

**CAPÍTULO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE
TRANSPORTE DEL SITP CON LA INCLUSIÓN DE NUEVOS
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA**

DOCUMENTO TÉCNICO



ALCALDÍA MAYOR
BOGOTÁ D.C.

TRANSMILENIO S.A.

SUBGERENCIA TÉCNICA Y DE SERVICIOS

Bogotá D.C. 2013

Equipo de trabajo

Jose Alejandro Echeverry C.

Profesional Especializado Grado 06
Subgerencia Técnica y de Servicios

Mario Leonardo Nieto A.

Profesional Especializado Grado 05
Subgerencia Técnica y de Servicios

Edna del Pilar Rodríguez A.

Profesional Especializado Grado 06
Subgerencia Técnica y de Servicios

Revisó

Edgar Iván Cano M.

Profesional Especializado Grado 06
Coordinador Área Planeación de Transporte
Subgerencia Técnica y de Servicios

Aprobó

Luis Fernando Zuluaga T.

Subgerente Técnico y de Servicios



TABLA DE CONTENIDO

1.	<u>INTRODUCCIÓN: CONTEXTO DEL SITP</u>	5
1.1.	TRANSFORMACIÓN DEL SITP: DEL CAOS AL ORDEN	5
1.2.	OPERACIÓN ZONAL EN EL SITP	7
1.3.	CRECIMIENTO DE LA FLOTA EN EL SITP	8
2.	<u>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA EN EL CORTO Y MEDIANO PLAZO</u>	9
2.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL	9
2.2.	PRONÓSTICO DE LA DEMANDA EN HORA PICO PARA 2014 Y 2015	10
2.3.	DISEÑO OPERACIONAL	12
3.	<u>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA EN EL LARGO PLAZO</u>	13
3.1.	INFORMACIÓN SECUNDARIA DISPONIBLE	13
3.2.	METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE MATRICES	15
3.3.	PROCESO METODOLÓGICO Y RESULTADO	15
4.	<u>ESTRUCTURACIÓN DE LOS ESCENARIOS SITP</u>	17
4.1.	ESCENARIO SITP 2016	17
4.1.1.	OPERACIÓN TRANSITORIA CON BUS DUAL	17
4.1.2.	TRONCAL AVENIDA BOYACÁ	21
4.2.	ESCENARIO 2021	22
4.2.1.	RED DE METRO LIGERO	22
4.2.2.	TRONCAL AVENIDA 68	23
4.3.	ESCENARIO 2025	24
5.	<u>MODELACIÓN Y DISEÑO OPERACIONAL DE LOS ESCENARIOS</u>	25
5.1.	ESCENARIO 2016	26
5.2.	ESCENARIO 2021	27
5.3.	ESCENARIO 2025	28
5.4.	ESCENARIO 2035	30
6.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA SUBGERENCIA TÉCNICA Y DE SERVICIOS</u>	31



1. Introducción: Contexto del SITP

1.1. Transformación del SITP: del caos al orden

El proyecto del Sistema Integrado de Transporte para la ciudad de Bogotá – SITP – toma fuerza con la creación del Plan Maestro de Movilidad, adoptado por el Decreto 319 de 2006. Éste surge como una iniciativa ambiciosa de transformar el transporte en la ciudad, migrando de un sistema desordenado y de cierta forma caótico (transporte tradicional o transporte público colectivo – TPC) hacia un transporte ordenado, eficiente y confiable. Por medio del Decreto 309 de 2009, se le dio estructura real a esta iniciativa, para así poder iniciar con los diseños conceptuales. El SITP no se está inventando algo que no exista en el resto mundo, pues en ciudades europeas, entre otras, es práctica común contar con sistemas de transporte integrados. Lo que lo convierte en un proyecto ambicioso está en la transformación absoluta de la forma en que funciona el transporte público en una ciudad de más de 7 millones de habitantes, acostumbrada a un modelo de transporte público que ha operado igual por más de 70 años. La transformación incluye un componente de esquema empresarial, prestación del servicio, recaudo, información y cultura del uso de transporte.

Figura 1. Transformación en la prestación del servicio y el recaudo

TPC		SITP
Frecuencias irregulares y poco confiables		Frecuencias regulares, programadas racionalmente
Calibración de frecuencias de rutas de manera informal, con calibradores en vía informales		Calibración de frecuencias de rutas mediante GPS y software especializado, con apoyo de personal técnico especializado en vía
Conductores conducen de forma irresponsable, fomentando la inseguridad vial. En varios casos tienen altas deudas por multas de tránsito	➔	Conductores son motivados a conducir respetando las normas de tránsito, fomentando la seguridad vial. No se permite que tengan multas acumuladas
Pago de pasaje directamente con conductor, generando riesgo de accidentalidad		Pago de pasaje por validación de tarjeta, permitiendo que conductor se dedique exclusivamente a conducir
Recaudo en manos del conductor, evitando contabilidad clara para distribución y pago de impuestos		Recaudo centralizado, facilitando contabilidad clara para distribución y pago de impuestos

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Figura 2. Transformación en el esquema empresarial

EMPRESA TRADICIONAL	OPERADOR SITP
66 Empresas que NO hacen transporte	13 contratos de concesión para 9 Operadores de transporte
Afiliadora de buses	Propietaria de buses
Vende Cupos	Opera servicio de transporte
Consigue rutas	Obtiene concesión de operación en zona
Lejos del servicio	Presta el servicio integralmente
No contrata conductores	Conductores son empleados directos
Desconectada de servicio, conductores y buses	Un solo propietario, que es el Operador, responsable de servicio, conductores, buses, costos y responsabilidades
Propietario de bus desconectado del servicio	
Conductor desconectado de servicio y costos	
Conductores con riesgo de negocio: guerra del centavo	Empleo con ingreso fijo, estable y prestaciones sociales
Propietario de bus con riesgo de negocio: buses viejos y en mal estado	Operador responsable de tener buses en buen estado, con vida útil de 12 años
Empresa sin riesgo de negocio: propietarios pagan montos fijos independiente del comportamiento de la demanda. No incentiva buen nivel de servicio	Empresa se remunera por kilómetros recorridos, pasajeros recogidos y cantidad de buses, incentivando buen nivel de servicio
Permisos de rutas a término indefinido	Contratos de concesión a 24 años

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Figura 3. Transformación en la información y cultura del uso de transporte

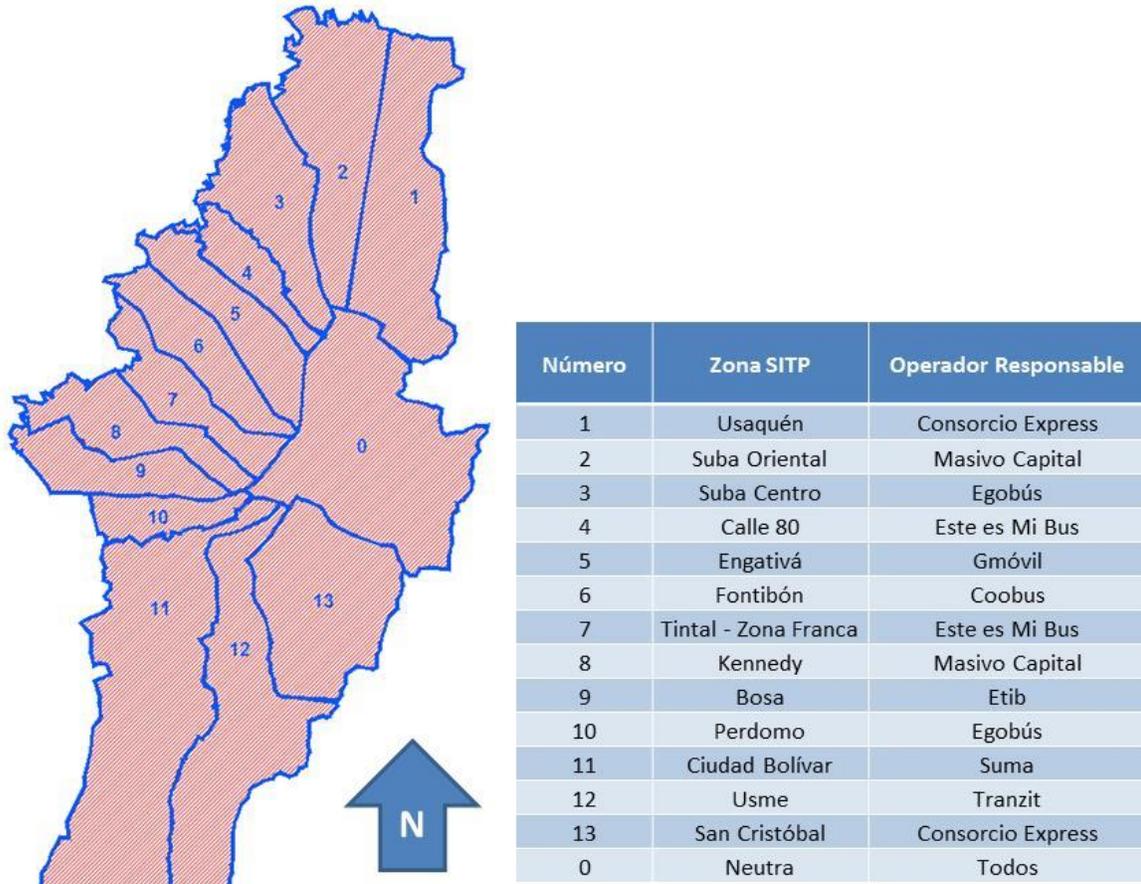
TPC	SITP
Información de operación de rutas limitado a tableros informativos en los buses	Información completa de servicio, accesible por distintos medios: páginas web, volantes, señalética en paraderos y en los buses
Buses paran para dejar o recoger en cualquier punto a solicitud de los usuarios	Buses paran en paraderos definidos, que contienen información acerca de las rutas que por ahí transitan

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

1.2. Operación Zonal en el SITP

El SITP dividió la ciudad en 13 zonas operativas y una zona neutra, con el propósito de asignar la responsabilidad de operación en unas áreas definidas. Cada zona tiene un operador responsable, permitiendo la posibilidad de que un operador sea responsable de máximo dos zonas. Los operadores son responsables de la prestación de servicio en toda su zona, incluyendo la operación troncal de la **Fase III** de TransMilenio. Sin embargo, los contratos de las **Fases I y II** aún se encuentran vigentes, razón por la cual continúan bajo responsabilidad de los operadores actuales, tanto para el componente troncal, de alimentación y el recaudo, bajo responsabilidad de Angelcom. El Sistema Integrado de Recaudo, Control e Información al Usuario – SIRCI – tiene una única empresa responsable, que es Recaudo Bogotá.

Figura 4. Zonas del SITP con sus respectivos operadores responsables



Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Tabla 1. Operadores troncales y zonales

FASE	OPERADOR TRONCAL	ZONA TRONCAL	FASE	OPERADOR ALIMENTACIÓN	ZONA ALIMENTACIÓN
Fase I	EXPRESS DEL FUTURO	Calle 80	Fase I y II	CITIMÓVIL	Usme
	CIUDAD MÓVIL	Norte		ALCAPITAL	Suba
	SI 99	Usme		ALNORTE FASE II	Norte
	METROBÚS	Tunal		TAO	Calle 80
Fase II	TRANSMASIVO	Suba	Fase III	ETMA	Américas - Banderas
	SOMOS K	Américas		SI 03	Tunal - Sur
	CONNEXION MÓVIL	Sur		CONS. EXPRESS	Kennedy
Fase III	CONS. EXPRESS	San Cristóbal		GMÓVIL SAS	Engativá
	GMÓVIL SAS	Engativá		COOBÚS SAS	Fontibón
	COOBÚS SAS	Fontibón			

Fuente. Dirección Técnica de BRT

1.3. Crecimiento de la flota en el SITP

Cuando se concibió el SITP, se estimó una fecha de implementación completa para el año 2011. Como los contratos de concesión son de 24 años, se hicieron unas proyecciones de incremento de demanda de transporte en la ciudad a lo largo del tiempo, para poder estimar cuál debería ser el incremento de flota a lo largo de la vida de los contratos. Estas proyecciones se realizaron sin previsión de nueva infraestructura de transporte – i.e. metro, tranvía, cable, futuras troncales de TransMilenio. Sin embargo, actualmente se encuentran en estructuración diversos proyectos de nueva infraestructura de transporte, tales como las troncales Avenida Boyacá y 68, Primera Línea de Metro, Cables a Moralba y Paraíso, y la Red de Metro Ligero. Adicionalmente, el SITP se concibió bajo un esquema tarifario diferencial, que fue reemplazado por un esquema plano, mediante el Decreto 356 de 2012. Como consecuencia, **el objetivo principal de este documento es realizar una reevaluación de los escenarios del SITP bajo las nuevas condiciones de infraestructura, tarifa y demanda de transporte, para actualizar las cantidades de flota que se requerirán a lo largo de la vida de los contratos de concesión.**

Tabla 2. Proyecciones originales para incremento de flota a lo largo de la vida de los contratos de concesión del SITP

Año	Zonal	Troncal	Total
2011	10.738	1.595	12.333
2013	10.948	1.666	12.614
2015	11.000	1.692	12.692
2018	11.351	1.740	13.091

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

2. Estimación de la demanda en el corto y mediano plazo

2.1. Caracterización de la demanda actual

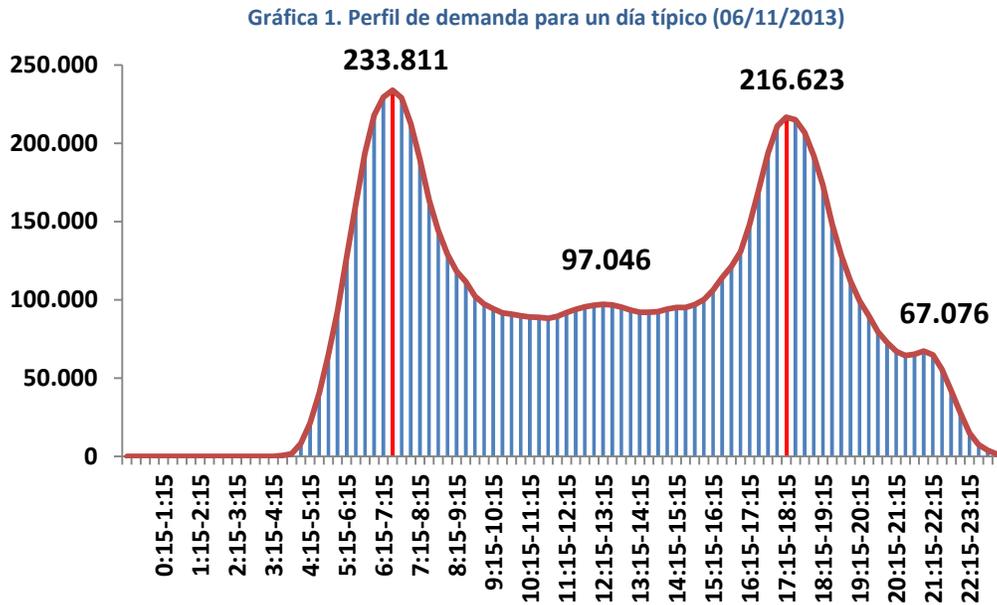
Durante el último año, el sistema ha venido enfrentando una serie de cambios que se ven reflejados, entre otras cosas, en aumentos de demanda en el componente troncal.

En julio de 2012 entró en operación la fase III de TransMilenio, con la puesta en servicio de la troncal sobre la Calle 26, posteriormente en septiembre, comenzó a operar la troncal de la Carrera décima al tiempo que comenzaron a funcionar las rutas zonales del SITP. Producto de lo anterior, entre septiembre del 2012 y septiembre del 2013, el sistema troncal pasó de 96 a 113 servicios ofrecidos. Con una demanda que pasó de 44.483.130 en septiembre de 2012 a 50.185.273 durante el mismo mes de 2013, mostrando un crecimiento del 12.8% anual.

Por lo anterior, sumado a un incremento constante de la demanda en las rutas zonales (7.2 millones de abordajes en octubre de 2013), que permiten la integración virtual con las rutas troncales; y el inicio de operación el pasado 26 de octubre de los buses tipo padrón dual por las carreras séptima y décima, se hace necesario actualizar las proyecciones de demanda para el 2014, mediante un modelo que logre incorporar las influencias de los eventos anteriormente descritos, sobre el comportamiento de las entradas al sistema.

Teniendo en cuenta que la hora de máxima demanda del sistema se presenta en la hora pico de la mañana, entre las 06:30 y las 07:30, para los propósitos del presente análisis se examina esta franja horaria, dado que es durante este periodo del día que se requiere la mayor cantidad de flota en circulación.

El martes 6 de noviembre de 2013 (día tomado como típico hábil), entraron al sistema troncal 2.136.204 usuarios, de los cuales 233.811 ingresaron por las diferentes estaciones entre las 06:30 y las 07:30 (hora pico de la mañana). Este dato incluye las entradas por las tres fases del sistema y los abordajes del padrón dual.



Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

2.2. Pronóstico de la demanda en hora pico para 2014 y 2015

Para pronosticar el comportamiento de la demanda en la hora pico del sistema durante el 2014, mediante técnicas de análisis de series temporales, se ajustó un modelo que una vez validado, arrojó como resultado las siguientes demandas (promedio día hábil) para días típicos de cada mes de 2014 y 2015.

Tabla 3. Pronósticos de demanda para 2014 y 2015

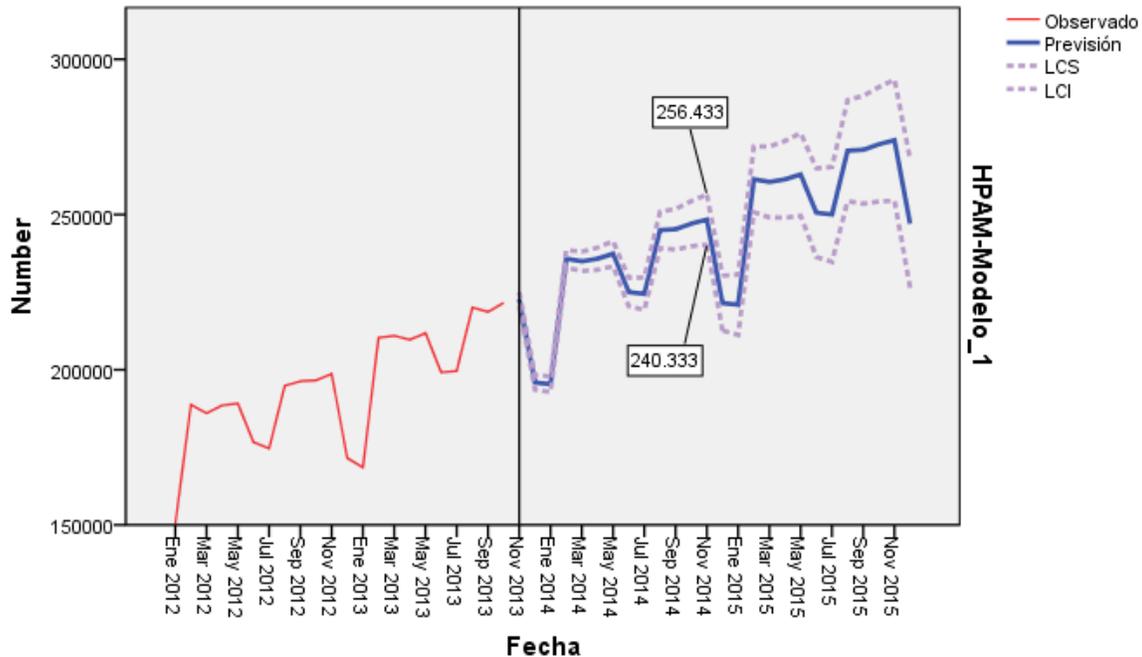
Semestre	Mes	Pronóstico	Límite inferior (95% de confianza)	Límite superior (95% de confianza)
I-2014	41.640	195.355	192.817	197.892
	41.671	235.767	232.969	238.565
	41.699	234.914	231.772	238.057
	41.730	235.779	232.216	239.343
	41.760	237.367	233.314	241.420
	41.791	225.030	220.428	229.633
II-2014	41.821	224.471	219.266	229.677
	41.852	245.009	239.154	250.865
	41.883	245.276	238.727	251.825

Semestre	Mes	Pronóstico	Límite inferior (95% de confianza)	Límite superior (95% de confianza)
	41.913	247.078	239.797	254.359
	41.944	248.383	240.333	256.433
	41.974	221.467	212.614	230.319
I-2015	42.005	220.930	211.243	230.617
	42.036	261.342	250.790	271.894
	42.064	260.489	249.043	271.935
	42.095	261.354	248.987	273.722
	42.125	262.942	249.626	276.258
	42.156	250.605	236.315	264.895
II-2015	42.186	250.046	234.757	265.335
	42.217	270.584	254.272	286.896
	42.248	270.851	253.492	288.210
	42.278	272.653	254.225	291.081
	42.309	273.958	254.438	293.479
	42.339	247.042	226.408	267.676

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Un componente adicional a esta demanda, viene dado por las entradas al sistema provenientes de las estaciones que componen la fase I de la extensión de la troncal NQS hacia Soacha, que según el modelo de transporte, aportará cerca de 15.000 entradas en hora pico.

Con base en la demanda estimada, se espera que al finalizar el segundo semestre de 2014 el sistema tenga que atender entre 250.333 y 266.433 usuarios en la hora pico de la mañana.

Gráfica 2. Demanda observada (2012/2013) y proyectada (2014/2015) en hora pico del Sistema troncal¹

Fuente. Resultados modelo SPSS

2.3. Diseño Operacional

Naturalmente, al presentarse cambios estructurales en la demanda, se requiere ajustar el diseño operacional y consecuentemente la cantidad de flota con el fin de garantizar un nivel de servicio aceptable y que permita el manejo razonable de despachos por ruta en función de la demanda y la capacidad de los vehículos articulados y biarticulados.

En la siguiente tabla se observa la estimación puntual de la demanda para el sistema (sin Soacha) y los límites superior e inferior de dicha estimación (con un nivel de confianza del 95%), también se presenta la estimación de demanda de pasajeros que durante la hora pico aportará Soacha, de acuerdo con los estudios de demanda realizados para dicha operación.

¹ Las líneas punteadas corresponden a los límites superior e inferior del intervalo de confianza para la estimación de demanda de la hora pico.

Tabla 4. Necesidades de flota en función de la demanda esperada

Semestre	Pronóstico de demanda H.P.	Límite inferior (95% de confianza)	Límite superior (95% de confianza)	Demanda en H.P. aportada por Soacha	Escenario 1. Con Estimación puntual	Escenario 2. Con LCS	Flota
I- 2014	237.367	233.314	241.420	10.000	247.367	251.420	1.497
II- 2014	248.383	240.333	256.433	10.000	258.383	266.433	1.581
I- 2015	262.942	249.626	276.258	15.000	277.942	291.258	1.695
II- 2015	273.958	254.438	293.479	15.000	288.958	308.479	1.809

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

3. Estimación de la demanda en el largo plazo

3.1. Información secundaria disponible

Inicialmente se cuenta con las matrices Origen Destino de transporte público de Bogotá para los escenarios 2016 y 2021, desarrollada en el año 2013 por Steer Davies Gleave en desarrollo del “Estudio estratégico de pre-inversión para la estimación y caracterización de la demanda de la Red de Metro Ligero de la ciudad de Bogotá”. Elaborado para el Banco de Desarrollo de América Latina.

Esa demanda se estimó a partir del modelo de asignación de transporte público actual para la ciudad de Bogotá y el Modelo de Transporte de Cuatro (4) Etapas de Bogotá y la Región Capital se utilizó de forma auxiliar, para la construcción de las matrices futuras. Estas matrices 2016 y 2021

A continuación se mencionan los supuestos y el procedimiento seguidos por el consultor para la estimación de la demanda:

“El modelo actual que tiene la ciudad de Bogotá tuvo una variación en su zonificación. Para el año 2009 el modelo contaba con 824 zonas de transporte mientras que en 2011, después de la Encuesta de Movilidad, pasó a tener 945.

La demanda se estimó a partir del modelo de asignación de transporte público, utilizando la zonificación recomendada por la reciente encuesta de movilidad, al igual que las matrices de viajes de transporte público para la hora pico.

Para la estimación de la demanda se llevó a cabo la calibración del modelo de asignación de transporte público de la ciudad de Bogotá para la hora pico de la mañana. Dentro del proceso de

calibración se tuvo en cuenta la información de la Encuesta de Movilidad 2011 y los resultados del ejercicio de preferencias declaradas.

Los escenarios futuros de estimación de la demanda de la RML se construyeron a partir del escenario calibrado 2011, adicionando la oferta de transporte público correspondiente a cada uno de los cortes temporales acordados con la administración: 2016 y 2021.

Se obtuvieron estimativos de carga máxima para el periodo de modelación pico de la mañana de un día hábil. Adicionalmente se obtuvo un pronóstico de pasajeros que transbordan a otros modos de transporte público integrado de la ciudad para los dos periodos de modelación.

Por otra parte, se utiliza el modelo de 4 pasos de la ciudad únicamente para obtener las matrices de viajes futuras resultantes de los vectores de desarrollo urbano para los escenarios considerados, empleando un mecanismo de generación de viajes incremental tomando como base la matriz medida 2011 (pivote).

Es importante mencionar que la utilización de los dos modelos se hace como una aproximación a la metodología ideal, que sería la calibración del modelo de 4 etapas. Por motivos de plazos previstos y alcance no se contempla esta última metodología en la presente consultoría. En ese sentido, para las siguientes fases del estudio se recomienda la actualización y calibración del modelo de cuatro etapas teniendo en cuenta la encuesta de movilidad 2011.

De acuerdo a lo acordado con el cliente, en este ejercicio de modelación sólo se revisó y modificó el insumo de población. El resto de variables de entrada se supusieron iguales a las ya existentes en la herramienta para el año 2018. Este proceso de revisión fue ejecutado en su totalidad por el equipo técnico de la ciudad con participación de funcionarios de la Secretaría de Movilidad y la Secretaría de Planeación Distrital y resultó en la entrega de los vectores de población para los años 2016 y 2021 bajo el supuesto de desarrollo de la ciudad.

A partir de los supuestos mencionados y con el proceso realizado en el modelo de 4 pasos por parte del consultor, se establecieron las matrices origen - destino de Transporte público para los escenarios 2016 y 2021 en una desagregación de 945 zonas, las cuales son la base para el desarrollo del presente estudio.

Tabla 5. Matrices Base Transporte Público

AÑO	VIAJES HORA PICO AM
2016	713.038
2021	764.847

Fuente. Estudio estratégico de pre-inversión para la estimación y caracterización de la demanda de la RML de la ciudad de Bogotá – SDG

3.2. Metodología de estimación de matrices

El presente estudio de demanda contempla la evaluación de cuatro escenarios año 2016, 2021, 2025 y 2035.

Para los años 2016 y 2021 se trabajó con las matrices estimadas por SDG y se procedió a realizar la estimación de las matrices para los años 2025 y 2035 para transporte público tomando como matriz base la estimada para el año 2021.

La estimación de una matriz futura a partir de una matriz conocida puede realizarse mediante la aplicación de modelos de distribución, como es el método de factor de crecimiento el cual calcula la razón de cambio en los vectores de origen y destino para aplicar por medio de iteraciones sucesivas estas razones a cada uno de los pares OD.

El modelo de distribución de factor de crecimiento, requiere la estimación de vectores de origen y destino futuros, que deben estar balanceados (sumas iguales). A partir de estos vectores se calculan los factores de crecimiento restringiendo la matriz estimada conforme a los vectores calculados; de esta forma se obtiene una matriz que mantiene los patrones de viaje originales, pero que se ajusta a los volúmenes de viajes estimados.

3.3. Proceso metodológico y resultado

Para estimar los vectores de origen y destino para los años 2025 y 2035 para las 945 zonas consideradas en la matriz se asumió que los viajes con origen y/o destino en cada una de las zonas se pueden proyectar de acuerdo con la tasa de crecimiento de la población en cada una de las zonas como única variable explicativa con la cual se cuenta para el presente estudio.

El resultado de esta proyección de vectores, plantea un total de **808.950** viajes en transporte público en la hora pico de la mañana para el año 2025 y **869.776** viajes en transporte público en la hora pico de la mañana para el año 2035

Tras balancear los vectores de origen y destino para el año 2025, se aplicó el modelo de distribución por factor de crecimiento para la matriz ajustada de 2021 y se obtuvo una matriz base para el año 2025 que representa 808.950 viajes en transporte público en la hora pico de la mañana, de igual forma con los vectores para el año 2035 se aplicó el modelo a la matriz del año 2025 con lo cual se obtuvo la matriz del año 2035 con 869.776 viaje en transporte público.



4. Estructuración de los escenarios SITP

Para realizar la modelación de los escenarios futuros, es determinante definir bajo qué condiciones se desearía que el SITP operara en los años proyectados. Con base en la información presentada en capítulos anteriores, los escenarios son los siguientes:

- ✓ **Escenario SITP 2016:** aquí se parte de la base que el 100% del SITP se encuentra en operación, con al esquema de tarifas establecido por el Decreto 356 de 2012. Para el corredor de la Carrera 7 – 10 se tiene la operación transitoria del bus dual con sus respectivas rutas complementarias al norte. Adicionalmente, se incluye la troncal Avenida Boyacá, con la respectiva reestructuración de rutas que transitan por este corredor.
- ✓ **Escenario SITP 2021:** adicional a lo descrito en el escenario anterior, se incluye la troncal Avenida 68 con la respectiva reestructuración de rutas que transitan por este corredor, además de los corredores férreos del sur, occidente y Carrera 7 en operación con tranvía. Se retira la operación transitoria en la Carrera 7 con bus dual.
- ✓ **Escenario SITP 2025:** adicional a lo descrito en el escenario anterior, se incluye la Primera Línea de Metro.
- ✓ **Escenario SITP 2035:** no se contemplan nuevos proyectos de infraestructura para este escenario; únicamente se realiza una proyección para el número de viajes esperados para este año.

4.1. Escenario SITP 2016

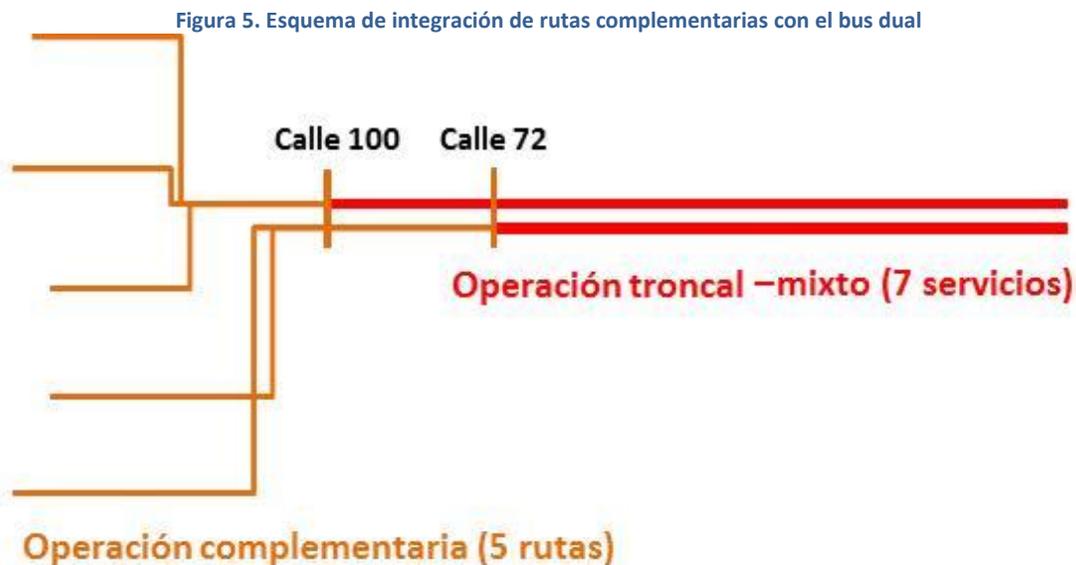
4.1.1. Operación transitoria con Bus Dual

La construcción de un tren ligero o tranvía en la Carrera 7 es una prioridad para la actual administración. Sin embargo, el proceso constructivo está estimado para tener una duración de tres años, razón por la cual su inicio de operación se estima para el año 2018. El bus dual es un bus con las mismas características de capacidad que un padrón tradicional (entre 80 y 90 pasajeros), con la diferencia que opera por puertas tanto izquierda como derecha.

Este tipo de operación tiene una serie de ventajas, entre las cuales se destacan las siguientes:

- ✓ Se mantiene la estructura del SITP: se mantienen las cinco rutas complementarias previstas para el portal de la Calle 100, de las cuales tres llegarán desde el norte de la Ciudad a la Calle 100 y dos se extenderán a la Calle 72. Las demás rutas zonales y servicios troncales también se mantienen tal como se diseñaron para el SITP. Esto significa que se le garantiza la misma cobertura en trazado de rutas y demanda a todas las 13 zonas del SITP, incluyendo Usaquén y San Cristóbal, las dos zonas en el área de influencia del proyecto.

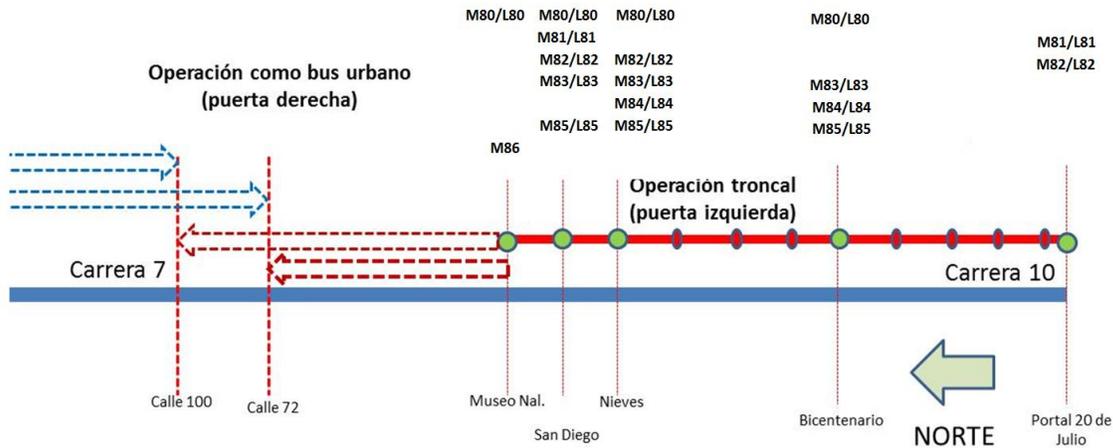
- ✓ Flexibilidad del servicio: la operación con padrón dual comúnmente se conoce con el nombre de **operación pretroncal**. El padrón dual está diseñado para prestar servicio con puerta derecha a nivel del andén, y servicio con puerta izquierda alta en estación troncal.
- ✓ Flexibilidad del uso de la flota: en el momento que entre en operación el tren ligero o tranvía de la Carrera 7, la flota de padrón dual podrá prestar servicio en las rutas alimentadoras, complementarias y/o nuevos servicios pretroncales, dependiendo de la necesidad. Su diseño posibilita la alternativa de integración física en cualquier punto de las troncales (estaciones y portales).
- ✓ La flota del padrón dual está incluida dentro de la tipología de la operación del SITP. Por lo tanto, no se necesitará homologar este tipo de vehículo en el Ministerio de Transporte.



Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Como se puede observar en la figura anterior, los servicios de bus dual se complementan con cinco rutas Complementarias, teniendo dos puntos de integración: la Calle 72 y la Calle 100. Los servicios de bus dual salen de diferentes puntos claves sobre la troncal de la Carrera 10 (Museo Nacional, Bicentenario y Portal 20 de Julio) y desarrollan su recorrido hacia el norte como servicios semi-expresos.

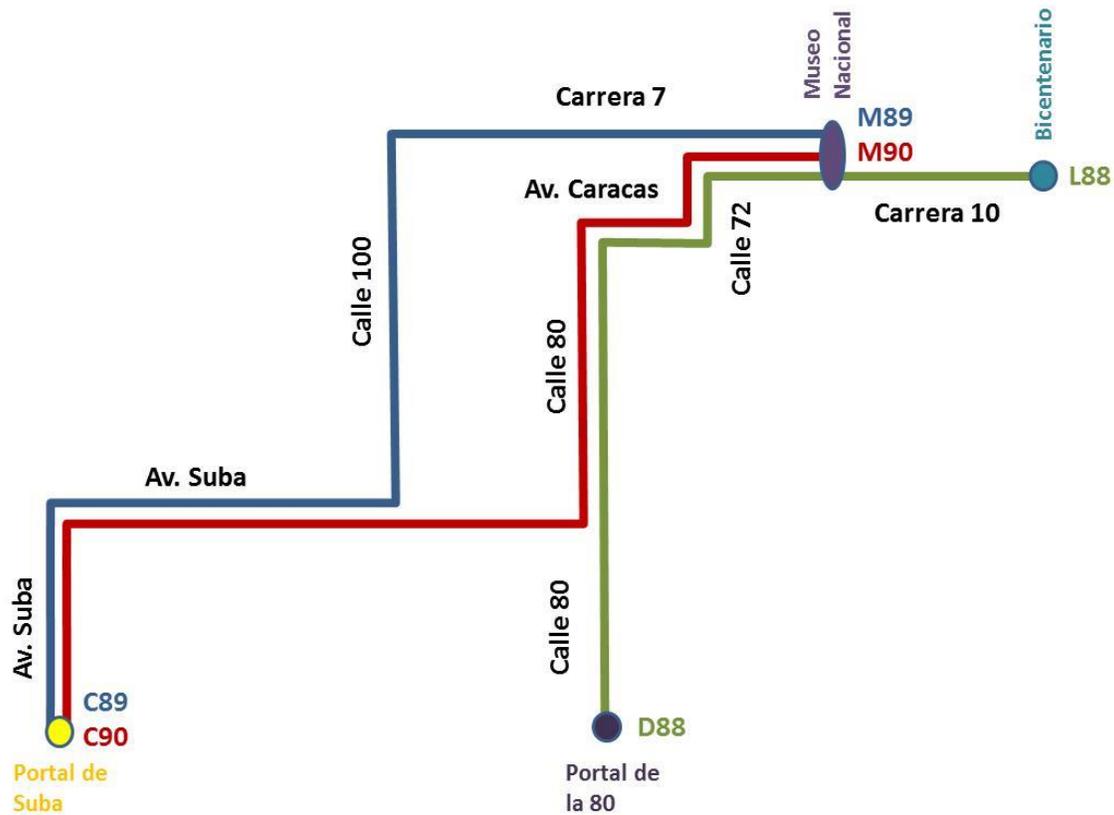
Figura 6. Esquema de operación transitoria de la Carrera 7



Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Para optimizar la operación, los servicios con bus dual funcionarán como servicios semi-expresos, que significa que no se detendrán en todas las estaciones, permitiendo una mayor velocidad de operación y una mayor eficiencia de servicio, incluso cuando operen en el tráfico mixto. A continuación se presenta un esquema de operación con el bus dual, donde se ilustra la operación de los siete servicios propuestos (con sus respectivos espejos), los cuales entrarán periódicamente una vez se vincule la flota requerida (30 buses para el mes de octubre, 100 buses para el mes de diciembre y 100 buses para el mes de febrero del próximo año). Se puede observar que cada uno de los siete servicios está diseñado con diferentes paradas, de tal forma que se pueda atender la demanda con una mayor eficiencia.

Figura 8. Esquema operacional de los servicios adicionales de bus dual



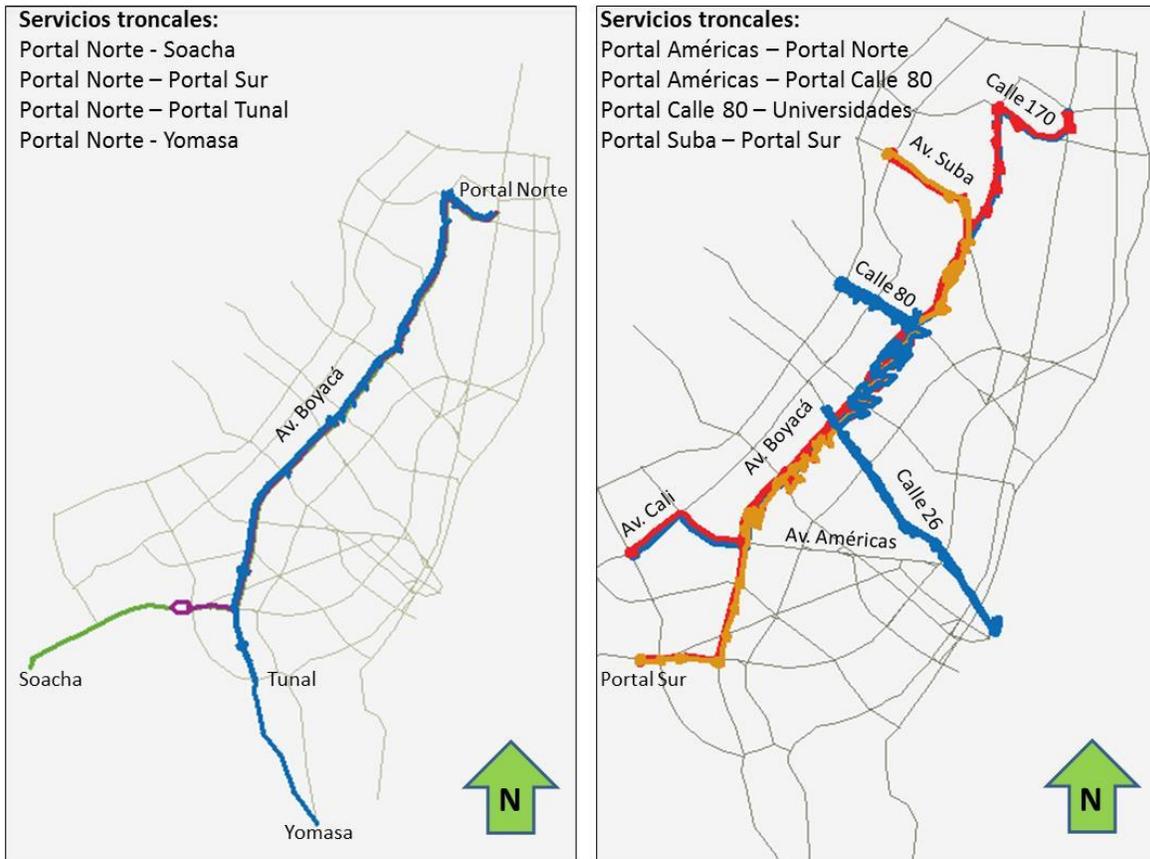
Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

4.1.2. Troncal Avenida Boyacá

El escenario de modelación de la **Fase IV** del Sistema TransMilenio comprende el desarrollo de conexiones operacionales que permitan conectar con las otras fases. Estas conexiones son:

- ✓ Autonorte (por la Calle 170)
- ✓ Américas
- ✓ Autosur
- ✓ Calle 26
- ✓ Calle 80
- ✓ Avenida Suba

Figura 9. Trazado y conexiones operacionales de la troncal Avenida Boyacá



Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

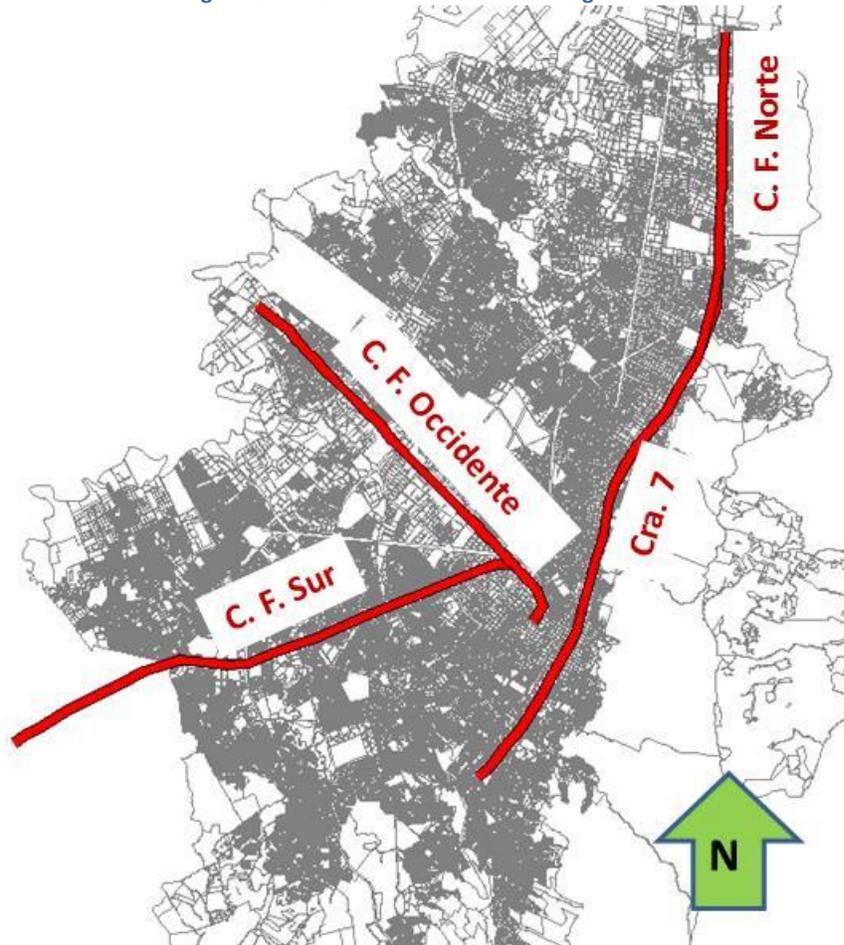
4.2. Escenario 2021

4.2.1. Red de Metro Ligero

Según los planes de la Administración Distrital, la ciudad contará con tres líneas de tranvía para el año 2021. Estas son:

- ✓ **Corredor Carrera 7:** Tiene como punto de inicio la Calle 193, toma el Corredor Férreo del Norte hasta la Calle 119 (aproximadamente) para luego ingresar a la Carrera 7, por donde continúa su recorrido hasta el 20 de Julio en el Suroriente.
- ✓ **Corredor Férreo del Sur:** Tiene como inicio la Estación de la Sabana, toma el Corredor Férreo de Occidente hasta el kilómetro 2, donde toma el Corredor Férreo del Sur hasta el municipio de Soacha en el Suroccidente.
- ✓ **Corredor Férreo de Occidente:** Tiene como inicio la Estación de la Sabana y toma el Corredor Férreo de Occidente hasta los límites del distrito en el Occidente.

Figura 10. Trazado de la Red de Metro Ligero



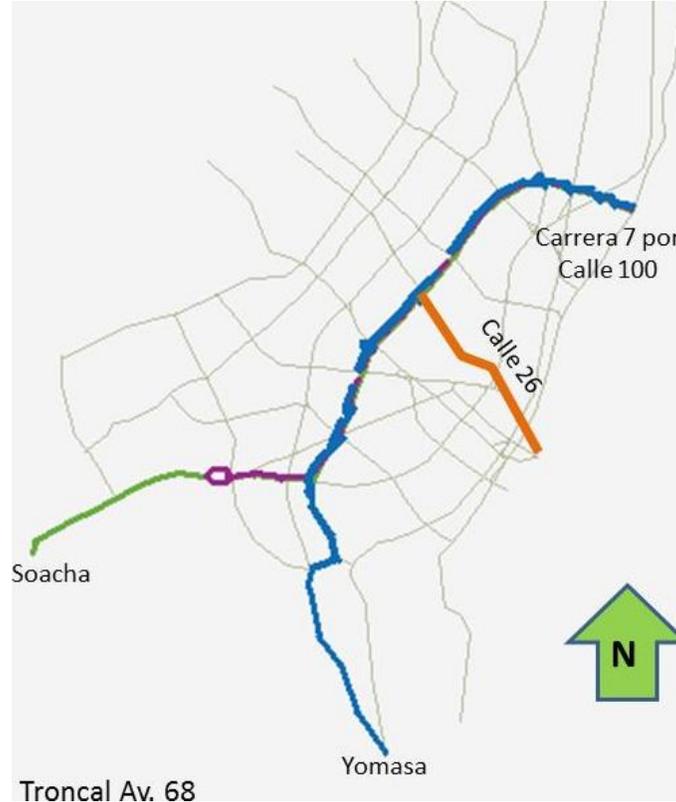
Fuente. Estudio Preinversión RML por Steer Davies Gleave

4.2.2. Troncal Avenida 68

El escenario de modelación de la **Fase V** del Sistema TransMilenio comprende el desarrollo de conexiones operacionales que permitan conectar con las otras fases. Estas conexiones son:

- ✓ Autosur
- ✓ Calle 26
- ✓ Avenida Boyacá
- ✓ Calle 100

Figura 11. Trazado y conexiones operacionales de la troncal Avenida Boyacá

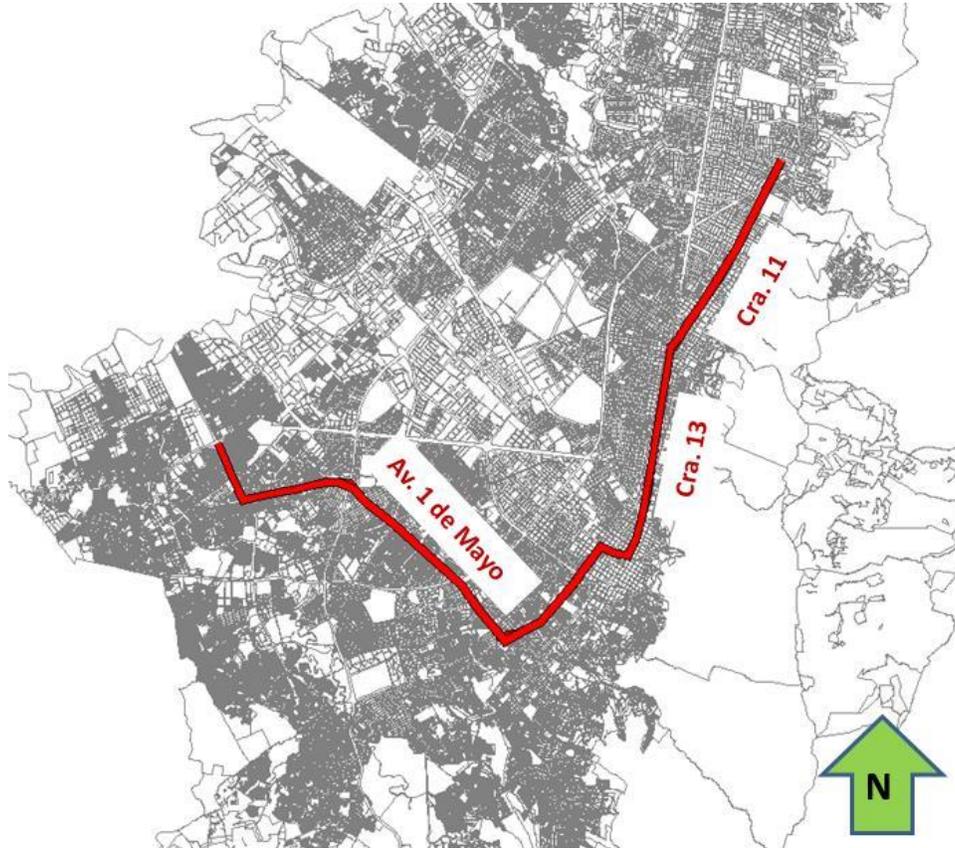


Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

4.3. Escenario 2025

El escenario 2025 parte de lo definido dentro del escenario 2021, sumando la construcción de la Primera Línea de Metro. Aún está en evaluación la definición exacta del trazado. Sin embargo, la gran mayoría del recorrido ya está definido, por lo cual se puede modelar sin que vaya a tener grandes modificaciones. En este escenario no se hizo ninguna reestructuración del SITP.

Tabla 6. Trazado de la Primera Línea de Metro



Fuente. Estudio Preinversión RML por Steer Davies Gleave

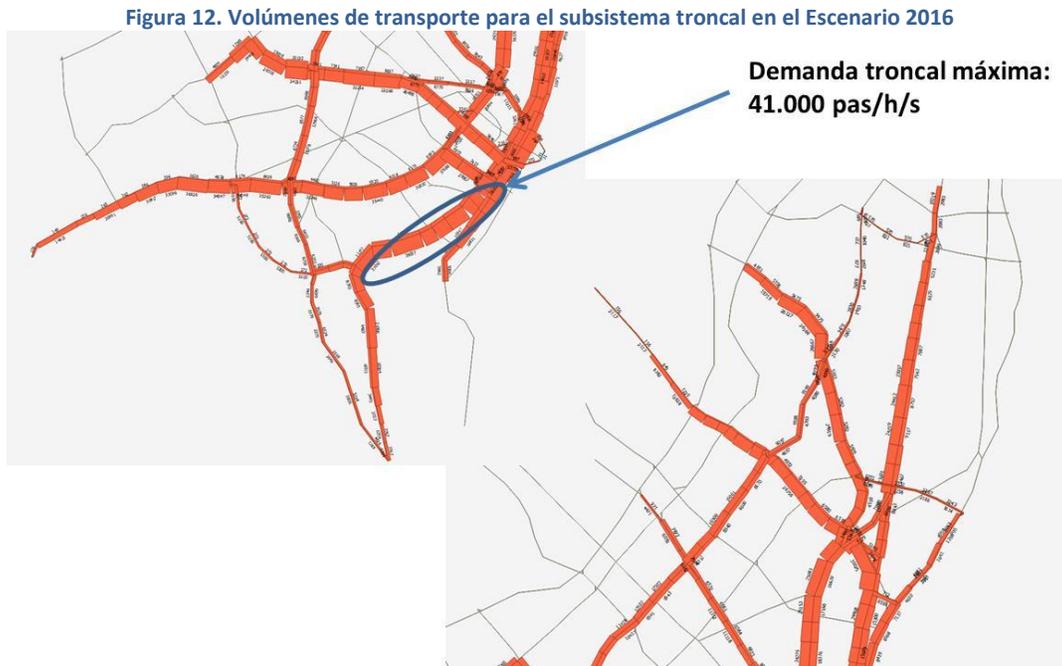
5. Modelación y diseño operacional de los escenarios

Para evaluar cada uno de los escenarios descritos anteriormente, se utiliza el software especializado en modelación de la demanda **EMME4** de los desarrolladores INRO. En este caso se utiliza un modelo de asignación, lo que implica que se introduce una matriz origen-destino y un sistema de rutas, y el modelo asigna la demanda de transporte en cada una de estas.

Luego de tener los resultados de la asignación, se procede a realizar el diseño operacional de cada escenario, donde se determina qué tanta flota se requerirá y a qué intervalo deben funcionar las rutas en la hora pico. **A manera de aclaración inicial, los datos expuestos en este capítulo son preliminares y pueden cambiar si varían las condiciones y supuestos en el SITP y su infraestructura.**

5.1. Escenario 2016

Luego de analizar los resultados, se puede observar que la troncal Avenida Boyacá cumple con su propósito de descongestionar la troncal Avenida Caracas, pues la demanda máxima se reduce desde 45.000 pasajeros por hora por sentido en la actualidad hasta 41.000 pasajeros por hora por sentido.



Fuente. Modelo EMME4 calibrado por Steer Davies Gleave

Con los resultados anteriores, se realizó el diseño operacional para el cálculo de la flota que se requerirá para satisfacer las condiciones de demanda descritas en el modelo. La flota de bus dual tiene un incremento que principalmente se debe a los nuevos servicios propuestos que funcionen bajo esta modalidad. La flota de articulados aumenta también con respecto a las condiciones actuales, respondiendo a un crecimiento vegetativo de los usuarios dentro del Sistema. La flota de biarticulados tiene un incremento significativo con respecto a las condiciones actuales, puesto que los diseños para los servicios de la troncal Avenida Boyacá se hicieron con esta tipología vehicular. El total de flota troncal que se requiere según los resultados de demanda del modelo es de 2.227 vehículos.

Tabla 7. Flota requerida para la operación troncal en el Escenario 2016

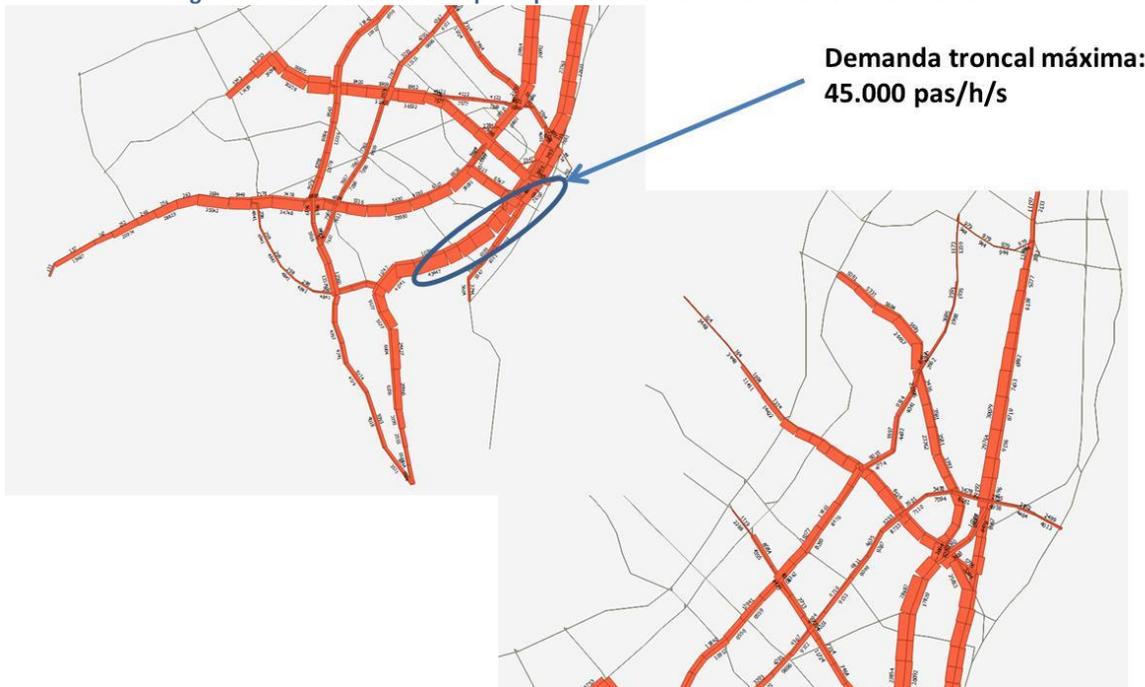
Tipo Bus	Flota 2016
Bus Dual	327
Articulado	1.343
Biarticulado	557
Total	2.227

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

5.2. Escenario 2021

Los resultados del escenario 2021 para el subsistema troncal muestran un ligero repunte en demanda frente al escenario 2016. No obstante, si se toma en cuenta que en el 2021 ya se encuentra en operación la troncal Avenida 68, se observa una disminución proporcional en la demanda atendida por el troncal. Esto se puede explicar por la introducción del subsistema férreo en la ciudad, que absorbe parte de la demanda troncal.

Figura 13. Volúmenes de transporte para el subsistema troncal en el Escenario 2021



Fuente. Modelo EMME4 calibrado por Steer Davies Gleave

Con los resultados anteriores, se realizó el diseño operacional para el cálculo de la flota que se requerirá para satisfacer las condiciones de demanda descritas en el modelo. Por la entrada en operación del tranvía en la Carrera 7, los buses duales no se utilizarán en este corredor y por lo tanto no habrá requerimientos adicionales de esta tipología. La flota articulada disminuye marginalmente con respecto al escenario 2016, que responde a la demanda absorbida por la RML. Sin embargo, la flota biarticulada incrementa, pues la troncal Avenida 68 también se diseñó para operación en su totalidad con esta tipología. El total de flota troncal que se requiere según los resultados de demanda del modelo es de 1.990 vehículos.

Tabla 8. Flota requerida para la operación troncal en el Escenario 2021

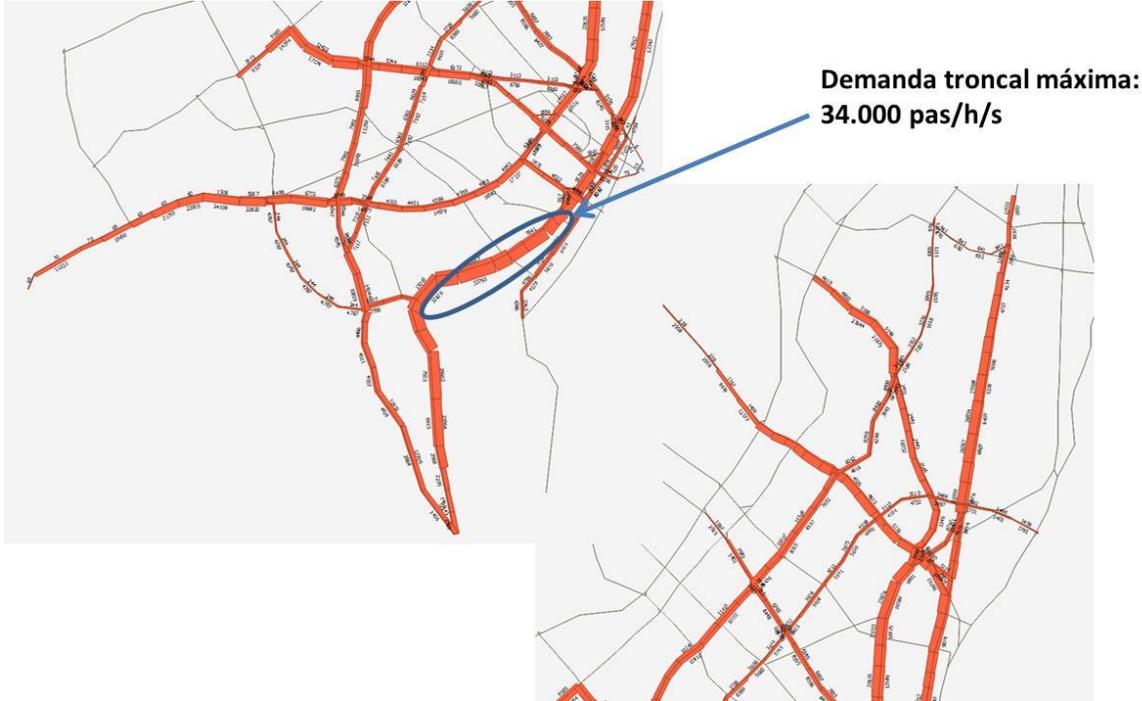
Tipo Bus	Flota 2021
Bus Dual	-
Articulado	1.331
Biarticulado	659
Total	1.990

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

5.3. Escenario 2025

Los resultados del subsistema troncal en el escenario 2025 se ven fuertemente impactados por la entrada en operación de la Primera Línea de Metro. Este subsistema, al tener velocidades de recorrido mayores y una capacidad transportadora mayor se convierte en una alternativa atractiva para los usuarios de transporte público, incluyendo aquellos usuarios del Sistema TransMilenio. La demanda máxima troncal, ubicada en la troncal Avenida Caracas, disminuye hasta alcanzar 34.000 pasajeros por hora por sentido, bastante menor que la demanda máxima actual.

Figura 14. Volúmenes de transporte para el subsistema troncal en el Escenario 2025



Fuente. Modelo EMME4 calibrado por Steer Davies Gleave

Los subsistemas férreos, metro ligero y pesado, absorben una porción significativa de la demanda troncal, y por ende se ve una disminución fuerte en los requerimientos de flota. La flota articulada requerida disminuye hasta los 1.208 vehículos, mientras que la flota biarticulada disminuye hasta los 555 vehículos. El total de flota troncal que se requiere según los resultados de demanda del modelo es de 1.763 vehículos.

Tabla 9. Flota requerida para la operación troncal en el Escenario 2025

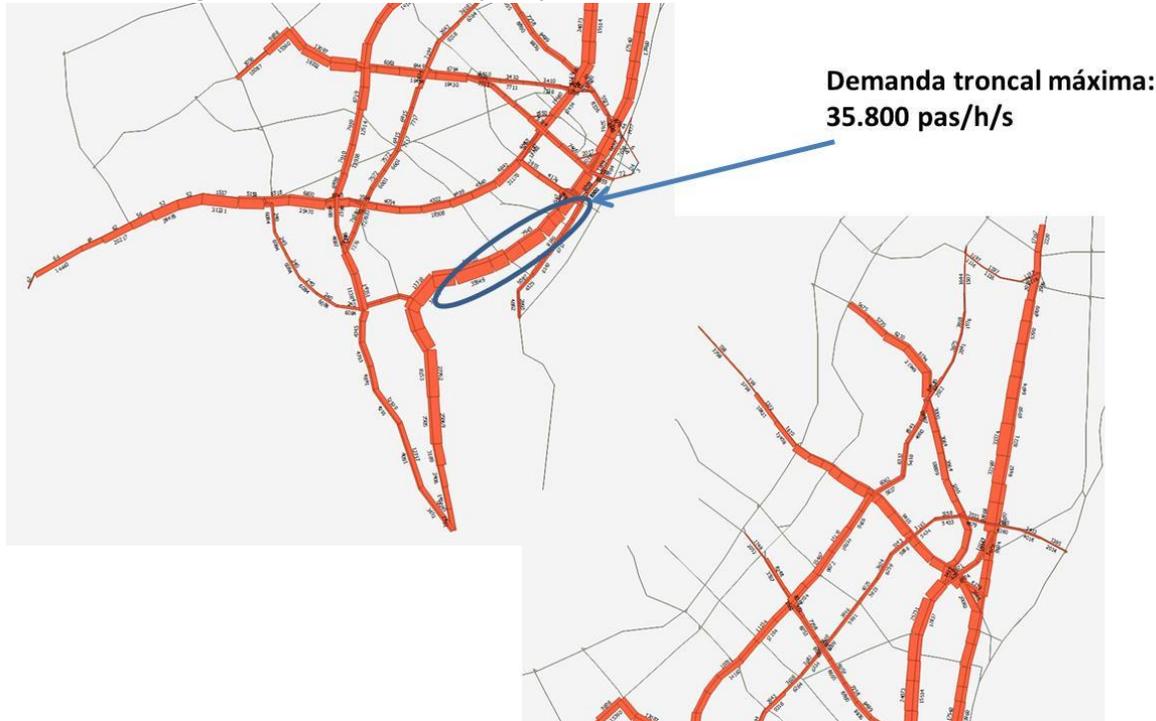
Tipo Bus	Flota 2025
Bus Dual	-
Articulado	1.208
Biarticulado	555
Total	1.763

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

5.4. Escenario 2035

En el escenario 2035 no se contempla nueva infraestructura de transporte, por lo cual se produce un incremento generalizado en la demanda en todos los subsistemas de transporte que responde al crecimiento vegetativo de la población en la ciudad.

Figura 15. Volúmenes de transporte para el subsistema troncal en el Escenario 2035



Fuente. Modelo EMM4 calibrado por Steer Davies Gleave

Como respuesta al crecimiento vegetativo de la población y de los viajes, la flota troncal requerida tiene un ligero repunte, para llegar a un total de 1.833 vehículos.

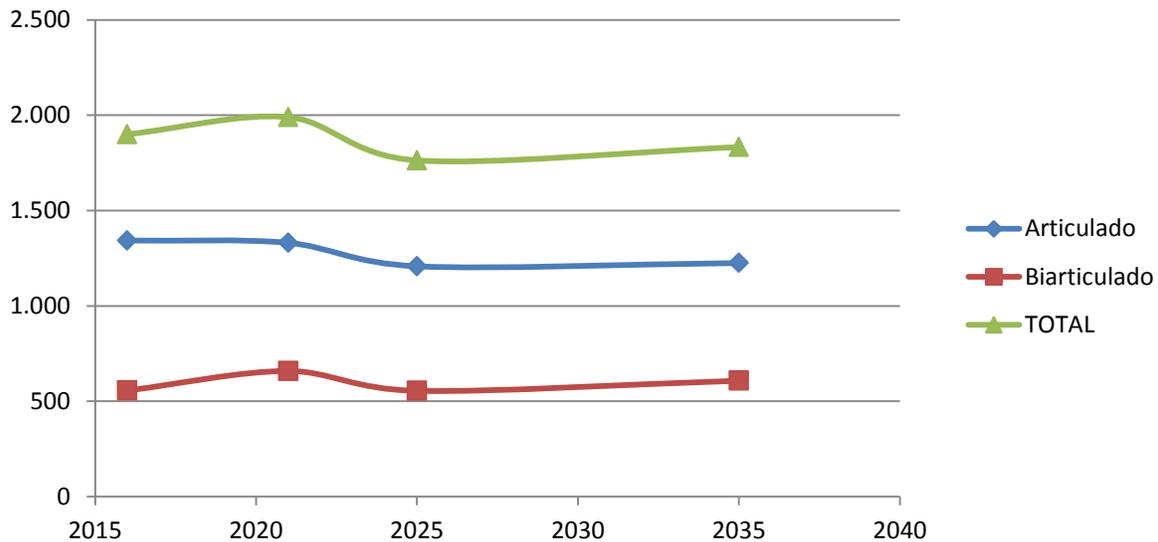
Tabla 10. Flota requerida para la operación troncal en el Escenario 2035

Tipo Bus	Flota 2035
Bus Dual	-
Articulado	1.225
Biarticulado	608
Total	1.833

Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

Por último, se presenta una gráfica con el comportamiento de los requerimientos de la flota troncal a lo largo de los cuatro escenarios modelados en este informe.

Gráfica 3. Comportamiento de los requerimientos de flota troncal en los 4 escenarios



Fuente. Subgerencia Técnica y de Servicios

6. Conclusiones y recomendaciones de la Subgerencia Técnica y de Servicios

- ✓ Según los resultados anteriormente expuestos, se va a requerir para el escenario 2016 una flota troncal de 2.227 vehículos. Sin embargo, actualmente se tiene una flota de 1.205 articulados de **Fases I y II** y 66 de **Fase III**, además de 10 biarticulados de **Fase I** y 270 de **Fase III**. Los contratos de las **Fases I y II** se comienzan a vencer a finales del 2016. Por lo tanto, se debe hacer un ejercicio detallado para establecer la forma en que saldrá la flota.
- ✓ Luego de definir la forma en que se realizaría la reversión de la flota troncal, se debe establecer cuál o cuáles tecnologías deben tener los buses nuevos que se incorporen. El Decreto Distrital 477 de 2012 establece un plan de ascenso tecnológico en el SITP para migrar a tecnologías de cero o bajas emisiones de contaminantes. Actualmente se encuentran en pruebas diversos sistemas de cero o bajas emisiones *in situ* tales como los buses con celda de hidrógeno, eléctricos, con motor de agua, con ultracapacitores y con inducción de corriente por debajo de la vía. Estas son tecnologías que se deben estudiar y se les debe hacer seguimiento permanentemente, aprovechando la posición de

laboratorio de prueba de tecnologías limpias que también establece el decreto en mención. Sin embargo, actualmente existen unas tecnologías disponibles que contribuyen significativamente con la reducción de emisiones contaminantes y son con las cuáles se deben hacer los primeros pedidos de flota. Estas tecnologías son buses híbridos, a gas natural y diésel Euro VI. Las evaluaciones de reducción de emisiones contaminantes de las diferentes tecnologías estarán a cargo del **área de Gestión Ambiental** de la **Oficina Asesora de Planeación**.

- ✓ Por último, también se puede considerar una eventual introducción de trolebuses con catenaria en el sistema. Sin embargo, hay varios aspectos que deben ser considerados para su introducción.
 - Primero que todo, es deseable que el corredor en donde se introduzca esta tecnología no tenga pólizas vigentes de calidad de infraestructura, puesto que cualquier intervención adicional puede resultar en que la póliza se anule o deje de ser válida.
 - Segundo, se debe realizar una factibilidad financiera de beneficio costo, que debe liderar la **Subgerencia Económica**. Esta debe determinar si se puede considerar este modo como una alternativa viable o no.
 - Tercero, se debe garantizar un estado óptimo de la infraestructura, pues el deterioro en la vía – tal como se encuentra la Caracas actualmente – podría resultar en la reducción de la vida útil de estos vehículos. El **área de Infraestructura** de la **Subgerencia Técnica y de Servicios** entregará un informe del estado de la infraestructura, al igual que un ejercicio de microsimulación, para realizar las recomendaciones correspondientes.
 - Por último y más importante, se debe garantizar la flexibilidad del Sistema TransMilenio. La introducción de este modo reduce las velocidades de operación y por ende la capacidad transportadora del subsistema troncal. Por esta razón, se recomienda que en dado caso que se encuentre favorable su introducción, se realice para los servicios corrientes o de Ruta Fácil, que son aquellos que tienen el menor impacto en la flexibilidad del sistema.