que si se hace de la manera que opera el servicio actualmente. También cabe destacar que para la hora analizada en este trayecto (7-8 am) se aumenta el número de pasajeros por hora que se pueden movilizar, esto se debe a que la inclusión de rutas expreso hace que haya un mayor aprovechamiento del sistema.

En la modelación del escenario C que incluye la ruta que tiene origen en lagos y va hasta el centro de Bucaramanga por la Cra 15, es notorio que el número de transferencias que hacen los usuarios al hacer este recorrido es menor que si lo hacen de la manera que opera el servicio actualmente. Además, el índice IPKe es el mayor de todos los escenarios modelados, es decir que hay eficiencia en el sistema y la mejoría para los usuarios es significativa.

En cuanto a la modelación de las dos rutas de servicios expresos con las rutas actuales (ESCENARIO D), se presenta un mayor número de transferencias por los usuarios, sin embargo el índice IPKe, es mayor al escenario de comparación lo que significa una leve mejoría en la eficiencia del sistema y una viabilidad operacional de las dos rutas de servicios expresos en cuanto a la comodidad de los usuarios.

Observando los resultados para los 4 escenarios planteados es preciso concluir que en cuanto se refiere al Costo Generalizado de Viaje (CGV), hay disminución en los 3 escenarios que contienen Servicios Expresos, por lo tanto hay un aumento en la eficiencia del sistema por causa de ahorros de tiempo.

Según lo expuesto anteriormente, el impacto que generaría la implementación de las dos rutas de servicios expresos planteadas, es positivo en términos de ahorros de tiempo, disminución en el número de transferencias hecha por los usuarios en un recorrido y un aumento de la eficiencia del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] HOMERO LARRAIN I, JUAN CARLOS MUÑOZ A, RICARDO GIESEN E, Diseño de servicios expresos para el Corredor Av. Grecia en Santiago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística.2011.

[2] LEIVA, C. (2008). Diseño de Servicios Expresos Para un Corredor de Transporte Público con Restricción de Capacidad. Memoria. Escuela de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile.

[3] CARLOS HERNANDO BULLA ESLAVA, RITA MEKSRI ZADA, Diseño del sistema de gestión de la calidad para el servicio de movilización humana de expreso bogotano S.A. Universidad de la Sabana Bogotá, Especialización en Gerencia de Producción y Operaciones Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. 2003.

[4] AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE)- Sistemas de Autobuses para el Futuro-El logro de un transporte sostenible en el mundo.2005.

[5] ROLF MÖLLER, Movilidad de personas, transporte urbano y desarrollo sostenible en Santiago de Cali, Colombia. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Área de Gestión Ambiental. Septiembre de 2003.

[6] TRANSMILENIO. Historia de Transmilenio. Agosto de 2013. Disponible en: <http://www.transmilenio.gov.co/es/articulos/historia>, [Citado 29 de Noviembre de 2013]

[7] SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA – METROLINEA. BRC – Disponible en: <http://brc.com.co/archivos/OPEFO7%20IV%2006%20E%20Metrolinea%20RA.pdf>, [Citado 12 de Diciembre de 2013]

[8] DISEÑO TECNICO Y OPERACIONAL DEL SITP_VERSIÓN 4, 31 de Mayo de 2010.

[9] TALLER LATINOAMERICANO DE PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AUTOBUSES CONFINADOS (BRT) NESTLAC, Ciudad de Guatemala, Mayo 2008.

[10] PABLO RODRIGO BELTRÁN CORREA. Congestión y equilibrio en redes de transporte público, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Diciembre de 2012.

[11] GLOBAL BRT Data. <http://www.brtdata.org/#/location>, Septiembre de 2013, [Citado 15 de Noviembre de 2013]

[12] VICTOR VARGAS, Estudio de la Viabilidad de Transporte Expreso entre Sagrado Corazón y el Viejo San Juan, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Puerto Rico – Mayagüe. Mayo 2006.

[13] LUIS MARQUEZ, HENRY MONSALVE, Comparación de Métodos de asignación a Redes Para Distintos Volúmenes de Transito. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 2010, p. 2.

[14] JUAN CARLOS MUÑOZ, Diseño de Servicios Expreso en Buses y Metro, Barcelona, 3 de Septiembre de 2010.

[15] Guía de planificación de sistemas BRT, Autobuses de Tránsito Rápido, Enero de 2010. Pág. 24-25.

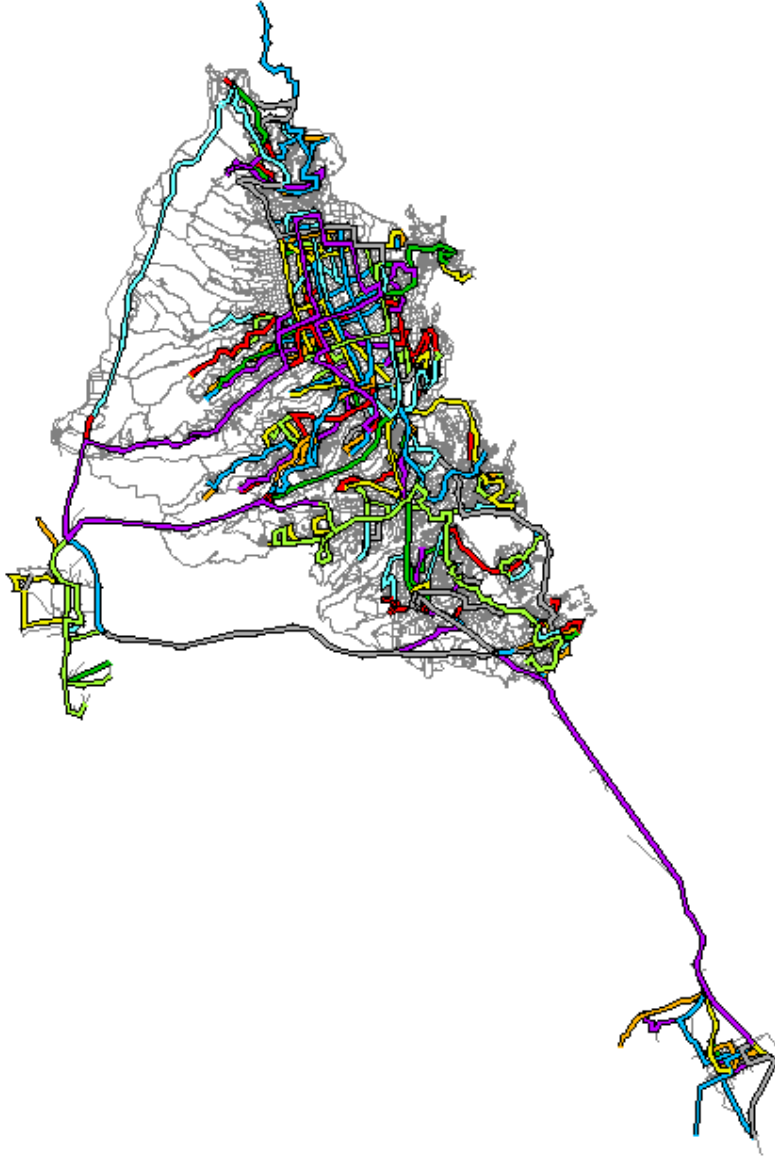
[16] JUAN RENÉ CRUZ MAIRENA, Diseño de un Sistema de Evaluación por Desempeño en el Expreso Americano de Honduras, Departamento de Administración de Agronegocios. 2012.

Anexo A. Características de algunos BRT alrededor del mundo.

Características de BRT	Bogotá (transmilenio)	sao paulo (inteligado)	Curitiba	Quito (central norte)	Santiago (Transantiago)	Sydney (Liverpool-Parmatta)	pittsburgh (MLK East Busway)	pittsburgh (West Busway)
Año de inicio del sistema	2000	2003	1972	2004	2005-2007	2003	1983-2003	2000
Numero de corredores troncales existentes	6	9	6	1	2	1	1	1
Longitud total de corredores existentes (km)	84	129.5	64.6	12.8	no disponible	10 exclusivos+20	14.7	8.1
Numero de rutas troncales	84	>40	12	2	varios	1	38	10
Cuenta Actualmente con Servicios Expreso	sí	sí	sí	sí	sí	sí	sí	sí
Ubicación de carriles de buses	Carriles centrales	carriles centrales	Al costado y centro	carriles centrales	carriles centrales y al costado	Al costado lanes	derecho de vía separado	derecho de vía separado
Longitud total de rutas alimentadoras (km)	212	no aplica	no disponible	no disponible	no aplica	Ninguno	No aplica	no aplica
Longitud proyectada de rutas troncales futuras (km)	388	no disponible	no disponible	no disponible	no disponible	No disponible	25.7	9.3
Numero de estaciones	107	235	123	16	no disponible	36	9	6
Distancia promedio entre estaciones (m)	500	500	540	800	no disponible	861	1633	1350
Numero de terminales	7	27	16	1	0	No disponible	3	1
Total de viajes diarios de pasajeros en el sistema	1450000	2780000	562000	120000	no disponible	6800	26000	9100
Demanda actual en hora pico (pasajeros por hora por dirección)	45000	34900	20000	6400	no disponible	No disponible	5000	1365
Demanda actual en hora no pico (pasajeros por hora por dirección)	28000	no disponible	no disponible	1680	no disponible	No disponible	No disponible	no disponible
Velocidad comercial promedio (km/h)	27	22	19	23	20	29-34	40.1	40.5
Frecuencia promedio en hora pico (segundos o minutos)	3	30	2	2	3	10	4	5
Frecuencia promedio en hora no pico (segundos o minutos)	5	45	6	5	7	20	8.6	20
Tiempo promedio de parada en estaciones (segundos)	25	30	22	30	1-3 minutos	No disponible	No disponible	no disponible
Numero de vehículos de troncales	1013	no disponible	232	74	no disponible	15	162	50
Costos totales de planificación (US\$)	5.3 millones	no disponible	380000	no disponible	no disponible	No disponible	No disponible	no disponible
Costos totales de infraestructura (US\$ por km)	5.3 millones (f.I)	2-22 millones	1.1- 6 millones	1.4 millones	no disponible	23.9 millones	12.5 millones	31.9 millones
	13.3 millones (f.II)							

Fuente: Autores.

Anexo B. Sistema de rutas totales del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea.



Fuente: Autores TransCAD.

Anexo C. Parámetros de Modelación

The image displays four screenshots of the Pathfinder Network Settings dialog box, arranged in a 2x2 grid. Each screenshot shows a different tab of the settings interface.

Top-Left Screenshot (General Tab):

- Network: redactualodosi
- File: C:\...YO2011\redactualodositmstp3.tnw
- Link Field: Time (IVTT_TRONCALOI), Time By Mode (IVTT)
- Settings: Max Trip Cost (999.0), Max Xfers (3), Value of Time (0.07)
- Centroids: Centroids are in network (807 nodes)
- Access Control: Permit Walk-only Trips, Use Stop Access, Max # of Walk Access Paths (None / 50)

Top-Right Screenshot (Transit Tab):

Transit	ROUTE	MODE	GLOBAL
Fare	None	None	1.00
Link Time	Link_Time_ajus	None	1.00
Transfer Penalty Time	None	None	3.00
Init Wait Time	None	None	3.00
Transfer Wait Time	None	None	3.00

Bottom-Left Screenshot (Fare Tab):

- Fare System: Flat Fare, Zonal Fare, Mixed Fare
- Mixed Fares: Fare Type (None / None / None)
- Flat Fares: Regular (Tarifa / None / 0.00), Transfer (Tarifa / None / 0.00)
- Zonal Fares: Matrix Index, Matrix File (C:\...tual\matrizparaderos.mtx), Zone ID, Charge By
- Other Settings: Free Transfers within Same Mode

Bottom-Right Screenshot (Times (Minutes) Tab):

Times (Minutes)	ROUTE	MODE	GLOBAL
Headway	HeadwayAjust	None	15.00
Transfer Penalty	None	None	10.00
Max Int Wait	None	None	10.00
Max Xfer Wait	None	None	10.00
Min Int Wait	None	None	2.00
Min Xfer Wait	None	None	2.00
Layover	None	None	5.00
Max Access Walk	None	None	20.00
Max Egress Walk	None	None	20.00
Max Transfer Walk	None	None	20.00
Max Modal Total	None	None	240.00

Fuente: Autores. Modelo de simulación. TransCAD. Sistema AMB

Anexo D. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “A” en TransCAD.

Código	Ruta	Long total (km)	Vel (km/hr)	Demanda (Pas/hr)	CargaMáx(Pas/hr)	Interv(min)	Ciclo(min)	FlotaOper	Pas/día	Km/día	IPK	KmVe/día
1	A10R_Ampliada	15.57	18.24	2394	818	5	60	13	18780	1,612	11.7	124
2	A1FloridaR	7.44	16.79	828	678	4	33	9	6499	963	6.7	107
3	A1ProvenzaR	8.82	17.2	389	290	5	38	8	3051	913	3.3	114
4	A2Cañaverl	5.35	15.85	30	30	5	26	6	233	555	0.4	92
5	A3Florida	7.33	16.75	177	113	5	33	7	1392	759	1.8	108
6	A4_Provenza	12.23	17.85	946	587	4	49	13	7418	1,583	4.7	122
7	A4Cañaverl	8.87	17.21	43	7	5	38	8	340	918	0.4	115
8	A7_Provenza	9.56	17.38	495	346	5	40	9	3883	990	3.9	110
9	AG01R	5.67	16.03	237	206	5	27	6	1862	587	3.2	98
10	AG02R	7.76	16.9	214	206	5	34	7	1679	804	2.1	115
11	AG03	4.86	15.54	59	59	5	25	5	459	504	0.9	101
12	AG04	6.81	16.56	48	39	5	31	7	375	705	0.5	101
13	AN01R	4.13	14.97	290	290	5	22	5	2273	427	5.3	85
14	AN02R	7.26	16.73	27	27	5	33	7	215	752	0.3	107
15	AN03	4.19	15.02	0	0	0	22	0	0	0	0	0
16	AN04	5.57	15.97	211	128	5	27	6	1655	577	2.9	96
17	AP9	14.25	18.11	1835	1256	2	56	28	14398	3,690	3.9	132
18	APD1 Refugio	4.49	15.27	18	17	5	23	5	143	465	0.3	93
19	APD2 Puerto Nuevo	5.23	15.78	149	7	5	26	6	1170	542	2.2	90
20	APD3 Nueva Colombia	4.37	15.17	0	0	0	23	0	0	0	0	0
21	APD4 Campo Verde	11.33	17.72	587	128	5	46	10	4607	1,173	3.9	117
22	APD5 Centro	11.07	17.67	1090	573	5	45	10	8548	1,147	7.5	115
23	APD6 Tejaditos	12.38	17.88	131	15	5	50	10	1031	1,282	0.8	128
24	APD7 Paseo Puente	18.1	18.44	1371	894	3	69	22	10758	3,124	3.4	142
25	APD8 Portal Valle R	17.44	18.39	667	53	5	67	13	5231	1,806	2.9	139
26	AQ2_ESTORAQUES	21.14	18.63	1135	604	4	79	18	8907	2,736	3.3	152
27	Canaverl_K33R	19.23	18.52	730	441	5	73	14	5729	1,992	2.9	142
28	Lagos-UIS	21.63	18.65	714	367	5	81	15	5605	2,240	2.5	149
29	P1	17.62	18.41	2491	1646	3	67	22	19540	3,042	6.4	138
36	P2	8.62	17.32	372	204	5	34	7	2922	892	3.3	127
37	P3	13.43	18.19	1818	1485	3	48	17	14264	2,318	6.2	136
38	Piede_K33_ParVial	20.92	18.8	4304	3055	2	71	34	33767	5,417	6.2	159
39	SantaAnaCentro	5.47	16.08	14	13	5	24	5	109	567	0.2	113
40	T1R	8.67	19.18	543	498	5	31	7	4256	897	4.7	128
41	T2	17.02	20.68	3881	2759	3	53	18	30449	2,938	10.4	163

Fuente: Autores TransCAD.

Anexo E. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “B” en TransCAD.

Código	Ruta	Long total (km)	Vel (km/hr)	Demanda (Pas/hr)	CargaMáx(Pas/hr)	Interv(min)	Ciclo(min)	FlotaOper	Pas/día	Km/día	IPK	KmVe/día
1	A10R_Ampliada	15.57	18.24	2394	818	5	60	13	18780	1,612	11.7	124
2	A1FloridaR	7.44	16.79	828	678	4	33	9	6499	963	6.7	107
3	A1ProvenzaR	8.82	17.2	389	290	5	38	8	3051	913	3.3	114
4	A2Cañaveral	5.35	15.85	30	30	5	26	6	233	555	0.4	92
5	A3Florida	7.33	16.75	177	113	5	33	7	1392	759	1.8	108
6	A4_Provenza	12.23	17.85	946	587	4	49	13	7418	1,583	4.7	122
7	A4Cañaveral	8.87	17.21	43	7	5	38	8	340	918	0.4	115
8	A7_Provenza	9.56	17.38	495	346	5	40	9	3883	990	3.9	110
9	AG01R	5.67	16.03	237	206	5	27	6	1862	587	3.2	98
10	AG02R	7.76	16.9	214	206	5	34	7	1679	804	2.1	115
11	AG03	4.86	15.54	59	59	5	25	5	459	504	0.9	101
12	AG04	6.81	16.56	48	39	5	31	7	375	705	0.5	101
13	AN01R	4.13	14.97	290	290	5	22	5	2273	427	5.3	85
14	AN02R	7.26	16.73	27	27	5	33	7	215	752	0.3	107
15	AN03	4.19	15.02	0	0	0	22	0	0	0	0	0
16	AN04	5.57	15.97	211	128	5	27	6	1655	577	2.9	96
17	AP9	14.25	18.11	1835	1256	2	56	28	14398	3,690	3.9	132
18	APD1 Refugio	4.49	15.27	18	17	5	23	5	143	465	0.3	93
19	APD2 Puerto Nuevo	5.23	15.78	149	7	5	26	6	1170	542	2.2	90
20	APD3 Nueva Colombia	4.37	15.17	0	0	0	23	0	0	0	0	0
21	APD4 Campo Verde	11.33	17.72	587	128	5	46	10	4607	1,173	3.9	117
22	APD5 Centro	11.07	17.67	1090	573	5	45	10	8548	1,147	7.5	115
23	APD6 Tejaditos	12.38	17.88	131	15	5	50	10	1031	1,282	0.8	128
24	APD7 Paseo Puente	18.1	18.44	1371	894	3	69	22	10758	3,124	3.4	142
25	APD8 Portal Valle R	17.44	18.39	667	53	5	67	13	5231	1,806	2.9	139
26	AQ2_ESTORAQUES	21.14	18.63	1135	604	4	79	18	8907	2,736	3.3	152
27	Canaveral_K33R	19.23	18.52	730	441	5	73	14	5729	1,992	2.9	142
28	Lagos-UIS	21.63	18.65	714	367	5	81	15	5605	2,240	2.5	149
29	P1	17.62	18.41	2491	1646	3	67	22	19540	3,042	6.4	138
36	P2	8.62	17.32	372	204	5	34	7	2922	892	3.3	127
37	P3	13.43	18.19	1818	1485	3	48	17	14264	2,318	6.2	136
38	Piede_K33_ParVial	20.92	18.8	4304	3055	2	71	34	33767	5,417	6.2	159
39	SantaAnaCentro	5.47	16.08	14	13	5	24	5	109	567	0.2	113
40	T1R	8.67	19.18	543	498	5	31	7	4256	897	4.7	128
41	T2	17.02	20.68	3881	2759	3	53	18	30449	2,938	10.4	163
42	P20		18.19	1745	1485	3	36	17	14264	2,318	6.2	136

Fuente: Autores TransCAD.

Anexo F. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “C” en TransCAD.

Código	Ruta	Long total (km)	Vel (km/hr)	Demanda (Pas/hr)	CargaMáx(Pas/hr)	Interv(min)	Ciclo(min)	FlotaOper	Pas/día	Km/día	IPK	KmVe/día
1	A10R_Ampliada	15.57	18.24	2394	818	5	60	13	18780	1,612	11.7	124
2	A1FloridaR	7.44	16.79	828	678	4	33	9	6499	963	6.7	107
3	A1ProvenzaR	8.82	17.2	389	290	5	38	8	3051	913	3.3	114
4	A2Cañaverl	5.35	15.85	30	30	5	26	6	233	555	0.4	92
5	A3Florida	7.33	16.75	177	113	5	33	7	1392	759	1.8	108
6	A4_Provenza	12.23	17.85	946	587	4	49	13	7418	1,583	4.7	122
7	A4Cañaverl	8.87	17.21	43	7	5	38	8	340	918	0.4	115
8	A7_Provenza	9.56	17.38	495	346	5	40	9	3883	990	3.9	110
9	AG01R	5.67	16.03	237	206	5	27	6	1862	587	3.2	98
10	AG02R	7.76	16.9	214	206	5	34	7	1679	804	2.1	115
11	AG03	4.86	15.54	59	59	5	25	5	459	504	0.9	101
12	AG04	6.81	16.56	48	39	5	31	7	375	705	0.5	101
13	AN01R	4.13	14.97	290	290	5	22	5	2273	427	5.3	85
14	AN02R	7.26	16.73	27	27	5	33	7	215	752	0.3	107
15	AN03	4.19	15.02	0	0	0	22	0	0	0	0	0
16	AN04	5.57	15.97	211	128	5	27	6	1655	577	2.9	96
17	AP9	14.25	18.11	1835	1256	2	56	28	14398	3,690	3.9	132
18	APD1 Refugio	4.49	15.27	18	17	5	23	5	143	465	0.3	93
19	APD2 Puerto Nuevo	5.23	15.78	149	7	5	26	6	1170	542	2.2	90
20	APD3 Nueva Colombia	4.37	15.17	0	0	0	23	0	0	0	0	0
21	APD4 Campo Verde	11.33	17.72	587	128	5	46	10	4607	1,173	3.9	117
22	APD5 Centro	11.07	17.67	1090	573	5	45	10	8548	1,147	7.5	115
23	APD6 Tejaditos	12.38	17.88	131	15	5	50	10	1031	1,282	0.8	128
24	APD7 Paseo Puente	18.1	18.44	1371	894	3	69	22	10758	3,124	3.4	142
25	APD8 Portal Valle R	17.44	18.39	667	53	5	67	13	5231	1,806	2.9	139
26	AQ2_ESTORAQUES	21.14	18.63	1135	604	4	79	18	8907	2,736	3.3	152
27	Canaverl_K33R	19.23	18.52	730	441	5	73	14	5729	1,992	2.9	142
28	Lagos-UIS	21.63	18.65	714	367	5	81	15	5605	2,240	2.5	149
29	P1	17.62	18.41	2491	1646	3	67	22	19540	3,042	6.4	138
36	P2	8.62	17.32	372	204	5	34	7	2922	892	3.3	127
37	P3	13.43	18.19	1818	1485	3	48	17	14264	2,318	6.2	136
38	Piede_K33_ParVial	20.92	18.8	4304	3055	2	71	34	33767	5,417	6.2	159
39	SantaAnaCentro	5.47	16.08	14	13	5	24	5	109	567	0.2	113
40	T1R	8.67	19.18	543	498	5	31	7	4256	897	4.7	128
41	T2	17.02	20.68	3881	2759	3	53	18	30449	2,938	10.4	163
42	P21		19.25	1050	785	5	24	15	8560	2,240	2.5	149

Fuente: Autores TransCAD.

Anexo G. Resultados obtenidos de la simulación del escenario “D” en TransCAD.

Código	Ruta	Long total (km)	Vel (km/hr)	Demanda (Pas/hr)	CargaMáx(Pas/hr)	Interv(min)	Ciclo(min)	FlotaOper	Pas/día	Km/día	IPK	KmVe/día
1	A10R_Ampliada	15.57	18.24	2394	818	5	60	13	18780	1,612	11.7	124
2	A1FloridaR	7.44	16.79	828	678	4	33	9	6499	963	6.7	107
3	A1ProvenzaR	8.82	17.2	389	290	5	38	8	3051	913	3.3	114
4	A2Cañaveral	5.35	15.85	30	30	5	26	6	233	555	0.4	92
5	A3Florida	7.33	16.75	177	113	5	33	7	1392	759	1.8	108
6	A4_Provenza	12.23	17.85	946	587	4	49	13	7418	1,583	4.7	122
7	A4Cañaveral	8.87	17.21	43	7	5	38	8	340	918	0.4	115
8	A7_Provenza	9.56	17.38	495	346	5	40	9	3883	990	3.9	110
9	AG01R	5.67	16.03	237	206	5	27	6	1862	587	3.2	98
10	AG02R	7.76	16.9	214	206	5	34	7	1679	804	2.1	115
11	AG03	4.86	15.54	59	59	5	25	5	459	504	0.9	101
12	AG04	6.81	16.56	48	39	5	31	7	375	705	0.5	101
13	AN01R	4.13	14.97	290	290	5	22	5	2273	427	5.3	85
14	AN02R	7.26	16.73	27	27	5	33	7	215	752	0.3	107
15	AN03	4.19	15.02	0	0	0	22	0	0	0	0	0
16	AN04	5.57	15.97	211	128	5	27	6	1655	577	2.9	96
17	AP9	14.25	18.11	1835	1256	2	56	28	14398	3,690	3.9	132
18	APD1 Refugio	4.49	15.27	18	17	5	23	5	143	465	0.3	93
19	APD2 Puerto Nuevo	5.23	15.78	149	7	5	26	6	1170	542	2.2	90
20	APD3 Nueva Colombia	4.37	15.17	0	0	0	23	0	0	0	0	0
21	APD4 Campo Verde	11.33	17.72	587	128	5	46	10	4607	1,173	3.9	117
22	APD5 Centro	11.07	17.67	1090	573	5	45	10	8548	1,147	7.5	115
23	APD6 Tejaditos	12.38	17.88	131	15	5	50	10	1031	1,282	0.8	128
24	APD7 Paseo Puente	18.1	18.44	1371	894	3	69	22	10758	3,124	3.4	142
25	APD8 Portal Valle R	17.44	18.39	667	53	5	67	13	5231	1,806	2.9	139
26	AQ2_ESTORAQUES	21.14	18.63	1135	604	4	79	18	8907	2,736	3.3	152
27	Canaveral_K33R	19.23	18.52	730	441	5	73	14	5729	1,992	2.9	142
28	Lagos-UIS	21.63	18.65	714	367	5	81	15	5605	2,240	2.5	149
29	P1	17.62	18.41	2491	1646	3	67	22	19540	3,042	6.4	138
36	P2	8.62	17.32	372	204	5	34	7	2922	892	3.3	127
37	P3	13.43	18.19	1818	1485	3	48	17	14264	2,318	6.2	136
38	Piede_K33_ParVial	20.92	18.8	4304	3055	2	71	34	33767	5,417	6.2	159
39	SantaAnaCentro	5.47	16.08	14	13	5	24	5	109	567	0.2	113
40	T1R	8.67	19.18	543	498	5	31	7	4256	897	4.7	128
41	T2	17.02	20.68	3881	2759	3	53	18	30449	2,938	10.4	163
42	P20		18.19	1745	1485	3	36	17	13450	2,318	6.2	136
43	P21		19.25	1045	650	5	24	15	9560	2,240	2.5	149

Fuente: Autores TransCAD.