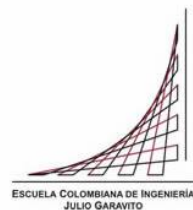


**Maestría en Ingeniería Civil**

**Análisis del Tiempo de Permanencia en Parada de los Buses del  
Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá en la Calle 72  
Entre Carrera 68 y Avenida Boyacá**

**Lady Fernanda Bautista Bautista**

**Bogotá, D.C., 22 de junio de 2016**



**Análisis del Tiempo de Permanencia en Parada de los Buses del  
Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá en la Calle 72  
Entre Carrera 68 y Avenida Boyacá**

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

**Dr. Carlos Felipe Urazán Bonells**

**Director**

**Bogotá, D.C., 22 de junio de 2016**



La tesis de maestría titulada “Análisis del Tiempo de Permanencia en Parada de los Buses del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá en la Calle 72 Entre Carrera 68 y Avenida Boyacá”, presentada por Lady Fernanda Bautista Bautista, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en tránsito y transporte.

Director de la tesis

Carlos Felipe Urazán Bonells

Jurado

Maritza Cecilia Villamizar

Jurado

Santiago Henao Pérez

Bogotá, D.C., 22 de junio de 2016 (fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado)

### **Dedicatoria**

¿A quién tengo en el cielo sino a ti?  
Si estoy contigo, ya nada quiero en la tierra.  
Podrán desfallecer mi cuerpo y mi espíritu,  
pero Dios fortalece mi corazón;

Salmo 73: 25-26

## agradecimientos

Todos los esfuerzos son en vano, cuando no se hacen de la mano de Dios. Por eso doy gracias a Él por su incomparable amor y por su guía en cada paso que doy.

Agradezco al profesor Carlos Urazán por la dirección de este proyecto, por la orientación y por el tiempo dedicado. A la Escuela Colombiana de Ingeniería y cada uno de los maestros que aportaron en este proceso de aprendizaje y que han contribuido a mi formación como profesional. A la ingeniera Maritza, al ingeniero Andrés y al ingeniero Santiago por los valiosos aportes hechos al presente documento.

A mi hermosa y maravillosa familia, determinantes en todo lo bueno que pasa en mi vida, mi mami, mi papi, mis hermanos y Johana, siempre brindándome un apoyo incondicional y siendo mis ejemplos a seguir, Alejito, mi bebé y Victorita, quienes se encargan de alegrar mi vida y motivarme a seguir siendo cada día mejor.

A todas esas personas que se han convertido en verdaderos amigos y en personas imborrables en mi vida, Leonardo, Juliana, Paola y Yerli, que con sus palabras, consejos, ayuda y ejemplo, me han dado ese empujón que en ocasiones he necesitado y simplemente han logrado ser personas muy importantes para mí.

Gracias a todas las personas que me han brindado una bonita amistad y bonitos momentos, a mis compañeros de trabajo que tanto aprendizaje me han dejado y finalmente gracias a cada quienes han creído en mí, me han apoyado y de diferentes maneras han contribuido a mi fortalecimiento como persona y como profesional.

## **Resumen**

En el presente trabajo de grado se realiza un análisis de los tiempos de permanencia en parada de los buses del actual sistema de transporte de la ciudad de Bogotá, Sistema Integrado de Transporte Público SITP, dado el cambio en la metodología de pago respecto al sistema de transporte público colectivo de pasajeros TPC.

Este análisis comparativo entre los dos sistemas se logrará a partir de la recolección en campo de la información necesaria para tal fin, obteniendo los tiempos de ascenso, descenso y tiempos muertos invertidos en cada operación en parada realizada durante la hora pico de la mañana y la hora pico de la tarde en cada uno de los sistemas; una vez procesados los tiempos obtenidos, se buscará la relación entre los tiempos de permanencia del SITP y del TPC, dando respuesta a las posibles diferencias entre estos.

El anterior análisis servirá como sustento para proponer una serie de medidas tendientes a la optimización de estos tiempos, a través del estudio de sistemas de transporte en otros países, para con base en sus experiencias y en los tiempos registrados en cada una de ellas, verificar el efecto de implementar condiciones similares en el corredor analizado a través la microsimulación de diferentes escenarios.

Con lo anterior se busca brindar alternativas para la optimización de los tiempos totales de viaje a través de la disminución de los tiempos en los paraderos, para que estas opciones sean consideradas por los entes gestores o estructuradores de los sistemas de transporte público que están implementados o en proceso de implementación en el país.

## **Abstract**

The present study aims to analyse dwell times in bus stops of the current Bogota transportation system: The integrated public transport system (for its acronym in Spanish SITP). This study is motivated by the differences in the fare payment procedures for travel proposed by the SITP compared to the Collective Public Transport System (for its acronym in Spanish TPC).

For the comparison between both transport systems, a field data collection will be carried out in order to obtain the passengers boarding and alighting times as well as the dead times spent at a bus stop in the a.m. and p.m. peak periods for both the SITP and the TPC. Once the data are collected and analysed, a relation between both transport systems' dwell times will be established. This comparison will provide the possible differences between the SITP and the TPC.

The previous analysis will be used as a starting point for suggesting a series of measures for time optimization, through the study of other countries' transport systems. Having done this, and taking into account these countries' experiences and time records, a micro simulation model will be used to evaluate the effect of such conditions in a transport corridor.

The above mentioned analyses aim to provide alternative optimization time models for the running time by reducing dwell times. These models, at the same time, could be implemented by the organizations managing the existing and future public transport systems in Colombia.

## Índice general

Introducción .....	15
Capítulo 1. Revisión de literatura .....	20
1.1 Tiempo de Permanencia.....	20
1.1.1 Principales factores que afectan el tiempo de permanencia.....	20
1.1.2 Modelos para determinar tiempos de permanencia.....	23
<b>1.1.1.1 Highway Capacity Manual 2000 – Transportation Research Board.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.1.2 Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte – Alcaldía Mayor de Bogotá.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.1.3 Bus Dwell Time Estimation and Prediction: A Study Case in Shangai – China - Cen Zhang, Jing Teng, 2013.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.1.4 The Effect of Different Fare Collection - Alejandro Tirachini, 2013 .....</b>	<b>31</b>
<b>1.1.1.5 Different Payment Methods Impact On Transit Speed - Shaker Rabban..</b>	<b>40</b>
1.1.3 Resumen de resultados. ....	43
1.2 Área de Carga .....	46
1.2.1 Capacidad del área de carga .....	49
1.2.2 Parada de bus.....	49
1.3 Medidas para Optimizar los Tiempos de Permanencia en Parada.....	51
1.3.1 Buses de plataforma baja.....	51
1.3.2 Pago fuera del vehículo – Zonas pagas. ....	54
1.3.3 Cultura de carga anticipada de pasajes. ....	55
1.3.4 Buses con puertas anchas. ....	56
1.3.5 Número de paraderos. ....	57
1.4 Otras Medidas Para Optimizar Tiempos de Viaje .....	59
1.4.1 Ubicación de los paraderos.....	59
1.4.2 Carriles preferenciales. ....	62
1.4.3 Semaforización automatizada. ....	65
Capítulo 2. Servicio Público de Transporte Colectivo de Pasajeros de Bogotá .....	70
2.1 Transporte Público Colectivo de Bogotá .....	70
2.2 Sistema Integrado De Transporte Público de Bogotá.....	72



Capítulo 3. Caso de estudio: Cambios de Tiempo de Permanencia en Parada en los Sistemas de Transporte Público Colectivo en Bogotá.....	78
3.1 Metodología.....	78
3.1.1 Información primaria. ....	79
3.1.1.1 <b>Selección de corredores vials.</b> .....	79
3.1.1.2 <b>Días y horarios.</b> .....	85
3.1.1.3 <b>Toma de información.</b> .....	86
3.1.1.4 <b>Procesamiento de datos.</b> .....	87
3.1.2 Resultados y análisis. ....	94
3.1.2.1 <b>Tiempo de ascenso de pasajeros.</b> .....	94
3.1.2.2 <b>Tiempo de descenso de pasajeros.</b> .....	96
3.1.2.3 <b>Tiempo de apertura puerta delantera.</b> .....	99
3.1.2.4 <b>Tiempo de cierre puerta delantera.</b> .....	101
3.1.2.5 <b>Tiempo de apertura puerta trasera.</b> .....	102
3.1.2.6 <b>Tiempo de cierre puerta trasera</b> .....	103
3.1.2.7 <b>Tiempo de apertura puerta medio.</b> .....	104
3.1.2.8 <b>Tiempo de cierre puerta medio.</b> .....	105
3.1.2.9 <b>Porcentaje de operaciones con dos vehículos simultáneamente.</b> .....	105
3.1.2.10 <b>Tiempo de espera del segundo bus</b> .....	106
3.1.2.11 <b>Tiempo promedio de permanencia en parada</b> .....	106
3.1.3 Información secundaria.....	110
3.1.3.1 <b>Solicitud de información</b> .....	110
3.1.3.2 <b>Software de microsimulación</b> .....	110
3.1.3.3 <b>Información estática del modelo</b> .....	111
3.1.3.4 <b>Información dinámica del modelo</b> .....	115
3.1.3.5 <b>Calibración del modelo</b> .....	122
3.1.3.6 <b>Definición de escenarios para el SITP</b> .....	125

<b>3.1.3.7 Resultados y Análisis .....</b>	<b>129</b>
Conclusiones .....	135
Lista de referencias .....	138
Anexos	142

## Índice de tablas

Tabla 1 Tiempos típicos de ascenso y descenso de pasajeros.....	21
Tabla 2 Características de los servicios estudiados en Tirachini, 2013.....	33
Tabla 3 Número de observaciones .....	34
Tabla 4 Resultados del estudio de Tirachini (Métodos de pago).....	36
Tabla 5 Resultados del estudio de Tirachini (Configuración y edad).....	38
Tabla 6 Resultados del estudio de Tirachini (Configuración y edad).....	39
Tabla 7 Tipo de pago por parada de bus .....	41
Tabla 8 Ahorros anuales en costos de operación .....	42
Tabla 9 Resultados de tiempos promedio de ascenso (seg).....	43
Tabla 10 Resultados de tiempos promedio de descenso (seg).....	44
Tabla 11 Resultados de tiempos promedio muertos (seg) .....	44
Tabla 12 Información recolectada en otros estudios .....	45
Tabla 13 Capacidad estimada en paradas lineales.....	51
Tabla 14 Ventajas y desventajas de ubicaciones de paraderos.....	61
Tabla 15 Resultados de velocidad .....	64
Tabla 16 Resultados de emisiones contaminantes .....	65
Tabla 17 Estrategias de señalización con prioridad automática.....	69
Tabla 18 Modelo de formato de recolección de datos.....	89
Tabla 19 Modelo de formato de obtención de datos .....	90
Tabla 20 Número de operaciones en parada analizadas en el SITP .....	92
Tabla 21 Número de operaciones analizadas en el TPC .....	93
Tabla 22 Comparación tiempos de ascenso (seg/pax) .....	95
Tabla 23 Comparación tiempos de descenso (seg) .....	98
Tabla 24 Porcentajes de buses que transitan con la puerta delantera abierta .....	100
Tabla 25 Porcentajes de buses que parten de la parada con la puerta delantera abierta .....	102
Tabla 26 Porcentajes de buses que llegan a la parada con la puerta abierta .....	103
Tabla 27 Porcentajes de buses que parten de la parada con la puerta abierta.....	104
Tabla 28 Tiempos promedio de apertura puerta del medio (seg).....	104
Tabla 29 Porcentajes de buses que llegan a la parada con la puerta del medio abierta .....	104

Tabla 30 Tiempos promedio de cierre puerta del medio (seg) .....	105
Tabla 31 Porcentajes de buses que parten de la parada con la puerta del medio abierta .....	105
Tabla 32 Porcentajes de buses del SITP que operan con el área de carga ocupada .....	106
Tabla 33 Aforos suministrados por Secretaría Distrital de Movilidad.....	110
Tabla 34 Tasas de Crecimiento Vehicular para Livianos y Motos .....	115
Tabla 35 Tasas de Crecimiento Vehicular para Camiones .....	116
Tabla 36 Estadístico GEH .....	123
Tabla 37 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 1 - .....	126
Tabla 38 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 2 - .....	127
Tabla 39 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 3 - .....	128
Tabla 40 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 4 - .....	129
Tabla 41 Tiempos promedios de permanencia (seg) .....	129
Tabla 42 Resultados de longitud de cola y demoras por escenario .....	132

## Índice de figuras

Ilustración 1. Operación de los buses de una misma ruta.....	25
Ilustración 2. Tiempos de permanencia diarios.....	42
Ilustración 3 Áreas de carga dentro y fuera del carril.....	46
Ilustración 4 Tipos de áreas de carga.....	47
Ilustración 5 Ejemplos de tipos de áreas de carga.....	48
Ilustración 6 Ubicación de paraderos.....	50
Ilustración 7 Separación de paradas.....	57
Ilustración 8 Ubicación de paraderos.....	59
Ilustración 9 Bus de 80 pax servicio urbano.....	73
Ilustración 10 Busetón servicio urbano.....	74
Ilustración 11 microbús servicio urbano.....	75
Ilustración 12 Bus de 80 pax servicio complementario.....	76
Ilustración 13 Busetón servicio complementario.....	76
Ilustración 14 microbús servicio especial.....	77
Ilustración 15 Fragmento de ruta del SITP analizado.....	80
Ilustración 16 Ruta TPC No. 1.....	83
Ilustración 17 Ruta TPC No. 2.....	84
Ilustración 18 Ruta TPC No. 3.....	85
Ilustración 19 Tiempos promedio de ascenso.....	94
Ilustración 20 Tiempos de descenso promedio.....	97
Ilustración 21 Tiempos promedio de apertura de puerta delantera.....	99
Ilustración 22 Tiempos promedio de cierre de puerta delantera (seg).....	101
Ilustración 23 Tiempos promedio de apertura puerta trasera (seg).....	102
Ilustración 24 Tiempos promedio de apertura puerta trasera (seg).....	103
Ilustración 25 Tiempos promedio de permanencia en parada.....	108
Ilustración 26 Red modelada.....	112
Ilustración 27 Red modelada 3d. Fuente: Elaboración propia.....	113
Ilustración 28 Fases semafóricas CI 72 * Kr 68H.....	113
Ilustración 29 Fases semafóricas CI 72 * Kr 69J.....	114
Ilustración 30 Fases semafóricas CI 72 * Kr 70.....	114
Ilustración 31 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 68H.....	118

Ilustración 32 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 69J. ....	119
Ilustración 33 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 70. ....	120
Ilustración 34 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 72. ....	121
Ilustración 35 Rutas de transporte público. ....	122
Ilustración 36 Dispersión de la calibración. ....	124
Ilustración 37 Tiempos promedios de permanencia (seg). ....	130
Ilustración 38 Demoras por detención (s). ....	133

## Introducción

El transporte público colectivo de pasajeros es uno de los grandes garantes de que un gran porcentaje de los habitantes de una región, puedan realizar sus desplazamientos asociados a la actividad laboral, relaciones sociales y/o demás necesidades que puedan llegar a tener. Teniendo en cuenta esto y dada su importancia, el servicio de transporte se considera un asunto de interés para quienes desarrollan las políticas que rigen nuestro país, tanto así que el Plan Nacional de Desarrollo 2014 – 2016 lo define como uno de los componentes necesarios para lograr las Estrategias Transversales del mismo; para esto tiene como objetivo priorizar los medios de transporte más sostenibles y lograr que el usuario pueda acceder a estos con niveles de servicio adecuados. No obstante, se ha observado una tendencia en las ciudades de Colombia, en la que el usuario está optando por el medio de transporte privado para realizar sus desplazamientos habituales, lo cual no solo genera más usuarios insatisfechos debido a la congestión, sino que va en contra de las medidas de cuidado ambiental que se deben garantizar.

Esta dinámica de las ciudades de ahora, obliga al medio del sector de transporte y a los actores involucrados en este, a reestructurar la movilidad de las mismas, pensando en atraer cada vez más usuarios a los sistemas de transporte público colectivo, masivo y sistemas de transporte activos, brindando además de cobertura y accesibilidad e integración, tiempos de viaje que se adapten a las necesidades del ciudadano de hoy.

Por lo anteriormente expuesto y dado el cambio que están asumiendo las ciudades principales e intermedias del país, las cuales se encuentran en proceso de organización o reestructuración de sus sistemas de transporte, conviene analizar las medidas tendientes a optimizar los tiempos de viaje de los usuarios del transporte público colectivo para lograr que los usuarios se sientan atraídos hacia este; Puesto que las principales diferencias del anterior sistema de transporte Público Colectivo de la ciudad de Bogotá con el actual, radican en sus métodos de pago y su organización para hacer paradas, conviene analizar las consecuencias de dichos cambios y realizar propuestas dirigidas hacia la optimización de este nuevo modelo de transporte que seguramente será una guía para las demás ciudades.

Para esto, en el desarrollo del presente documento encontramos de forma inicial, los antecedentes del transporte público colectivo de la ciudad de Bogotá y la problemática existente en el mismo, con lo cual se justifica la elaboración de este proyecto.

En el capítulo siguiente, se realiza una revisión de la literatura relacionada con los tiempos de permanencia en parada, que no solo nos brindará las bases necesarias para comprender el tema, sino que además nos ilustra sobre las medidas que han sido implementadas para la optimización de estos tiempos.

El tercer capítulo, correspondiente al caso de estudio para la ciudad de Bogotá, nos permite caracterizar la situación del servicio en las paradas en la actualidad, en la que se presta el servicio con dos modelos de transporte; con esta información se desarrolla en la siguiente sección de este capítulo: el análisis de la implementación de medidas de optimización a través de la microsimulación de la situación estudiada y la variación de esta en determinados componentes.

Con toda la información anterior, se elaboraron en el capítulo final las conclusiones del presente estudio, así como las recomendaciones que se ofrecen a los entes gestores de los sistemas de transporte y a todos los actores encargados de la planificación de estos.

### **Antecedentes y problemática del transporte público colectivo.**

En la ciudad de Bogotá se ha iniciado progresivamente desde el año 2012 la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP). Este sistema se caracteriza principalmente del existente por integrar la tarifa del servicio de transporte público al utilizar distintos servicios y por ordenar la operación. En el caso específico de la operación, cabe destacar que el actual esquema del Transporte Público Colectivo (TPC) se encuentra basado en la guerra del centavo –ascenso y descenso de pasajeros en paraderos no reglamentados para aumentar los ingresos– mientras que el SITP cambiará a una operación de ascenso y descenso en puntos de parada obligatorios.

No obstante, la operación del nuevo SITP en los puntos de parada obligatorios ha evidenciado preliminarmente que se aumentarán los tiempos de permanencia en parada en comparación con los tiempos del TPC. Las razones por las cuales se ha dado el aumento de los tiempos de permanencia en parada del SITP, son las siguientes: (a) los buses del



SITP podrían llegar a permanecer en fila hasta que se libere un punto de parada para permitir el ascenso y descenso de pasajeros ya que si se realiza la detención por fuera de estos, se pueden llegar a sufrir desincentivos económicos; (b) los buses del TPC permiten el ascenso y descenso de pasajeros simultáneamente por dos puertas –adelante y atrás– mientras que en algunas unidades del SITP solamente cuentan con una puerta para el ascenso y descenso alternado de los pasajeros; (c) las unidades del TPC realizan ascenso y descenso en cualquier punto donde se tengan potenciales pasajeros a distancias irregulares mientras que en el SITP el ascenso y descenso se realiza exclusivamente en paradas obligatorias a distancias regulares (300 a 400 metros). Además, resulta importante mencionar que los vehículos del TPC de manera riesgosa, circulan con la puerta abierta o realizan la apertura de estas mientras se encuentran en movimiento.

El cambio del actual TPC al nuevo SITP evidencia que los tiempos de permanencia en parada van a cambiar entre estos dos sistemas y esto aún no ha sido cuantificado. Por consiguiente, el presente proyecto de grado busca determinar un valor numérico que cuantifique el cambio operativo entre los dos sistemas y que permita establecer en forma indirecta si se está afectando la movilidad de los usuarios al variar los tiempos totales de recorrido al comparar la operación de los dos sistemas.

### **Justificación**

Los puntos de parada son componentes importantes dentro de un sistema de transporte público de pasajeros porque ejercen una influencia considerable en la operación. Específicamente, los puntos de parada pueden limitar la capacidad de la línea y por ende el número de unidades de transporte que pueden operar, además, su ubicación y espaciamiento pueden atraer o alejar al usuario, y también pueden ejercer influencia importante en el aumento o disminución de los costos de operación (por ejemplo, en el consumo de combustible).

El estudio del tema propuesto, es importante por las siguientes razones:

1. Porque en Colombia se le ha prestado escasa atención al tema de las paradas, y se han concentrado la mayoría de las investigaciones y consultorías en los tiempos totales de desplazamiento. El presente estudio generaría un impacto positivo en la movilidad de los

usuarios del SITP, pues al establecer los tiempos de permanencia en parada, permitiría ofrecer soluciones que beneficiarían el tiempo total de desplazamiento de los pasajeros.

2. Porque los tiempos muertos (en los que no hay desplazamientos) producen frustración en el usuario, y al optimizarlos se mejorará la percepción que estos tienen del sistema.

3. Porque estudiar este tema y proponer soluciones a la problemática planteada contribuiría a la competitividad del sistema que es uno de los objetivos del SITP y de esta forma le permitiría establecerse como un sistema competitivo. Además, esto incluye la optimización de cada uno de los tiempos que componen la operación de un vehículo. Estudiar este tema y proponer soluciones a la problemática planteada contribuiría a la búsqueda de esta competitividad.

4. Porque a través de la obtención de parámetros de operación del sistema se podrá evitar la repetición de errores, se podrán detectar deficiencias, o se podrá reforzar el modelo operacional de las paradas del SITP. Además, este parámetro permitirá sustentar la conveniencia de implementar el mismo modelo en otras ciudades o por el contrario modificar algunas características de su operación.

5. Porque al comparar los tiempos de operación en parada y la consecuente eficiencia entre los dos sistemas reflejada en los tiempos de recorrido se puede determinar la conveniencia o no de la implementación del nuevo sistema de transporte público de pasajeros de la ciudad de Bogotá.

6. Porque con la obtención de los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros en buses del TPC y del SITP quedaría una fuente de información documentada para la aplicación a otros estudios e investigaciones en este campo.

7. Porque al analizar este tema en un corredor de estudio como caso piloto, se potenciaría la realización de nuevos estudios que brindarían un mayor conocimiento de la implementación de sistemas de transporte públicos eficientes.

### **Objetivo general**

Analizar el tiempo de permanencia en parada de los buses del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá en la Avenida Calle 72 entre Carrera 68 y Avenida Boyacá.

### **Objetivos específicos**

- Obtener el valor numérico que cuantifique el cambio operativo en las paradas entre los dos sistemas de transporte público de Bogotá (TPC y SITP).
- Simular la operación de los buses del SITP en los paraderos con la implementación del 100% del sistema.
- Analizar el resultado obtenido y determinar la conveniencia de la implementación del modelo operacional del SITP.
- Proponer alternativas de mejora o solución para disminuir los altos tiempos de permanencia en parada y optimizar la operación de los buses en estas.

## Capítulo 1.

### Revisión de literatura

#### 1.1 Tiempo de Permanencia

El tiempo de permanencia se define como el tiempo en el que un vehículo de transporte permanece en la parada, medido desde que el vehículo se detiene hasta el momento en el que el vehículo arranca (HCM, 2000) y su duración depende del número de ascensos y descensos de pasajeros, la configuración del bus y la forma de pago del pasaje (Zhang y Teng, 2013). Este tiempo de permanencia en parada representa una parte importante del tiempo total de viaje, hasta el punto que la mayoría de los estudios que se han hecho en el área de predicciones incluyen de forma implícita este valor, pues la variación en él, puede afectar en gran parte la precisión del tiempo total (Zhang y Teng, 2013). La importancia de estas predicciones radica en la óptima prestación de servicio al usuario, así como la influencia que el tiempo de permanencia puede tener sobre los costos de servicio del operador; lo anterior ya que si la velocidad de operación del vehículo se puede incrementar reduciendo estos tiempos de permanencia, menos vehículos podrían ser requeridos para proporcionar el mismo servicio (HCM, 2000). Adicionalmente, las conclusiones de este tipo de estudios pueden resultar significativas para decidir qué tipo de vehículos implementar en un sistema de transporte.

##### 1.1.1 Principales factores que afectan el tiempo de permanencia.

- **Demanda de pasajeros:** el número de personas que ascienden y descienden a través de la puerta que atiende el mayor volumen de pasajeros, determina el tiempo de ascenso y descenso de pasajeros. Normalmente es el factor más significativo que causa variaciones en el tiempo de permanencia (Zhang y Teng, 2013).

Diversos autores han estimado el efecto de ambos procesos (ascenso y descenso) por separado, encontrando que el ascenso es más lento que el descenso cuando el pago ocurre dentro de los buses. También se ha

encontrado que los ascensos y los descensos son más rápidos durante la hora pico que fuera de esta, debido a que durante este periodo, los pasajeros son en su mayoría usuarios comunes familiarizados con el servicio, mientras que fuera de este, hay más usuarios ocasionales y adultos mayores.

En la siguiente tabla se pueden observar los tiempos típicos de ascenso y descenso de pasajeros definidos por el *Highway Capacity Manual 2000*:

**Tabla 1 Tiempos típicos de ascenso y descenso de pasajeros**

Bus Type	Available Doors or Channels		Typical Boarding Service Times <sup>a</sup> (s/p)		Typical Alighting Service Times (s/p)
	Number	Location	Prepayment <sup>b</sup>	Single Coin Fare	
Conventional (rigid body)	1	Front	2.0	2.6 to 3.0	1.7 to 2.0
	1	Rear	2.0	NA	1.7 to 2.0
	2	Front	1.2	1.8 to 2.0	1.0 to 1.2
	2	Rear	1.2	NA	1.0 to 1.2
	2	Front, rear <sup>c</sup>	1.2	NA	0.9
	4	Front, rear <sup>d</sup>	0.7	NA	0.6
Articulated	3	Front, rear, center	0.9 <sup>d</sup>	NA	0.8
	2	Rear	1.2 <sup>e</sup>	NA	-----
	2	Front, center <sup>c</sup>	-----	-----	0.6
Special single unit	6	Front, rear, center <sup>c</sup>	0.5	NA	0.4
	6	3 double doors <sup>f</sup>	0.5	NA	0.4

Notes:

NA: data not available.

a. Typical interval in seconds between successive boarding and alighting passengers. Does not allow for clearance times between successive buses or dead time at stop. If standees are present, 0.5 s should be added to the boarding times.

b. Also applies to pay-on-leave or free transfer situation.

c. One each.

d. Less use of separated doors for simultaneous loading and unloading.

e. Double-door rear loading with single exits, typical European design. Provides one-way flow within vehicle, reducing internal congestion. Desirable for line-haul, especially if two-person operation is feasible. May not be best configuration for busway operation.

f. Examples: Denver 16th Street Mall shuttle; airport buses used to shuttle passengers to planes. Typically low-floor buses with few seats serving short, high-volume passenger trips.

Source: Cuntill and Watts (17).

Fuente: HCM, 2000

- **Nivel de ocupación del bus:** se refiere a la presencia de pasajeros de pie en el vehículo cuando este llega a la parada o a la presencia de sillas desocupadas; este factor se considera ya que el tiempo de servicio podría ser más alto que el normal debido a la congestión del vehículo (HCM, 2000).

- **Separación entre paradas y/o estaciones:** Cuando una ruta de transporte dispone de pocas paradas, el número de pasajeros que abordará en cada una de estas, será mayor; sin embargo en el caso contrario, la velocidad de viaje se reduce debido al tiempo perdido en el proceso de aceleración y desaceleración (HCM, 2000).
- **Método de pago:** El tiempo que los pasajeros invierten pagando su pasaje, es el factor que más influye en el tiempo de ascenso de los pasajeros. Este tiempo puede ser reducido minimizando el número de billetes y monedas requeridos para pagar y fomentando el uso de tiquetes prepagados, tokens, tarjetas inteligentes o pagando antes de abordar. Este último método permite una distribución uniforme en el ascenso de pasajeros en todas las puertas del vehículo, en lugar de concentrarlos en una sola (HCM, 2000).
- **Tipos de vehículos:** La configuración del vehículo contribuye a tiempos de ascenso o descenso más bajos específicamente en lo que se refiere a i) presencia de escaleras o buses de plataforma baja (HCM, 2000), ii) buses con puertas anchas que permiten que más pasajeros asciendan o desciendan simultáneamente (HCM, 2000) y iii) número de puertas disponibles (RABBAN). *The Transportation Research Board* encontró que los buses de piso bajo tienen tasas de ascenso y descenso de pasajeros que son el 90% de las tasas de buses con escaleras. Otros estudios han encontrado que los buses de piso bajo son 0.13 segundos más rápidos por parada que los buses con escaleras (Tirachini, 2013).
- **Ascenso de sillas de ruedas y bicicletas:** el tiempo de permanencia puede verse afectado por el tiempo de abordaje y desembarco de pasajeros en sillas de ruedas o pasajeros con bicicletas (HCM, 2000).
- **Ubicación de la parada:** Si una parada está ubicada antes del semáforo, los conductores podrán mantener la puerta abierta para permitir más abordajes mientras la luz está en rojo (Tirachini, 2013).

## 1.1.2 Modelos para determinar tiempos de permanencia.

### 1.1.1.1 *Highway Capacity Manual 2000 – Transportation Research Board.*

El HCM 2000 recomienda que los tiempos de permanencia sean medidos en campo, siendo esto más adecuado para determinar la capacidad y los niveles de servicio de las rutas existentes. Sugiere, además, que en ausencia de datos se asuman los tiempos de permanencia de acuerdo a lo siguiente:

- Distritos comerciales: 60 segundos
- Puntos de transferencia importantes: 30 segundos
- Paradas típicas: 15 segundos

Para calcular el tiempo de permanencia recomienda usar la siguiente ecuación:

$$T_d = P_a T_a + P_b T_b + T_{oc}$$

Donde:

$T_d$  = Tiempo de permanencia en la parada del bus (seg)

$P_a$  = Pasajeros que ascienden al bus por la puerta de más alta ocupación

$T_a$  = Tiempo de servicio de ascenso (s/p)

$P_b$  = Pasajeros que descienden al bus por la puerta de más baja ocupación

$T_b$  = Tiempo de descenso de pasajeros (s/p)

$T_{oc}$  = Tiempo de apertura y tiempo de cierre de puertas (seg)

El modelo descrito en el Manual de Capacidad de Carreteras considera que el ascenso de pasajeros ocurre de forma posterior al descenso, lo cual puede ocurrir en vehículos de una sola puerta o en aquellos en que sus puertas son usadas de forma indiferente para el ascenso y descenso de pasajeros.

### **1.1.1.2 Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y Transporte – Alcaldía Mayor de Bogotá.**

Este manual define el tiempo de permanencia como el tiempo empleado en la transferencia de pasajeros, el cual depende de la cantidad de usuarios que suban y bajen de cada bus en el paradero, expresando lo anterior como:

Subidas/bajadas sucesivas:  $B_0 + (B_1P_b + B_2P_s)$

Subidas/bajadas simultáneas:  $B_0 + \max(B_1P_b + B_2P_s)$

Donde:

$B_0 =$  Tiempo muerto por detención (abrir o cerrar puertas) seg

$B_1 =$  Tiempo marginal de subida por pasajero seg/pax

$B_2 =$  Tiempo marginal de bajada por pasajero seg/pax

$P_s =$  Número de pasajeros que suben al bus

$P_b =$  Número de pasajeros que bajan del bus

### **1.1.1.3 Bus Dwell Time Estimation and Prediction: A Study Case in Shanghai – China - Cen Zhang, Jing Teng, 2013.**

El objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo de tiempo de permanencia de buses basado en datos dinámicos AVL y APC<sup>1</sup> los cuales son capaces de proporcionar información en tiempo real del tiempo de llegada de los buses. El modelo establecido en este artículo no solo considera el número de pasajeros que suben y bajan del vehículo, los cuales son estimados de acuerdo a la tasa de llegada de pasajeros a la parada y a la capacidad del vehículo, sino que también considera factores como el hacinamiento y el método de pago.

Recolección de datos:

---

<sup>1</sup> Localización automática de vehículos (AVL) y Contadores automáticos de pasajeros (APC)



Los datos usados para este estudio corresponden a la línea Jiading 3 en Shanghai. Es una ruta de aproximadamente 6.4 km, 17 paradas de bus en cada dirección de las cuales 4 están localizadas en puntos de alta demanda de pasajeros. El índice de ocupación de esta ruta es de aproximadamente 600 pasajeros en cada dirección en hora pico.

Modelo desarrollado:

Se asume que la información en tiempo real de pasajeros que abordan y descienden en una parada de bus, la hora de llegada y hora de despacho son datos conocidos de los sistemas AVL y PCL.

Cuando el bus k+1 deja la parada n, el tiempo de despacho  $T_{n,D}^{k+1}$  es conocido por los sistemas AVL, en ese instante, el tiempo de marcha  $RT_{n,n+1}^{k+1}$  y el tiempo de llegada del bus a la parada aguas abajo será predicho  $T_{n+1,A}^{k+1}$ ; Después,  $DT_{n+1}^{k+1}$  será estimado por el modelo de tiempo de permanencia y  $T_{n+1,D}^{k+1}$  podrá ser determinado. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las etapas del vehículo a lo largo de la ruta:

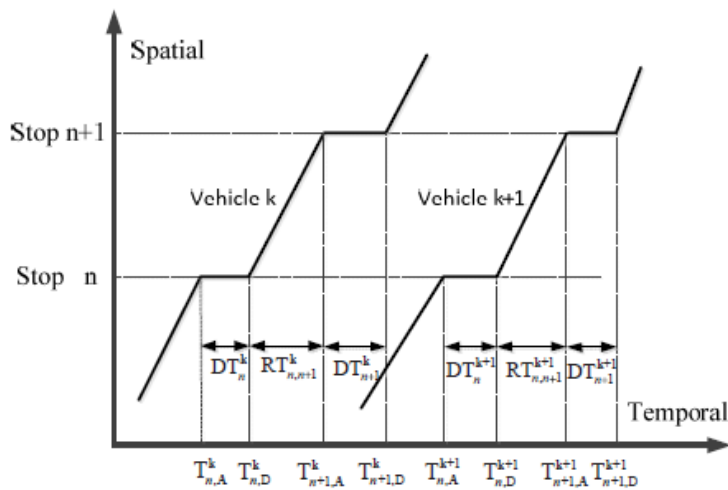


Ilustración 1. Operación de los buses de una misma ruta.

Fuente: Zhang y Teng, 2013.

### **Predicción de pasajeros que ascienden y descienden:**

El primero algoritmo se usará para predecir el número de pasajeros que ascienden y descienden en cada parada; este algoritmo hace uso de datos históricos y de la información del anterior bus en el día que se predecirán los ascensos y descensos.

Los pasajeros que abordan el bus pueden predecirse usando la siguiente expresión:

$$Pb_{n+1}^{k+1} = \lambda_{n+1}(PT_{n+1,A}^{k+1} - T_{n+1,A}^k) + R_{n+1}^k$$

Donde:

$Pb_{n+1}^{k+1}$  = Predicción de pax que abordarán el bus  $n + 1$  en la paraa  $k + 1$

$\lambda_{n+1}$  = Predicción de tasa de llegada de los pasajeros a la parada  $n + 1$

$PT_{n+1,A}^{k+1}$  = Predicción de la hora de llegada del bus  $k + 1$  a la parada  $n + 1$

$T_{n+1,A}^k$  = Hora de llagada del bus  $k$  a la parada  $n + 1$

$R_{n+1}^k$  = Predicción de los pasajeros que no pudieron abordar el bus  $k$

Es necesario calcular el número de pasajeros dentro del vehículo  $k$ , para lo cual el autor propone la siguiente fórmula:

$$N_{n+1}^K = N_n^k + b_{n+1}^k - a_{n+1}^k$$

Donde:

$N_{n+1}^K$

= Número de pasajeros dentro del vehículo  $k$  después del despacho de  $n + 1$

$N_n^k$

= Número de pasajeros dentro del vehículo  $k$  después del despacho de  $n$

$b_{n+1}^k$  = Pasajeros reales que abordarn el bus  $k$  en la parada  $n + 1$

$a_{n+1}^k =$  *Pasajeros reales que descendieron del bus k en la parada n + 1*

Con el fin de verificar si la capacidad del vehículo ha sido alcanzada, se introduce al modelo el siguiente parámetro:

$$S_{n+1}^k = C_k - N_{n+1}^k$$

Donde:

$S_{n+1}^k =$  *Saturación de la capacidad del bus k después del despacho de la parada n + 1. Si es menor o igual a cero, el bus k alcanzó la capacidad.*

$N_{n+1}^k =$  *Número de pasajeros dentro del vehículo k después del despacho n + 1*

$C_k =$  *Máximo número de pasajeros que pueden ir dentro del vehículo k*

Si la capacidad del vehículo ha sido excedida, habrá un número de pasajeros que deberán esperar el siguiente bus y puede ser calculado así:

$$R_{n+1}^k = Pb_{n+1}^k - b_{n+1}^k$$

Donde:

$R_{n+1}^k =$  *Predicción de pasajeros que esperarán el siguiente bus*

$Pb_{n+1}^k =$  *Predicción de pasajeros que abordarán el bus k + 1 en la parada n + 1*

$b_{n+1}^k =$  *Pasajeros reales que abordaron en bus k en la parada n + 1*

Paso seguido, corresponde determinar el número de pasajeros que descenderán del vehículo k+1:

$$Pa_{n+1}^{k+1} = \sigma_{n+1} * N_{n+1}^{k+1}$$

Donde:

$Pa_{n+1}^{k+1}$  = Predicción de pasajeros que desciende del bus  $k$   
+ 1 en la parada  $n + 1$

$N_{n+1}^{k+1}$   
= Pasajeros dentro del vehículo  $k$  después de la salida de la parada  $n + 1$

$\sigma_{n+1}$   
= Predicción de porcentaje de pasajeros que descienden en la parada  $n$   
+ 1

$$\sigma_{n+1} = \frac{\theta_{n+1}}{\sum_{n+1}^m \theta_i}$$

$m$  = número total de paradas de la línea de bus

$\theta_i$  =  
Porcentaje de pasajeros que descienden en la parada  $i$  tomados de datos históricos

### **Predicción del tiempo de permanencia:**

Los vehículos en China usualmente aceptan dos medios de pago, el efectivo y el automático. Para esta situación el autor propone el siguiente modelo, el cual define el tiempo de permanencia en parada como el máximo entre el tiempo de servicio de ascenso de los pasajeros y el tiempo de servicio de descenso, sumado al tiempo de apertura y cierre de puertas.

$$DT_{n+1}^{k+1} = t_{n+1} + \text{MAX} (tb_{n+1}^{k+1} * Pb_{n+1}^{k+1}, \quad ta_{n+1}^{k+1} * Pa_{n+1}^{k+1})$$

$DT_{n+1}^{k+1}$  = Tiempo de permanencia del bus  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

$t_{n+1}$  = Tiempo de apertura y cierre de puertas en la parada  $n + 1$

$tb_{n+1}^{k+1}$  = tiempo de ascenso de pasajeros en el bus  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

$Pb_{n+1}^{k+1}$  = Pasajeros predecidos que abordan el bus  $k + 1$  en la paradan  $n + 1$

$ta_{n+1}^{k+1}$  = Tiempo de descenso de pasajeros en el bus  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

$Pa_{n+1}^{k+1}$  = Pasajeros predecidos que descienden del bus  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

Adicionalmente considera que los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros pueden verse afectados por el amontonamiento de pasajeros dentro del bus; por lo tanto, define una tasa de hacinamiento de la siguiente forma:

$$\rho_{n+1}^{k+1} = \frac{N_{n+1}^{k+1} - S_{k+1}}{C_{k+1} - S_{k+1}}$$

$\rho_{n+1}^{k+1}$  = tasa de hacinamiento en el bus  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

$N_{n+1}^{k+1}$  = Número de pasajeros dentro del bus  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

$S_{k+1}$  = Número de sillas en el bus  $k + 1$

$C_{k+1}$  = Número máximo de pasajeros que pueden ir en el bus  $k + 1$

En la anterior ecuación, el término del numerador define los pasajeros que van de pie en el vehículo  $k+1$  y el término del denominador establece el máximo número de pasajeros que pueden ir de pie.

Con el anterior factor, se procede a corregir los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros en el vehículo  $k+1$ :

$$tb_{n+1}^{k+1} = \begin{cases} tb + m_b * (\rho_{n+1}^{k+1} - \rho_b), \rho_{n+1}^{k+1} - \rho_b > 0 \\ Tb, \rho_{n+1}^{k+1} - \rho_b \leq 0 \end{cases}$$

$$ta_{n+1}^{k+1} = \begin{cases} ta + m_a * (\rho_{n+1}^{k+1} - \rho_a), \rho_{n+1}^{k+1} - \rho_a > 0 \\ Ta, \rho_{n+1}^{k+1} - \rho_a \leq 0 \end{cases}$$

$tb_{n+1}^{k+1}$  = Tiempo promedio de abordaje en el vehículo  $k + 1$  en la parada  $n + 1$

$tb$  = Tiempo promedio de abordaje por pasajero

$\rho_b$  = Tasa de hacinamiento que empieza a afectar el tiempo de abordaje

$m_b =$  *Coficiente de compensación de abordaje*

$ta_{n+1}^{k+1} =$  *Tiempo de descenso promedio para el vehículo k*  
*+ 1 en la parada n + 1*

$ta =$  *Tiempo promedio de descenso por pasajero*

$m_a =$  *coeficiente de compensación descenso*

$\rho_a =$

*Tasa de hacinamiento que empieza a afectar el tiempo de descenso de los pasajeros*

Para realizar esta corrección del tiempo de ascenso y descenso se deberá verificar si:

- i) Existe una tasa de hacinamiento que se considera puede afectar estas operaciones en el bus, por lo tanto a los tiempos promedio de abordaje y/o descenso por pasajero se le sumará un tiempo adicional.
- ii) Se considera que el hacinamiento existente en el bus no afectará las maniobras y por lo tanto los tiempos de ascenso y descenso se asumirán como los promedios estimados.

### **Parámetros obtenidos en Zhang y Teng, 2013:**

Tiempo muerto: 3 a 12 segundos

Tiempos de descenso: 1 a 3 segundos por pasajero

Tiempos de ascenso: 1.6 a 8 segundos por pasajero

Promedio de tiempos de descenso: 1.13 segundos

Promedio de tiempos de ascenso: 1.88 segundos

Promedio tiempos muertos: 4.6 segundos

Comparación:

Este modelo fue comparado por el autor, con otros dos modelos desarrollados previamente para la misma ruta:

$$\text{Modelo A: } DT_{n+1}^{k+1} = t_{n+1} + tb_{n+1}^{k+1} * \lambda_{n+1}(PT_{n+1,A}^{k+1} - T_{n+1,A}^k)$$

$$\text{Modelo B: } DT_{n+1}^{k+1} = t_{n+1} + MAX(tb_{n+1}^{k+1} * \lambda_{n+1}(PT_{n+1,A}^{k+1} - T_{n+1,A}^k), ta_{n+1}^{k+1} * \sigma_{n+1} * N_{n+1}^{k+1})$$

Modelo C: El desarrollado en el artículo

### **Análisis y resultados de Zhang y Teng, 2013:**

El modelo 3 proporciona los mínimos errores, lo cual significa que su actuación fue mejor en comparación con los modelos A y B, demostrando como este modelo puede capturar cambios en las dinámicas debido a las diferentes características de operación de los buses en las paradas.

### **Conclusiones de Zhang y Teng, 2013:**

La inclusión de factores como el tipo de servicio, los límites de capacidad, métodos de pago y hacinamiento en el vehículo, incrementarán la exactitud de la predicción del tiempo de parada del autobús. El modelo C incluye estos factores pudiendo proporcionar mejores estimaciones en condiciones de alta ocupación de los vehículos.

#### **1.1.1.4 *The Effect of Different Fare Collection - Alejandro Tirachini, 2013***

En este artículo, el autor estima las contribuciones de todos los factores envueltos en el proceso de atender pasajeros en las paradas, es decir, número de pasajeros que ascienden y descienden, método de pago y tiempos muertos. Una vez la naturaleza del tiempo de permanencia ha sido capturada usando métodos de regresión estadística, se compararán los tiempos para varios métodos de pago y diferentes niveles de demanda.

El modelo más simple del tiempo de permanencia es una función lineal del número de pasajeros que ascienden y descienden. La especificación

depende de si el proceso de ascenso y descenso es secuencial (la misma puerta es usada para subir y bajar) o simultánea (diferente puerta usada para el ascenso y descenso). Para el primer caso, el tiempo de permanencia puede ser estimado por la siguiente expresión:

$$d = c + \sum_{i=1}^A t_i^a + \sum_{j=1}^B t_j^b$$

Para el segundo caso, el tiempo de permanencia puede ser expresado por:

$$d = c + \max\left(\sum_{i=1}^A t_i^a, \sum_{j=1}^B t_j^b\right)$$

Donde:

$c$  = tiempo muerto (apertura y cierre de puertas)

$A$  = Número de pasajeros que descienden

$B$  = Número de pasajeros que ascienden

$t_i^a$  = tiempo de cada pasajero en descender

$t_j^b$  = tiempo de cada pasajero en ascender

Las anteriores expresiones pueden simplificarse de la siguiente manera:

$$d = c + aA + bB$$

$$d = c + \text{MAX}(aA, bB)$$

En algunos casos hay diferencias notables en los tiempos de ascenso y descenso dependiendo de la edad de los pasajeros y/o el método de pago. Para capturar estas diferencias, las anteriores ecuaciones pueden expresarse como:

$$d = c + \sum_{k=1}^m a_k A_k + \sum_{l=1}^n b_l B_l$$



$$d = c + MAX \left( \sum_{k=1}^m a_k A_k, \sum_{l=1}^n b_l B_l \right)$$

*m y n = número de categorías de pasajeros descendiendo y ascendiendo*

*(incluyendo diferentes métodos de pago) respectivamente*

En esta investigación, se han introducido nuevas características con el fin de capturar la influencia de elementos específicos que no han recibido atención. Estas características son: a) diferentes métodos de pago, b) edad de los pasajeros, c) el efecto fricción entre dos líneas de pasajeros que ascienden y d) Buses de piso bajo o con escaleras.

### **Recolección de datos**

El estudio de tiempos de permanencia fue llevado a cabo en dos áreas de Sídney, Australia: el centro de la ciudad y en el suburbio Blacktown, ubicado aproximadamente a 25 km del CBD.

En la **Tabla 2** se pueden observar las características de los servicios estudiados:

**Tabla 2 Características de los servicios estudiados en Tirachini, 2013.**

Características	Blacktown	Sydney	Gratis
Método de pago	Efectivo	Efectivo Banda magnética	NA
Tipo de bus	Buses con escaleras y de piso bajo	Buses con escaleras y de piso bajo	Buses de plataforma baja
Ascenso	Puerta delantera	Puerta delantera	Puerta delantera
Descenso	Puerta delantera	Puerta delantera Puerta trasera	Puerta delantera Puerta trasera

Fuente: Elaboración propia con base en Tirachini (2013).

Los estudios fueron realizados en días entre semana entre los meses de mayo y octubre del 2009 con un observador a bordo de los vehículos; para cada parada de bus, los siguientes ítems eran grabados:

- Instante en el cual las puertas se abrían, más el tiempo de apertura y cierre de puertas.
- Número de pasajeros abordando, distinguiendo:
  - Niños, adultos (18-65) y ancianos (+65) separando por el método de pago (tarjeta prepago o efectivo)
  - Estudiantes
  - Pasajeros que compran uno o dos tiquetes a bordo del bus.
- Número de pasajeros que descienden, distinguiendo:
  - Estudiantes (6-18)
  - Adultos
  - Ancianos

**Tabla 3 Número de observaciones**

<b>Servicio</b>	<b>Tipo de bus</b>	<b>Observaciones</b>
Blacktown	Piso bajo	404
	Escaleras	398
Sidney	Piso bajo	394
	Escaleras	307
Servicio gratis	Piso bajo	101
	Total	1604

Fuente: Elaboración propia con base en Tirachini (2013)

## Modelos usados en Tirachini, 2013

- Método de pago

### Modelo 1: Blacktown

$$d = c + b_e B_e + b_c B_c + b_s B_s + b_t B_t + aA + \epsilon$$

$B_e$

= Número de pasajeros que abordan el bus pagando con el dinero exacto.

$B_c$  = Número de pasajeros que abordan el bus que requieren cambio.

$B_s$  = Número de estudiantes, servicio gratis.

$B_t$  = Número de pasajeros a los cuales se les da un tiquete diario

$A$  = Número de pasajeros que descienden

$\epsilon$  = Residual o diferencia inexplicable

### Modelo 2: Sídney

$$d = c + \max\{\max\{BT_{right}, BT_{left}\} + AT_1, AT_2\} + \epsilon$$

$BT_{right} = b_{d1} * B_{d1} =$  tiempo de abordaje por la fila derecha

$BT_{left} = b_{d2} * B_{d2} + b_e * B_e + b_c * B_c$

= Tiempo de abordaje por la fila izquierda

$B_{d1}$  = pasajeros que ascienden y pagan con tarjeta en el dispositivo de la derecha

$B_{d2}$  = Pasajeros que ascienden y pagan con tarjeta en el dispositivo de la izquierda

$B_e$  = Pasajeros que pagan con dinero y no requieren cambio

$B_c$  = Pasajeros que pagan con dinero y no requieren cambio

$AT_1 = a_1 A_1$

$AT_2 = a_2 A_2$

$A_1 =$  Número de pasajeros que descienden por la puerta delantera

$A_2 =$  Número de pasajeros que descienden por la puerta trasera

Modelo 3: Servicio gratuito

$$d = c + MAX(a_1A_1 + b_1B_1, a_2A_2) + \epsilon$$

$B_1 =$  Número de pasajeros que ascienden por la puerta delantera

$A_1 =$  Número de pasajeros que descienden por la puerta delantera

$A_2 =$  Número de pasajeros que descienden por la puerta trasera

### Resultados de Tirachini, 2013

**Tabla 4 Resultados del estudio de Tirachini (Métodos de pago)**

Parameter	Unit	Model 1 (Black-Town)	Model 2 (Inner Sydney)	Model 3 (Free shuttle)
Dead time (c)	s	5.32 (11.76)	5.17 (11.92)	6.47 (14.46)
Boarding time cash exact fare ( $b_e$ )	s/pax	5.66 (12.17)	9.02 (11.00)	-
Boarding time cash change given ( $b_c$ )	s/pax	12.73 (36.54)	16.23 (32.17)	-
Boarding time school students ( $b_s$ )	s/pax	1.49 (13.76)	-	-
Boarding time daily ticket ( $b_t$ )	s/pax	15.87 (16.80)	-	-
Boarding time magnetic strip right device ( $b_{\sigma 1}$ )	s/pax	-	4.61 (30.39)	-
Boarding time magnetic strip left device ( $b_{\sigma 2}$ )	s/pax	-	5.56 (23.49)	-
Boarding time free shuttle ( $b_1$ )	s/pax	-	-	1.46 (32.94)
Alighting time front door ( $a_1$ )	s/pax	1.58 (14.46)	2.37 (7.96)	1.64 (6.31)
Alighting time back door ( $a_2$ )	s/pax	-	1.26 (11.36)	1.18 (15.01)
Adjusted R-squared ( $R^2$ )		0.899	0.865	0.925

Note: t-tests in brackets

Fuente: Tirachini, (2013)

- Configuración del bus (piso bajo o escaleras) y edad de los pasajeros

Modelo 1: Blacktown

$$\begin{aligned}
 d = & c + c_1\gamma_1 + c_2\gamma_2 + (b_e^{adult} + \gamma_3 b_{cg} + \gamma_4 b_{step})B^{adult} \\
 & + (b_e^{senior} + \gamma_3 b_{cg} + \gamma_4 b_{step})B^{senior} + b^{student}B^{student} \\
 & + (b_t + \gamma_4 b_{step})B_t + a^{adult}A^{adult} + a^{senior}A^{senior} \\
 & + a^{student}A^{student} + \varepsilon
 \end{aligned}$$

Subíndices:

$e =$  pago exacto con efectivo

$c =$  pago con efectivo y requiere cambio

$t =$  tiquete

Variables binarias:

$\gamma_1, \gamma_2 =$

*Representan paradas en las cuales solo se dan ascensos o descensos, respectivamente.*

Su función será medir el efecto fricción entre los pasajeros que suben y bajan.

$\gamma_3 =$  Se activa si el conductor debe darle cambio al pasajero

$\gamma_4 =$  Se activa si el bus tiene dos escaleras.

## Resultados de Tirachini, 2013

**Tabla 5 Resultados del estudio de Tirachini (Configuración y edad)**

Parameter	Unit	Value	t-test
Dead time (c)	s	9.07	10.63
Dead time boarding only ( $c_1$ )	s	-4.12	-4.64
Dead time alighting only ( $c_2$ )	s	-4.26	-4.69
Boarding time exact fare adults ( $b_e^{adult}$ )	s/pax	5.48	14.28
Boarding time exact fare seniors ( $b_e^{adult}$ )	s/pax	6.72	11.84
Change-giving time ( $b_{change}$ )	s/pax	6.35	13.00
Boarding time students ( $b^{student}$ )	s/pax	1.33	14.42
Boarding time daily ticket ( $b_i$ )	s/pax	15.14	22.78
Extra boarding time steps ( $b_{step}$ )	s/pax	2.20	8.90
Alighting time adults ( $a^{adult}$ )	s/pax	1.79	11.71
Alighting time seniors ( $a^{senior}$ )	s/pax	3.54	7.97
Alighting time students ( $a^{student}$ )	s/pax	1.35	12.89
Adjusted R-squared ( $R^2$ )		0.907	

Fuente: Tirachini, (2013).

Modelo 2: Sidney

$$BT_{left} = (b_{d2}^{adult} + \gamma_4 b_{step}) + B_{d2}^{adult} + (b_{d2}^{senior} + \gamma_4 b_{step}) B_{d2}^{senior} \\ + (b_e + \gamma_4 b_{step}) B_e + (b_c + \gamma_4 b_{step}) B_c$$

$$BT_{right} = (b_{d1}^{adult} + \gamma_3 b_{step}) + B_{d1}^{adult} + (b_{d1}^{senior} + \gamma_3 b_{step}) B_{d1}^{senior}$$

$$AT_1 = a_1^{adult} A_1^{adult} + a_1^{senior} A_1^{senior}$$

$$AT_2 = a_2^{adult} A_2^{adult} + a_2^{senior} A_2^{senior}$$

## Resultados de Tirachini, 2013

**Tabla 6 Resultados del estudio de Tirachini (Configuración y edad)**

Parameter	Unit	Value	t-test
Dead time (c)	s	4.91	14.15
Boarding time right device adults ( $b_{d1}^{adult}$ )	s/pax	4.43	28.02
Boarding time right device seniors ( $b_{d1}^{seniors}$ )	s/pax	6.26	10.46
Boarding time left device adults ( $b_{d2}^{adult}$ )	s/pax	5.32	22.33
Boarding time left device seniors ( $b_{d2}^{seniors}$ )	s/pax	7.49	9.14
Boarding time exact fare ( $b_e$ )	s/pax	9.56	15.39
Boarding time change given ( $b_c$ )	s/pax	16.22	37.39
Extra boarding time steps ( $b_{step}$ )	s/pax	0.57	3.01
Alighting time front door adults ( $a_1^{adult}$ )	s/pax	2.27	7.34
Alighting time front door seniors ( $a_1^{senior}$ )	s/pax	3.09	6.54
Alighting time back door adults ( $a_2^{adult}$ )	s/pax	1.25	11.85
Alighting time back door seniors ( $a_2^{senior}$ )	s/pax	2.38	4.06
Adjusted R-squared ( $R^2$ )		0.843	

Fuente: Tirachini, (2013).

## Conclusiones de Tirachini, 2013

Los resultados muestran que es posible conseguir ahorros de tiempos sustanciales si los métodos de pago son actualizados de métodos lentos como el pago con efectivo a métodos más rápidos como el pago fuera de los buses; el pago a través de la validación dentro del bus con tarjetas prepago se considera en el medio de estas dos. Además, el impacto positivo de usar métodos eficientes de recolección generará un incremento en la demanda.

Se encontró que la existencia de escaleras en la puerta delantera hace el proceso de ascenso más lento, pero el impacto en el descenso no es significativo.

En cuando a las edades, los pasajeros de la tercera edad, tardan más en ascender y descender comparados con los jóvenes, lo cual es un resultado esperado.

Finalmente se encontró que la formación de dos filas de pasajeros para abordar el vehículo puede tener un impacto negativo en los tiempos de ascenso respecto al caso de baja demanda y una fila para abordar.

#### **1.1.1.5 *Different Payment Methods Impact On Transit Speed - Shaker Rabban.***

Esta investigación se concentra en como los métodos de pago impactan la velocidad del transporte, considerando que los usuarios tienen una variedad de opciones para pagar (dinero, tarjetas, tiquetes) y que el método de pago es una de las pocas variables sobre las que los usuarios tienen control.

El modelo utilizado es una ecuación sencilla que estima el tiempo de permanencia como una función del método de pago:

$$T = \sum_i^n \binom{n}{i} B_i X_i$$

*T = Tiempo total de permanencia*

*B<sub>i</sub> = Tiempo promedio de abordaje para el método de pago i*

*X<sub>i</sub> = Número de pasajeros usando el método de pago i*

#### **Metodología Rabban**

En una posición en el vehículo se graba:

- Nombre de cada parada
- Tiempo en que las puertas han sido abiertas
- Tiempo en que el primer pasajero asciende
- Número de pasajeros que ascienden
- Método de pago de cada pasajero
- Tiempo en el cual el último pasajero aborda.



## Recolección de datos

Los datos corresponden a un periodo de tres semanas empezando en el mes de octubre de 2010 en rutas de servicios regulares y se generaron tres categorías de acuerdo al método de pago: tarjeta, dinero y tiquetes.

Cerca de 200 ascensos en 60 paradas de bus fueron grabadas y analizadas usando el software estadístico SPSS para calcular el coeficiente de regresión de cada variable.

**Tabla 7 Tipo de pago por parada de bus**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Go-To	0	11	2.28	2.349	5.518
Transfer	0	8	.90	1.498	2.243
Cash	0	4	.56	.870	.758
Dwell Time (Sec)	2	77	16.69	15.237	232.157

Fuente: Rabban

## Resultados Rabban

El autor encontró que la expresión que mejor representa el tiempo de permanencia es la descrita a continuación:

$$T = 2.6X1 + 5.8X2 + 9.277X3$$

Donde:

X1= Pasajeros que usan una tarjeta

X2= Pasajeros que usan un tiquete

X3= Pasajeros que usan dinero

- El tiempo ahorrado por un pasajero que anteriormente usaba dinero y ahora usa una tarjeta es de 6.6 seg/pax.

- Si el 25% de los pasajeros que usan dinero para pagar el pasaje, hiciera su pago con tarjeta, el tiempo de permanencia podría ser reducido en media hora. La Ilustración 2 muestra resultados para otros porcentajes de conversión:

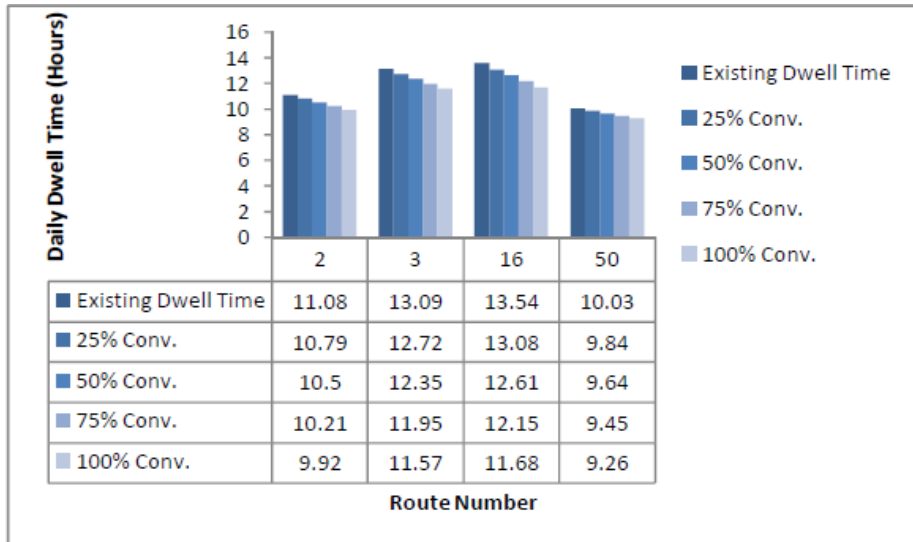


Ilustración 2. Tiempos de permanencia diarios.

Fuente: Rabban

- Debido a lo anterior, los costos de operación pueden verse reducidos tal como se observa en la **Tabla 8** se considera que los costos de operación para los buses incluyendo costos de conductor, mantenimiento, combustible son de \$107.80/hr:

**Tabla 8 Ahorros anuales en costos de operación**

Network-Wide Savings	25% Conv.	50% Conv.	75% Conv.	100% Conv.
Time Savings (Hours)	3,976	7,951	11,927	15,903
Operating Costs Savings	\$428,573	\$857,146	\$1,285,720	\$1,714,293

Fuente: Rabban

## Conclusiones Rabban

El artículo demostró como el pago con efectivo genera demoras innecesarias tanto para los usuarios como para el sistema. También proporcionó una imagen de como los tiempos de permanencia pueden ser reducidos por cambiar de pago en efectivo a pago con tarjeta, minimizando tiempos y costos de operación.

### 1.1.3 Resumen de resultados.

En las Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11 se puede observar la información de tiempos de ascenso, descenso y de apertura y cierre de puertas obtenidos en los anteriores estudios:

**Tabla 9 Resultados de tiempos promedio de ascenso (seg)**

Método de pago	Zhang and Teng	Tirachini			Rabban
	Shangai	Blacktown	Sidney	Gratis	Minnesota
Pago con dinero	-	5,66	9,02	-	9,28
Pago con dinero - Cambio	-	12,73	16,23	-	
Tarjeta	1,88	-	-	-	2,6
Tiquete	--	15,87	4,61 - 5,56	-	5,8
Gratis		1,49	-	1,46	-

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10 Resultados de tiempos promedio de descenso (seg)**

Puerta	Zhang and Teng	Tirachini			Rabban
	Shangai	Blacktown	Sidney	Free	Minnesota
Puerta delantera	-	1,58	2,37	1,64	-
Puerta trasera	1,13	-	1,26	1,18	-

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11 Resultados de tiempos promedio muertos (seg)**

Zhang and Teng	Tirachini			Rabban
Shanghái	Blacktown	Sidney	Free	Minnesota
4,6	5,32	5,17	6,47	-

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, Tirachini incluyó en su investigación, una compilación de resultados obtenidos en anteriores investigaciones, en la que se encuentran los tiempos de ascenso, descensos y tiempos muertos encontrados:

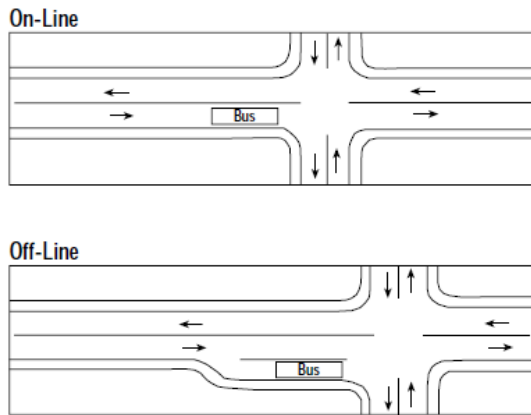
**Tabla 12 Información recolectada en otros estudios**

Paper	Location	Types of vehicles	Fare collection	Feature	Dead time c (s)	Alighting $\alpha$ (s/pax)	Boarding $\beta$ (s/pax)
Aashiani and Iravani (2002)	Tehran, Iran	2- and 3- door buses	-	Dwell time function as input for transit assignment model	12.0	0.99-1.04	1.64-2.00 (from the best model)
Dueker et al. (2004)	Portland, USA	Buses	-	Use of archived AVL and APC data, account of lift operations	5.14	1.70 (only linear term)	3.48 (only linear term)
Fernández et al. (2009)	Santiago, Chile	2-, 3- and 4-doors buses, Metro trains	Contactless card (buses), payment in station (metro)	Marginal boarding and alighting times depending on number of boarders and alighters	Metro: 3.24 Buses: 8.04-9.32	Metro: 0.70 Buses: 1.39-3.32	Metro: 1.13 Buses: 2.05-6.04
Guenther and Hamat (1988)	Michigan, USA	1 door buses	Cash, tickets and passes	Different fare types found not to affect dwell time significantly	2.25 (plus opening/closing door time)	1.81	5.66 (for all fare payment methods)
HCM (2000)	USA	1- to 6- doors buses	Prepaid card and cash	Different boarding and alighting times depending on number of doors (rigid and articulated buses)	-	0.4-2.0	0.5-3.0
Li et al. (2006)	Broward, Florida, USA	2-door buses	Prepaid card and cash	Choice model to predict alightings on front and rear doors	-	4.47-4.90	4.59
Lin and Wilson (1992)	Massachusetts, USA	1- and 2- car trains (light rail)	Outside trains	Differences between model for 1-car and 2-car trains	One car: 8.10-12.50 Two cars: 9.69-15.69	One car: 0.23-1.41 Two cars: 0.36-0.66	One car: 0.55-1.15 Two cars: 0.27-0.42
Rajbhandari et al. (2003)	New Jersey, USA	Buses	No info (data from APC devices)	Nonlinear model is better than linear one	1.32-5.99	1.93-4.63	4.65-6.91
York (1993)	London and Exeter, UK	1- and 2-doors buses (low floor, steps at entrance)	Prepaid card and cash	Peak/off-peak variation on boarding and alighting times	2.38-8.26	0.99-2.94	1.84-5.49 (passes) 2.74-8.87 (cash) 0.88-4.70 (change giving time)

Fuente: Tirachini, (2013)

## 1.2 Área de Carga

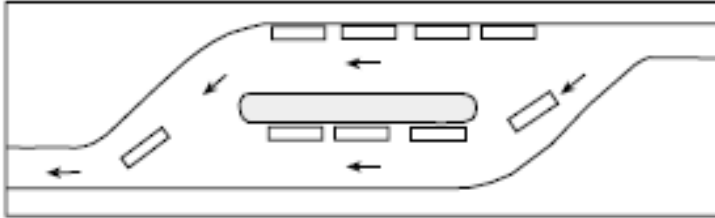
Es el espacio destinado para que los buses paren a recoger y dejar pasajeros. Las paradas de bus pueden contener una o más áreas de carga y normalmente se encuentran a lo largo del bordillo de la calle, pudiendo estar en el carril de tránsito, impidiendo que los buses que se encuentran detrás de él pasen la parada, o fuera del carril como es el caso de las bahías (HCM, 2000), como se puede apreciar en la **Ilustración 3**:



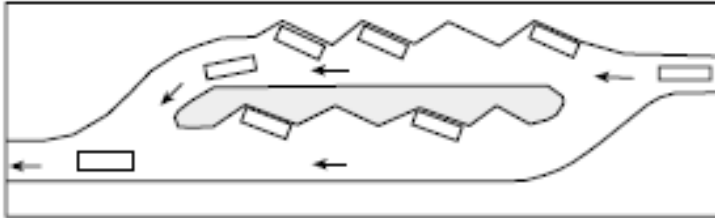
Source: Fitzpatrick et al. (5).

Ilustración 3 Áreas de carga dentro y fuera del carril.  
Fuente: HCM, 2000

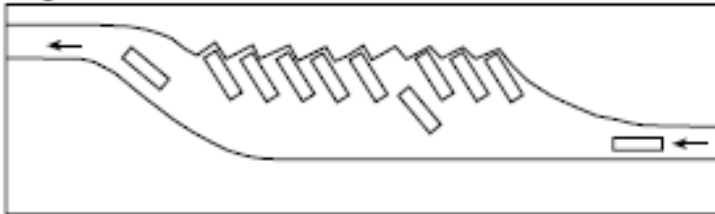
### Linear Berths



### Sawtooth Berths



### Angle Berths



### Drive-Through Berths

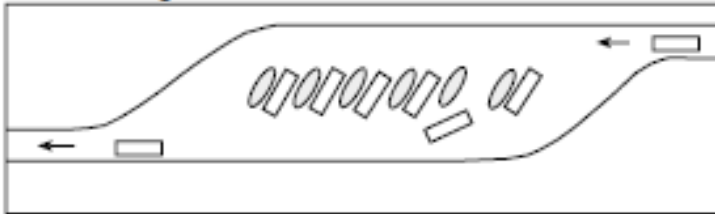


Ilustración 4 Tipos de áreas de carga.  
Fuente: HCM, 2000.



Linear (Miami)



Sawtooth (San Diego)



Drive-through (Copenhagen)



Angle (Newark Airport)

Ilustración 5 Ejemplos de tipos de áreas de carga.

Fuente: HCM (2000)

*The National Transportation Safety Board* recomienda la incorporación de paraderos del tipo dientes de sierra u otros tipos similares proporcionando una separación (bolardos) a través de la vía para evitar que un bus entre en la zona de los peatones ya que los paraderos lineales no son tan eficientes como los otros tipos de paraderos y normalmente son usados cuando los buses lo ocupan por un corto tiempo (HCM, 2000); los paraderos dientes de sierra permiten movimientos independientes dentro y fuera del paradero y comúnmente son usados en los puntos de transferencia; los paraderos angulares requieren que los buses retrocedan y son usados normalmente cuando un bus va a permanecer allí por un largo tiempo (por ejemplo en un terminal de buses intermunicipales); y los paraderos del tipo *drive through* permiten que los buses se localicen en un área compacta y que esperen con sus señales de destino de cara a la dirección en la cual los pasajeros llegan, un ejemplo de esto es la estación de tren, (HCM, 2000).



### **1.2.1 Capacidad del área de carga**

Los principales elementos que determinan la capacidad del área de carga son el tiempo de permanencia, la variabilidad del tiempo de permanencia y el tiempo de despacho (HCM, 2000).

El tiempo de permanencia fue definido en la sección anterior; en cuanto a la variabilidad del tiempo de permanencia, esta reconoce que los buses no paran durante la misma cantidad de tiempo en una parada debido a las fluctuaciones en la demanda de los pasajeros para buses y rutas. El efecto de esta variabilidad en la capacidad del bus se refleja a través del coeficiente de variación del tiempo de permanencia, el cual es la desviación estándar de los tiempos de permanencia esperados, dividido por el promedio del tiempo de permanencia. En las principales observaciones de campo reportadas en varias ciudades de USA, el coeficiente de variación del tiempo de permanencia, normalmente está entre el 40 al 80 por ciento, con 60% sugerido como un valor apropiado en ausencia de datos de campo (HCM, 2000).

El tiempo de despacho se refiere al tiempo durante el cual el área de carga no está disponible para ser usado por el siguiente bus; parte de este tiempo es fijo y consiste en el tiempo necesario para que el bus arranque y recorra su propia longitud, despejando la parada. En el caso de los paraderos lineales, este es el único componente de tiempo de despacho, encontrando en investigaciones, que el tiempo de arranque está entre los 2 y 5 segundos y que el tiempo para que un bus recorra su propia longitud es de aproximadamente 5 a 10 seg dependiendo de la aceleración y las condiciones de tráfico. Otros estudios recomiendan valores entre los 10 y los 15 segundos de tiempo de despacho (HCM, 2000).

### **1.2.2 Parada de bus**

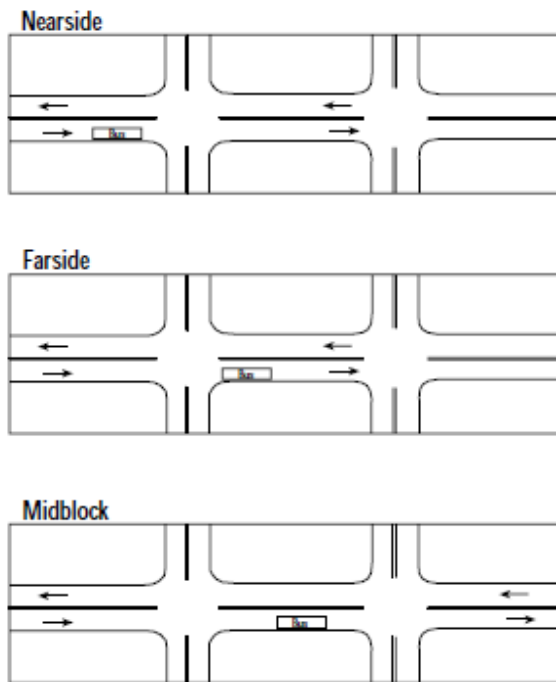
Una parada de bus es un área donde uno o más buses cargan y descargan pasajeros y puede disponer de una o más áreas de carga. La capacidad de las paradas de buses está relacionada con la capacidad de las áreas de carga de la parada, el diseño del área de carga (lineal o no lineal) y el número de estas. Las

paradas no lineales proporcionan una capacidad más grande que las paradas lineales, pero en carriles de tráfico mixto, la velocidad del bus puede ser reducida si tenemos volúmenes que retrasan la salida de los buses de la parada.

Normalmente son localizadas en la acera en una de estas tres posiciones, ver **Ilustración 6:**

- a) Lado cercano, cuando se detiene el bus inmediatamente antes de la intersección
- b) Lado lejano, cuando el bus para inmediatamente después de la intersección
- c) En la mitad, cuando para en medio de las intersecciones.

En algunas ocasiones pueden ser ubicados dentro de una isla interna dentro de la vía, como por ejemplo cuando los buses comparten la parada con tranvías que circulan por el centro de la calle, o cuando los carriles exclusivos para buses están ubicados en el centro de la vía (HCM, 2000).



Source: Morrall and Bolger (4).

Ilustración 6 Ubicación de paraderos.  
Fuente: HCM (2000)

La ubicación de las paradas de bus influye en la capacidad, particularmente cuando los vehículos tienen permitido hacer el giro a la derecha (mayoría de situaciones). Las paradas ubicadas en el lado lejano, tienen el mejor efecto en la capacidad cuando los buses pueden usar un carril adyacente para evitar las filas del giro a la derecha, seguidas por las paradas intermedias y lado cercano (HCM, 2000).

La **Tabla 13** estima la capacidad vehicular en paradas lineales, es importante notar que al incrementar el número de áreas de carga en una parada lineal, se obtiene un efecto de decrecimiento en la capacidad.

**Tabla 13 Capacidad estimada en paradas lineales**

Dwell Time (s)	Capacity (buses/h)									
	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00	g/C 0.50	g/C 1.00
	Number of On-Line Linear Loading Areas									
	1		2		3		4		5	
30	43	63	79	117	105	154	113	167	115	170
60	26	36	48	67	64	89	69	96	70	98
90	19	25	35	47	46	62	49	67	50	69
120	15	20	27	36	36	48	39	52	39	53

**Note:**  
Assumes 15-s clearance time, 25 percent queue probability, and 60 percent coefficient of variation of dwell times. To obtain the vehicle capacity of nonlinear on-line bus stops, multiply the single loading area values by the number of loading areas provided.

Fuente: HCM (2000)

Cuando más de tres áreas de carga son requeridas se deben considerar dientes de sierra u otro diseño no lineal.

### 1.3 Medidas para Optimizar los Tiempos de Permanencia en Parada

#### 1.3.1 Buses de plataforma baja.

Se caracterizan por tener la entrada y salida del bus a la altura del andén, pueden albergar el mismo número de pasajeros que un bus de plataforma alta y usualmente son más livianos. No requieren la construcción de estaciones ni de ningún tipo de infraestructura exclusiva.

Los buses de plataforma alta, al poseer escaleras, no pueden ser utilizados por personas con movilidad reducida, o para que esto sea posible, deben ser adaptados en los vehículos, elevadores que permiten el ingreso de estas personas; la operación de dichos elevadores hace aún más demorado el tiempo de permanencia en parada e incorporarlos en la totalidad de la flota resulta en costos excesivamente altos que terminan afectando la tarifa al usuario, adicional a los costos asociados al mantenimiento. Los buses de piso bajo garantizan el acceso al transporte público colectivo para todas las personas.

Una desventaja de implementar ese tipo de buses, es por ejemplo, la expuesto para el sistema de Transporte Masivo de Cali, METROCALI, el cual, en sus estudios iniciales, analizó la posibilidad de implementar buses de plataforma baja, encontrando como principal restricción las especificaciones del pavimento, requiriendo inversiones muy altas para la adecuación de las vías (Moller, 2005).

Otro mecanismo usado en Europa, que brinda similares beneficios de accesibilidad, se conoce como kneeling o arrodillamiento y consiste en una inclinación lateral del vehículo que sitúa la plataforma baja a nivel del bordillo de la parada. Se activa a petición del usuario y reduce en 6-10 cm adicionales la altura de la plataforma del vehículo. El arrodillamiento puede ser lateral (el vehículo se inclina hacia un solo lado y en su interior se produce una pendiente del 2,5 al 3%, así como un balanceo, lo cual puede considerarse como un leve inconveniente), o bien puede ser integral a ambos lados, lo que evita los inconvenientes anteriores pero alarga el tiempo de actuación y duplica el consumo energético (CTSS, 2009).



Fotografía 1 Ejemplo de kneeling  
Fuente: <http://www.bus-bild.de>

En los documentos analizados en el capítulo No. 1 se encontró que los menores tiempos de ascenso registrados se dan en el estudio de Tirachini, en el que se observa que para buses de plataforma baja en los que no se debe realizar ningún tipo de pago, el tiempo promedio de ascenso es de 1.45 seg/pax, cifra que sustenta uno de los beneficios ocasionados al implementar buses de plataforma baja.

Algunas ciudades que se encuentran en proceso de estructuración de los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP), como Pasto y Sincelejo, han considerado como alternativa para poder mantener la flota actual, disponer de un número reducido de vehículos, aptos para PMR, quienes para hacer uso del servicio, deberán programar la necesidad del mismo. Esta es una alternativa opcional que evita la instalación de elevadores en todos los buses afectando los tiempos de permanencia en parada cuando el servicio requiere ser usado por una PMR.

### 1.3.2 Pago fuera del vehículo – Zonas pagas.

Las zonas pagas son paraderos en los que el usuario paga su pasaje antes de abordar el bus, forman parte de la infraestructura de transporte público y su objetivo es mejorar los tiempos de ascenso y descenso de los pasajeros dado que se ahorra el tiempo invertido en el pago del pasaje, el cual se realiza en puntos de validación existentes en las áreas de carga permitiendo el uso de más de una puerta para subir, por lo tanto más usuarios ascenderán al tiempo, beneficiando a los mismos al disminuir el tiempo total de viaje y en menores costos de operación y/o menores intervalos de los servicios (Gaspar, 2013).



ZONA PAGA BELLAVISTA LA FLORIDA  
FUENTE: ARCHIVO PERSONAL



ZONA PAGA LAS REJAS NORTE  
FUENTE: ARCHIVO PERSONAL

Fotografía 2 Ejemplos zonas pagas.  
Fuente: Coopman del Río.

Para la operación de las zonas pagas, se requiere adecuar un área, debidamente señalizada y monitoreada, con un dispositivo que permita realizar el pago a través de tarjetas inteligentes.

Objetivos que se logran al implementar esta infraestructura:

- Aumentar la velocidad de subida a los buses, la cual es más lenta cuando se hace por una sola puerta.

- Mejora la calidad del espacio público, evitando que se acumulen personas fuera de la parada convirtiéndose en obstáculos para la libre circulación de quienes no van a usar el transporte público.
- Mejorar la calidad de espera de los usuarios.
- Facilita la elaboración de matrices orígenes – destino al conocer el punto geográfico en el que abordan al vehículo los usuarios.

Aspectos negativos:

- Reducción de áreas para los peatones. Esto obliga a que estos espacios sean adecuados en sitios que cuenten con el suficiente ancho para no generar impactos negativos en los demás usuarios del espacio público.
- Necesidad de personal de vigilancia para evitar los problemas de evasión.
- Costo adicional de infraestructura ocasionado por la necesidad de cerramiento del área prepago (Gaspar, 2013).

### **1.3.3 Cultura de carga anticipada de pasajes.**

Cuando los usuarios de los sistemas de transporte no cuentan con saldo suficiente en su tarjeta y lo perciben al momento de acercarse al validador, pueden abandonar el vehículo o solicitar a algún pasajero la venta de un pasaje. Cualquiera que sea la acción tomada por el usuario, esto va a originar un tiempo mayor de permanencia en parada del vehículo.

Para contrarrestar lo anterior se pueden implementar ciertas medidas que facilitan al usuario este proceso de carga de la tarjeta:

- Cantidad adecuada y suficiente de puntos de recarga.

Se conoce que a diario se reciben aproximadamente 700 quejas y reclamos del SITP, de las cuales 228 están relacionadas con el sistema de recaudo, especialmente con la falta de sitios de recarga o puntos fuera de línea.

- Alternativas diferentes de recarga

La recarga habilitada exclusivamente en sitios de comercio restringe las horas en las que se puede realizar dicha actividad. Por lo tanto los usuarios que necesitan cargar con dinero su tarjeta a tempranas y/o tardías horas del día, o aquellos que no dispongan de punto de recarga cercano o disponible, se les dificultará debido al cierre de los establecimientos comerciales.

Algunas opciones para contrarrestar este inconveniente son los dispositivos de recarga que se instalan en sitios de importancia en la ciudad así como la posibilidad de recargar la tarjeta a través de internet.

#### **1.3.4 Buses con puertas anchas.**

En el estudio denominado Efectos del Alto del Andén, Ancho de Puertas, Cobro de Tarifa y Densidad de Pasajeros en la Demora a los Buses en Paradero, resultados de experimentos en laboratorio en el que se realizaron unos ensayos simulando la situación en campo, con el cual se pretendió estudiar que tanto influye en el tiempo de servicio, la altura del andén, el ancho de las puertas, la forma de cobro y la densidad de pasajeros al interior del vehículo, se obtuvo que existe una reducción en el tiempo de subida si la tarifa es cobrada fuera del vehículo, sin embargo se genera un menor efecto si las puertas son angostas, siendo la reducción del 1% al 8% mientras que para puertas anchas la disminución alcanza entre el 10% y el 22%. Adicionalmente se observó que el tiempo de bajada se disminuye en un 40% (Fernández, 2014).

Finalmente, el estudio concluye que el ancho de puertas es una característica más importante que la diferencia de altura entre el andén y la carrocería del bus para reducir los tiempos de subida y bajada por pasajero.



### 1.3.5 Número de paraderos.

La ubicación de paraderos muy seguidos, representa una ventaja para los usuarios, ya que sus tiempos de caminata pueden verse favorecidos al contar con opciones más cercanas a su punto de origen; sin embargo, aumentan el tiempo de viaje ya que los vehículos se detienen mayor número de veces, invirtiendo más tiempo en arranque del vehículo y en la apertura y cierre de puertas; trayendo consigo un mayor consumo de combustible.

Por otro lado, paraderos muy alejados invierten un tiempo de viaje menor en contraste con el caso anterior, pero aumentan los tiempos de caminata de los usuarios generando malestar e inconformidad con el servicio (TRIMET, 2010).

De acuerdo a lo anterior, es importante encontrar un equilibrio entre el número de paradas a implementar en un sistema de rutas, de tal forma que el usuario no se vea afectado.

Cada parada tiene un radio correspondiente a la longitud que los usuarios estarían dispuestos a caminar:

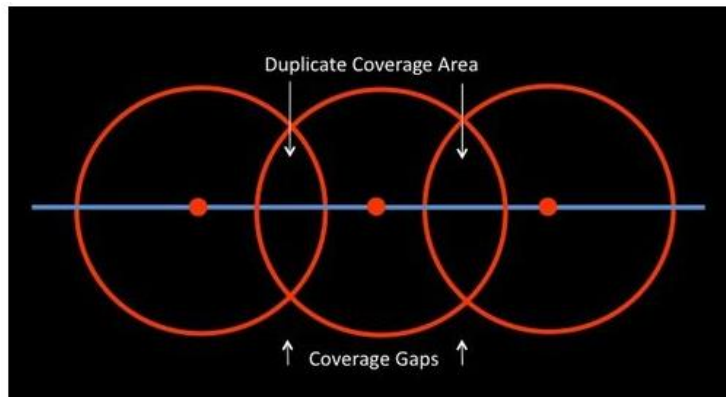


Ilustración 7 Separación de paradas.  
Fuente: TRIMET (2010)

Esta separación se suele determinar dependiendo de los tipos de desarrollo presente en el sector. El *Transportation Research board* sugiere que además de considerar el número de líneas de autobuses, las intersecciones existentes con paso seguro para peatones, las alternativas de espacio disponible y la seguridad, se debe tener en cuenta el desarrollo propio del sector de la siguiente manera (TCRP, 1996):

- Áreas densas: 41 o más personas por acre\* (centros regionales, centro de la ciudad, calles principales): paraderos distanciados 3 calles o 240 metros aproximadamente.
  
- Mediana densidad: 8 a 41 personas por acre\*: paraderos distanciados cada 4 cuadras o 304 metros.
  
- Baja densidad – rural: Menos de 8 personas: según sea necesario.

\* 1 acre = 4046.86 m<sup>2</sup>

Sin embargo, todo dependerá de los factores mencionados y de la cultura que se desarrolle en los usuarios de caminar hasta la parada, por ejemplo, en Australia y la mayor parte de Europa, los paraderos están distanciados aproximadamente 400 m. (TRIMET, 2010).

## 1.4 Otras Medidas Para Optimizar Tiempos de Viaje

### 1.4.1 Ubicación de los paraderos.

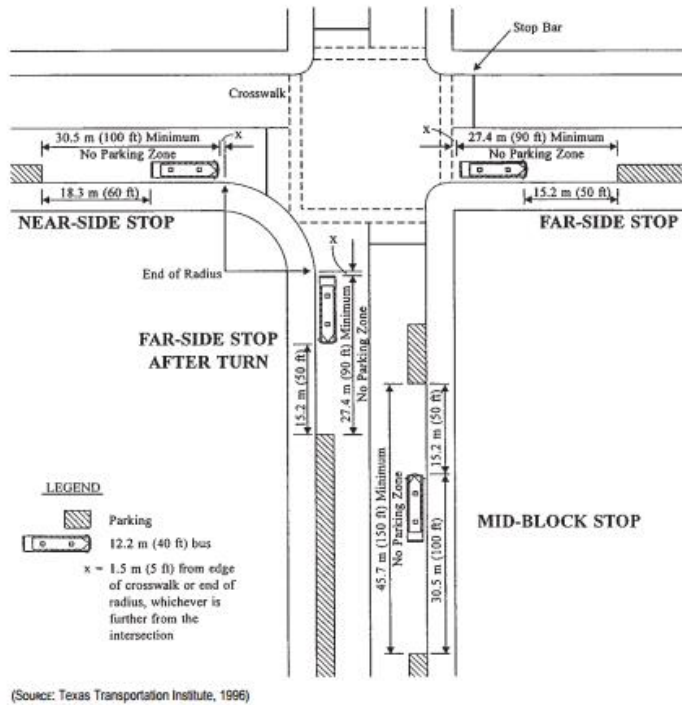


Figure 5-9. Curbside bus stops.

Ilustración 8 Ubicación de paraderos.

Fuente: Transportation Research Board. (2003).

- **Ubicación antes de la intersección (lado cercano):** Ayuda a un mejor ingreso de los buses al tráfico en general y presenta una menor interferencia en la intersección cuando un bus quiere virar. El problema se da por la obstrucción de visibilidad a los automovilistas cuando se produce el viraje (izquierda o derecha) de los buses.

Su uso es preferible cuando los flujos de autobuses son altos y las condiciones de tráfico no son críticas. Desde el punto de vista del operador,

las paradas en el lado cercano hacen que sea más fácil reintegrarse al tráfico, particularmente cuando el estacionamiento en el bordillo (acera) está permitido.

- **Ubicación después de la intersección (lado lejano):** esta disposición permite evitar conflictos con otros buses y el resto del tráfico al disminuir los problemas de visibilidad que acarrearía el paradero antes de la intersección. Se pueden formar colas cuando el volumen de buses es muy alto.

Son preferibles cuando existe carril exclusivo para el uso de los buses, cuando está prohibido el estacionamiento y cuando los autobuses tienen prioridad en los semáforos.

- **Ubicación de paraderos a mitad de cuadra:** usados en áreas céntricas de gran actividad, donde existen colegios, hospitales y centro comerciales, y en los que convergen muchas líneas de autobuses. La ventaja es la mínima interferencia con las intersecciones. La desventaja es la necesidad de colocar semáforos peatonales cuando hay un gran número de peatones que quieren cruzar.

No son muy comunes en la práctica y se limitan generalmente a las áreas del centro donde múltiples rutas requieren largas áreas de carga posiblemente extendiéndose por toda la cuadra. Considerando que es posible la necesidad de hacer transferencias con rutas que vayan por la calle transversal son preferibles los anteriores dos tipos de parada ya que minimizan el tiempo de caminata (TCRP, 2003).

A continuación se presenta un cuadro resumen con las ventajas y desventajas de cada una de las anteriores ubicaciones. La decisión por lo tanto dependerá de las características del tráfico así como de la zona:

**Tabla 14 Ventajas y desventajas de ubicaciones de paraderos**

Ubicación	Ventajas	Desventajas
Parada en el lado lejano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye los problemas entre los vehículos que cruzan a la derecha y los buses.</li> <li>• Facilita la capacidad para girar a la derecha al dejar el carril de la acera a disposición del tráfico.</li> <li>• Minimiza los problemas de campo visual cerca de una intersección.</li> <li>• Motiva a los peatones a cruzar por detrás del bus.</li> <li>• Hace que la distancia que los buses utilizan para disminuir la velocidad sea menor ya que estos usan la intersección para esto.</li> <li>• Permite a los conductores de bus aprovechar los espacios que aparecen en el tráfico en las intersecciones señalizadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los buses estacionados pueden provocar el bloqueo de las intersecciones durante las horas 'pico'.</li> <li>• A los vehículos que cruzan les puede ocultar el campo visual.</li> <li>• Puede aumentar los problemas de campo visual en los peatones.</li> <li>• Puede hacer que el bus se detenga en la parada después de haber parado en un semáforo en rojo, lo que interferiría con las operaciones del bus y con el tráfico en general.</li> <li>• Puede aumentar el número de colisiones ya que los conductores no esperarían que un bus se detuviera otra vez después de haberse detenido en un semáforo en rojo.</li> <li>• Puede causar colas/filas de vehículos en medio de la intersección por culpa de un bus detenido en medio del tráfico.</li> </ul>
Parada en el lado cercano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye las interferencias cuando el tráfico es pesado en el lado lejano de la intersección.</li> <li>• Permite a los peatones acceder a los buses más cerca de la cebra.</li> <li>• Hace que el ancho de la intersección esté a disposición del conductor en el momento de arrancar desde la acera.</li> <li>• Elimina la posibilidad de doble parada.</li> <li>• Le permite a los pasajeros abordar y descender del bus mientras este está en un semáforo en rojo.</li> <li>• Le da al chofer de bus la posibilidad de visualizar los vehículos que vienen en sentido contrario así como otros buses con posibles pasajeros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay más riesgo con los vehículos que giran a la derecha.</li> <li>• Los buses detenidos pueden tapar los dispositivos de control de tráfico y no dejar visualizar a los peatones que cruzan la carretera.</li> <li>• Para los vehículos parados a la derecha del bus, que van a cruzar, el campo visual puede ser tapado.</li> <li>• El carril puede ser bloqueado por una fila de buses durante las horas pico.</li> <li>• Aumenta los problemas de campo visual para los peatones que quieren cruzar.</li> </ul>
Parada situada a mitad de cuadra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye los problemas de campo visual para los vehículos y los peatones.</li> <li>• Puede hacer que las zonas de espera de los pasajeros no se congestionen por culpa de los peatones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una distancia adicional para las prohibiciones de parqueo.</li> <li>• Impulsa a los pasajeros a cruzar la calle por el medio de la cuadra.</li> <li>• Incrementa la distancia de caminata para los pasajeros que cruzan en la intersección.</li> </ul>

Fuente: Transportation Research Board. (2003).

### **1.4.2 Carriles preferenciales.**

Los carriles de autobús exclusivos pueden reducir significativamente la incidencia de choques que involucran autobuses; para el BRT de Guadalajara, el carril exclusivo transporta 30% más de pasajeros y tiene 90% menos accidentalidad que los ocurridos en los carriles mixtos (EMBARQ, 2012).

A continuación se exponen los resultados de la investigación denominada Comparación de la Interacción Vehicular Inducida por el Empleo de Carriles Preferenciales para el Transporte Público Utilizando Microsimulación de Tráfico (Ramírez, 2012):

Hipótesis:

1. La implementación de carriles preferenciales para autobuses en Santiago de Querétaro, considerando el flujo vehicular actual, inducirá ahorros en tiempo y combustible en el transporte público en las viabilidades que serán objeto de estudio.

Hipótesis particulares:

El carril preferencial de autobuses ocasionará aumento en la velocidad de recorrido para el transporte público en los sectores de estudio.

Un carril segregado para autobuses públicos considerando las características de las unidades y su frecuencia de paso, inducirá la formación de convoyes.

Metodología usada:

Elaboración de un modelo de microsimulación de tráfico con el software AIMSUN.

- Datos de entrada:

Geometría de la viabilidad

Controles de tráfico

Demandas

Transporte público

Velocidades

Características de los vehículos (incluye emisiones contaminantes)

Características de los conductores

Matriz origen destino

- Elección de las vías a estudiar (2) de acuerdo a las restricciones para un carril preferencial.

**Resultados:**

Una vez realizada la microsimulación con el escenario actual y los escenarios con carril preferencial se concluyó que la hipótesis general es verdadera ya que se evidenciaron ahorros de tiempo y reducción en el consumo de combustible para el transporte público.

En cuanto a las hipótesis particulares, la primera es verdadera ya que se evidenció un incremento en la velocidad de recorrido para el transporte público. La segunda hipótesis es verdadera solo que para determinado periodo.

Tabla 15 Resultados de velocidad

Medio de transporte	Parámetro medido	Valor actual (los vehículos no respetan señales de no estacionamiento y no existe camil reservado).	Escenario uno: los vehículos no respetan la señal de no estacionamiento y existe camil reservado.	Escenario dos: los vehículos respetan señales de no estacionamiento y existe camil reservado.	Escenario tres: los vehículos respetan zonas de no estacionamiento y no existe camil reservado.	Diferencia actual vs escenario uno	Diferencia actual vs escenario dos	Diferencia actual vs escenario tres	Unidad
Parámetros de interacción vehicular del escenario actual e hipotéticos en Tecnológico									
Ligeros	Velocidad	31.885	30.348	35.209	34.606	-1.537	3.324	2.721	Km/h
Autobús		28.520	29.772	31.646	31.138	1.252	3.126	2.618	
Ligeros	Tiempo total de viaje	28.418	29.738	25.908	28.849	1.320	-2.510	0.430	h
Autobús		8.795	9.234	8.684	9.263	0.438	-0.111	0.468	
Ligeros	Consumo de combustible	1.020	1.070	0.935	1.018	0.050	-0.085	-0.002	L/min
Autobús		0.250	0.250	0.230	0.250	0.000	-0.020	0.000	

Fuente: Ramírez (2012)



**Tabla 16 Resultados de emisiones contaminantes**

Emisiones contaminantes									
Ligeros	Monóxido de carbono (CO)	0.180	0.195	0.168	0.180	0.015	-0.013	0.000	Kg/min
Autobús		0.060	0.060	0.050	0.060	0.000	-0.010	0.000	
Ligeros	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	2.705	2.833	2.508	2.698	0.128	-0.198	-0.008	Kg/min
Autobús		3.980	3.700	3.440	3.820	-0.280	-0.540	-0.160	
Ligeros	Óxidos de nitrógeno (Nox)	0.095	0.100	0.090	0.095	0.005	-0.005	0.000	Kg/h
Autobús		1.760	1.740	1.640	1.750	-0.020	-0.120	-0.010	
Ligeros	Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	0.445	0.473	0.400	0.450	0.027	-0.045	0.005	Kg/h
Autobús		0.130	0.130	0.130	0.130	0.000	0.000	0.000	
Parámetros de interacción vehicular del escenario actual e hipotéticos en Ezequiel montes									
Ligeros	Velocidad	19.630	15.941	21.578	22.425	-3.689	1.948	2.795	Km/h
Autobús		20.183	23.663	25.193	21.270	3.480	5.010	1.087	
Ligeros	Tiempo total de viaje	28.367	31.638	23.847	22.310	3.270	-4.520	-6.057	h
Autobús		10.710	7.975	7.422	8.940	-2.736	-3.288	-1.770	
Ligeros	Consumo de combustible	1.003	0.900	0.868	0.805	-0.103	-0.135	-0.198	L/min
Autobús		0.280	0.190	0.160	0.220	-0.090	-0.120	-0.060	
Emisiones contaminantes									
Ligeros	Monóxido de carbono (CO)	0.193	0.185	0.158	0.145	-0.008	-0.035	-0.048	Kg/min
Autobús		0.070	0.050	0.040	0.060	-0.020	-0.030	-0.010	
Ligeros	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	2.740	2.330	2.515	2.423	-0.410	-0.225	-0.318	Kg/min
Autobús		3.740	2.900	2.860	3.650	-0.840	-0.880	-0.090	
Ligeros	Óxidos de nitrógeno (Nox)	0.098	0.093	0.088	0.080	-0.005	-0.010	-0.018	Kg/h
Autobús		1.780	1.420	1.390	1.660	-0.360	-0.390	-0.120	
Ligeros	Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	0.445	0.533	0.370	0.345	0.088	-0.075	-0.100	Kg/h
Autobús		0.130	0.110	0.110	0.130	-0.020	-0.020	0.000	

Fuente: Ramírez (2012).

### 1.4.3 Semaforización automatizada.

Los semáforos deben estar programados en función de los vehículos de servicio público y no del vehículo particular como sucede actualmente. La semaforización automatizada se basa en el trato preferencial que se da a los buses, por ejemplo, extendiendo la duración del semáforo en verde cuando detecta la presencia de estos vehículos (Jiménez, 2011).

**Objetivos:**

- Tiempos de ciclos más cortos
- Razones de verde más altas
- Mayor predicción de la espera para el usuario
- Mejora en los tiempos de viaje
- Maximización de la eficiencia de los volúmenes de tráfico por carretera
- Información en tiempo real del tráfico y gestión de flota de autobuses
- Activación del uso de transporte público y el fomento del sistema de transporte público.

La necesidad de semaforización prioritaria para el servicio público nace de la pérdida de tiempo de los vehículos en las intersecciones, afectando principalmente a los usuarios, pues si bien es cierto que existen más vehículos particulares, es importante considerar que los buses del transporte colectivo movilizan mayor número de personas (SEDU y NTU, 2002).

Este trato prioritario se puede dar a través de dos formas: i) sistemas pasivos, los cuales son ajustados manualmente para determinar los mejores beneficios al transporte público y minimizar los efectos en los otros vehículos, por ejemplo la ola verde, en la cual semáforos próximos pueden ser sincronizados de tal forma que se mantenga un flujo de tráfico continuo, sin interrupción a una determinada velocidad, o ii) sistemas activos los cuales ajustan la señal al tiempo que detectan la llegada del bus. Estos sistemas activos consisten en el uso de dispositivos automáticos de detección de vehículos de transporte público en las intersecciones, permitiéndole el paso si cumplen con los criterios de priorización que han sido previamente parametrizados (SEDU y NTU, 2002).

**Acciones que se ejecutan:**

- Extensión verde: Ampliación del tiempo del verde en un determinado ciclo semafórico para permitir el paso de un vehículo detectado.
- Interrupción del rojo: el rojo se interrumpe tan pronto se detecta la aproximación de un vehículo con prioridad.

- Compensación: una compensación en la fase verde para un movimiento no prioritario en función de las prioridades dadas a los otros vehículos anteriormente.
- Supresión de fases: Una o más fases de los movimientos de baja demanda pueden ser suprimidas en un cierto ciclo para dar prioridad a cierto movimiento o vehículo.

Dependiendo de las características del tráfico, la prioridad dada al transporte público puede ser condicionada, con limitaciones como: tiempo transcurrido desde la última prioridad, limitación del tiempo de extensión de la fase, longitud de cola, etcétera o incondicional cuando se da prioridad independiente de cualquier variable; el control de las intersecciones puede ser de semiactuación o de actuación total:

- Control semiaccionado

Se usa en intersecciones en que una vía tiene mayor jerarquía a la otra. Los detectores se ubican en la vía de menor jerarquía y el semáforo da paso a los vehículos siempre y cuando en la vía de mayor jerarquía se haya producido una detección y se haya agotado el tiempo mínimo de verde.

- Control accionado

Este control es más flexible y se adapta a las fluctuaciones del tránsito pudiendo suprimir fases donde no haya demanda de movimiento (Jiménez, 2011).

Elementos necesarios:

- Sensores: son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, etcétera.
- Controlador de semáforos: es un aparato electrónico que regula el tráfico de vehículos en las intersecciones de camino, cambiando los patrones

de luz que se muestran en un semáforo de acuerdo a una programación de tiempos y secuencias.

El semáforo consistirá en la combinación de los componentes ya explicados anteriormente así: al controlador se le programará de tal manera que reaccione de acuerdo a las señales que le manden los sensores (de presencia, proximidad, visión artificial), estos sensores detectarán la presencia de carros que están esperando de un lado y del otro, mandándole la señal al controlador para que cambie de luz verde a roja o viceversa, dando los tiempos de acuerdo al número de carros que estén esperando en la intersección, así dará prioridad dándoles más tiempo de luz verde donde esté el mayor número de carros esperando; a su vez los semáforos estarán conectados entre sí por medio de una máquina que procesará la información enviada por los sensores, previendo a los demás controladores de semáforos para que sepan que viene un gran número o un número pequeño de vehículos (Granich).

**Aspectos a considerar (SEDU y NTU, 2002):**

- Cuanto mayor sea el volumen de tráfico que cruza los corredores, mayores restricciones deben imponerse sobre los procedimientos de priorización ya que en estos casos los impactos sobre el tráfico en general son más altos.
- Volúmenes muy elevados de transporte público en los corredores dificultan la adopción de este tipo de medidas, ya que la elevada frecuencia de requisitos/solicitudes de priorización puede inviabilizar el tráfico en inmediaciones de las intersecciones en el caso de prioridad incondicional. En el caso de prioridad condicional, los límites impuestos pueden significar en la práctica, operar con tiempos fijos, tornando la medida ineficiente. Por ejemplo, una adopción del límite de tiempo verde adicional en corredores pesados, puede significar un funcionamiento convencional con tiempo de ciclo fijo y porcentaje de verde mayor para los movimientos priorizados, ya que la cantidad de vehículos es tan grande que en la práctica, la extensión del verde representa un aumento constante en la fase verde para el movimiento de estos vehículos.

Una alternativa interesante en este caso es la adopción de prioridad selectiva, es decir, se da prioridad únicamente a los vehículos que cumplan ciertas condiciones, por ejemplo a vehículos atrasados o para líneas más cargadas o especiales para dar más confort a los pasajeros. Es importante considerar que cuanto más complejo sea el sistema de detección, identificación y selección de vehículos más cara será su implementación y requerirá más estudios de viabilidad.

- El volumen bajo de vehículos públicos constituye una situación muy favorable para estas medidas, en este caso los beneficios son grandes porque la interferencia transversal reduce en gran medida los efectos negativos de esta medida sobre el tráfico no priorizado volviéndolos casi nulos.

Un estudio realizado en la universidad de ingeniería de Florida indica las siguientes estrategias de señalización con prioridad automática en función del nivel de saturación de las intersecciones:

**Tabla 17 Estrategias de señalización con prioridad automática**

Nível de Saturação ( v/ c )	Estratégia recomendada
< 0,25	Prioridade ilimitada
Entre 0,25 e 0,8	Prioridade com limites
Entre 0,8 e 1,0	Limitação em 10 s o tempo de verde estendido
1,0	Prioridade por não ter efetividade

Fuente: SEDU y NTU, (2002)

## Capítulo 2.

### Servicio Público de Transporte Colectivo de Pasajeros de Bogotá

El transporte público es una herramienta fundamental para solucionar los problemas de transporte urbano que enfrenta una ciudad debido al número de pasajeros que transporta siendo más eficiente que el transporte privado. El porcentaje de personas que por diferentes motivos se movilizan en este medio es bastante mayor al que opta por el privado para el caso de Bogotá estamos hablando del 60% de los viajes (motorizados) de los cuales el 41% lo atiende el transporte público y el 18% Transmilenio (el 1% restante le corresponden al intermunicipal), (Bogotá Cómo Vamos, 2014).

Cabe resaltar que el anterior porcentaje ha ido en disminución debido a la creciente adquisición de vehículos particulares, especialmente las motos, las cuales en 5 años, aumentaron en un 104%; lo anterior debido entre otras cosas, a que los usuarios de estas se sienten más conformes con las velocidades alcanzadas con estas e inconformes con las velocidades del sistema de transporte público, que en el último año pasó de 20km/h a 17km/h, (Bogotá Cómo Vamos, 2014).

De acuerdo al Plan Maestro de Movilidad de Bogotá, esta reducción se debe a los congestionamientos viales ocasionados por el aumento del parque automotor y por la sobreoferta del transporte colectivo.

#### 2.1 Transporte Público Colectivo de Bogotá

Está conformado por buses, microbuses y busetas y para el año 2011 era el encargado de cubrir el 27% de los viajes de la ciudad (Bogotá Cómo Vamos, 2014).

Su operación partía desde la adjudicación de rutas que realizaba el distrito a empresas privadas afiliadoras, las cuales alquilaban a propietarios de vehículos de transporte público el derecho a operar dichas rutas, de acuerdo a los lineamientos que la empresa y en menor medida el Distrito establecieran. Dentro de sus principales características podemos encontrar que el usuario realiza su pago en efectivo y el sistema no cuenta con paraderos específicos.

Este modelo de transporte dio origen a una serie de problemáticas (PMM, 2006):

- Condiciones de sobreoferta que generan mayor congestión, desgaste del pavimento y accidentalidad.
- Insostenibilidad financiera.
- Baja ocupación en horas de baja demanda
- Recorridos de rutas largos
- Oferta ilegal de transporte
- Vehículos obsoletos (edad y diseño)
- La mayoría de las empresas no son propietarias de los vehículos sino ganan por la afiliación.
- El sistema de recaudo es ineficiente y genera la guerra del centavo.
- Los paraderos no cuentan con las características técnicas adecuadas.

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que el transporte público colectivo –TPC- no ofrecía un servicio de calidad a la ciudadanía de Bogotá, el Distrito a través del Plan de Movilidad definió al transporte público como eje estructurador de la movilidad de Bogotá para lo cual se requería de lo siguiente (PMM, 2006):

- Integrar el transporte masivo con el colectivo, físicamente, operacional y tarifariamente.
- Terminar la sobreoferta de transporte público
- Adoptar un sistema centralizado de recaudo
- Modernizar parque vehicular
- Privilegiar el transporte público
- Integrar el transporte motorizado con el no motorizado

Lo anterior con el fin de obtener:

- Disminución de la congestión vial
- Disminución de los tiempos de viaje
- Reducción de costos
- Mejora de seguridad vial
- Mejora de accesibilidad
- Mejora en la imagen

- Tarifa acorde a la calidad del servicio
- Beneficios ambientales

Para esto se definieron los indicadores a través de los cuales se mediría el nivel de servicio del sistema de transporte propuesto:

- Disponibilidad (Accesibilidad y frecuencia del servicio)
- Tiempo total de viaje
- Confiabilidad (Tiempo de espera)
- Conveniencia
- Tarifa
- Comodidad y seguridad

Siendo el tiempo de viaje y la tarifa, los factores más importantes para el usuario.

## **2.2 Sistema Integrado De Transporte Público de Bogotá<sup>2</sup>**

Fue implementado en junio del 2012 y opera en simultáneo con rutas del transporte público colectivo, las cuales se han ido reduciendo de manera gradual. Se diferencia del TPC por:

- Sistema y tarifa integrada con Transmilenio
- Las empresas se transformaron de afiliadoras a operadoras
- La vida útil de la flota se disminuye a 12 años
- Medio de pago a través de tarjeta inteligente sin contacto
- Paraderos definidos y ubicados en diferentes puntos de la ciudad
- Nuevo esquema de rutas:

### Servicio Troncal

Sirve para movilizarse en las redes troncales de Bogotá. Usan dos tipos de vehículos, los articulados y los biarticulados. Transitan por carriles exclusivos y el pago se realiza en las estaciones con tarjeta inteligente.

---

<sup>2</sup> Información disponible en: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)



## Servicio Alimentador

Ayuda a movilizarse desde y hacia las zonas aledañas a los portales y estaciones intermedias del sistema Transmilenio.

## Servicio urbano

Transita por las principales vías de la ciudad a través de carriles mixtos, conectando los paraderos de las rutas establecidas y el pago se realiza en los vehículos con tarjeta inteligente.

Las siguientes son las tipologías de vehículos usadas en el servicio urbano:

### Bus de 80 pasajeros:

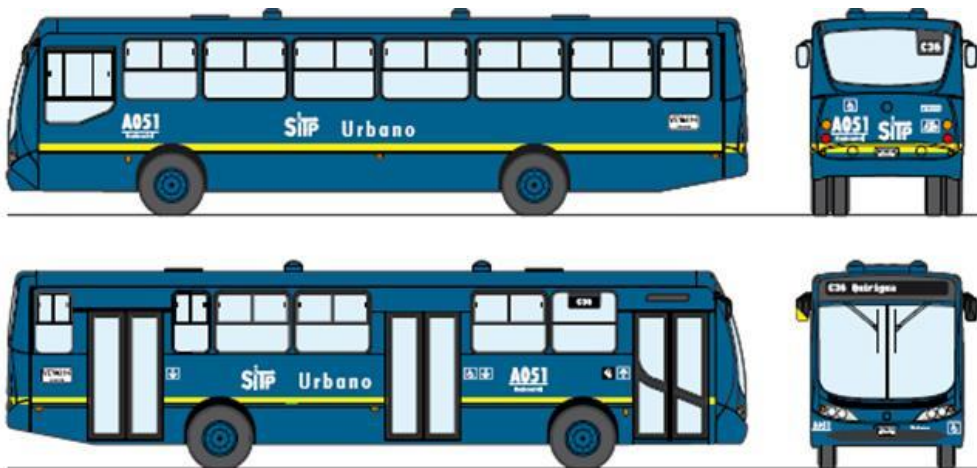


Ilustración 9 Bus de 80 pax servicio urbano.

Fuente: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)

No. De puertas: Tres

Ascenso: Puerta delantera

Descenso: Puerta del medio y trasera

Pago: Al interior del vehículo a través de TISC

Plataforma: Alta

### Busetón 50 pasajeros:



Ilustración 10 Busetón servicio urbano.

Fuente: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)

No. De puertas: Dos

Ascenso: Puerta delantera

Descenso: Puerta trasera

Pago: Al interior del vehículo a través de TISC

Plataforma: Alta

## Microbús: 19 pasajeros

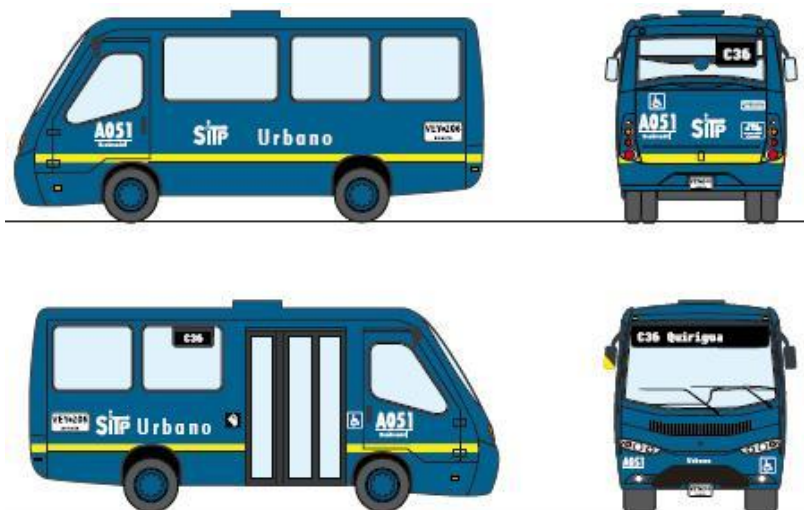


Ilustración 11 microbús servicio urbano.

Fuente: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)

No. de puertas: Una

Ascenso: Puerta delantera

Descenso: Puerta delantera

Pago: Al interior del vehículo a través de TISC

Plataforma: Alta

### Servicio complementario

A diferencia del servicio urbano que conecta varias zonas, el complementario transita solo por una. Su principal función es acercar a las estaciones o paradas.

Los tipos de vehículos usados en este servicio son el bus y el Busetón:

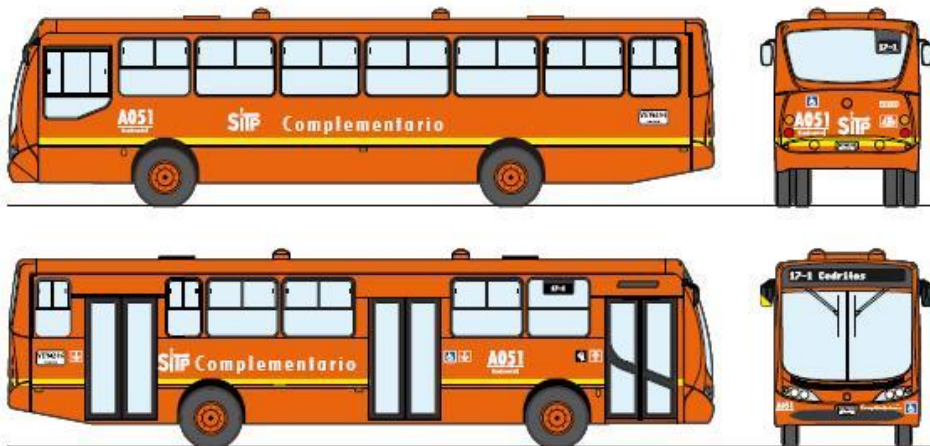


Ilustración 12 Bus de 80 pax servicio complementario.  
 Fuente: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)



Ilustración 13 Busetón servicio complementario.  
 Fuente: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)

**Servicio especial**

Transita desde y hacia las zonas periféricas de la ciudad. El pago se realiza en los vehículos con tarjeta inteligente.

El tipo de vehículo usado en este servicio es el microbús.



Ilustración 14 microbús servicio especial.

Fuente: [http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion\\_general\\_pub](http://www.sitp.gov.co/publicaciones/informacion_general_pub)

### Implementación del sistema

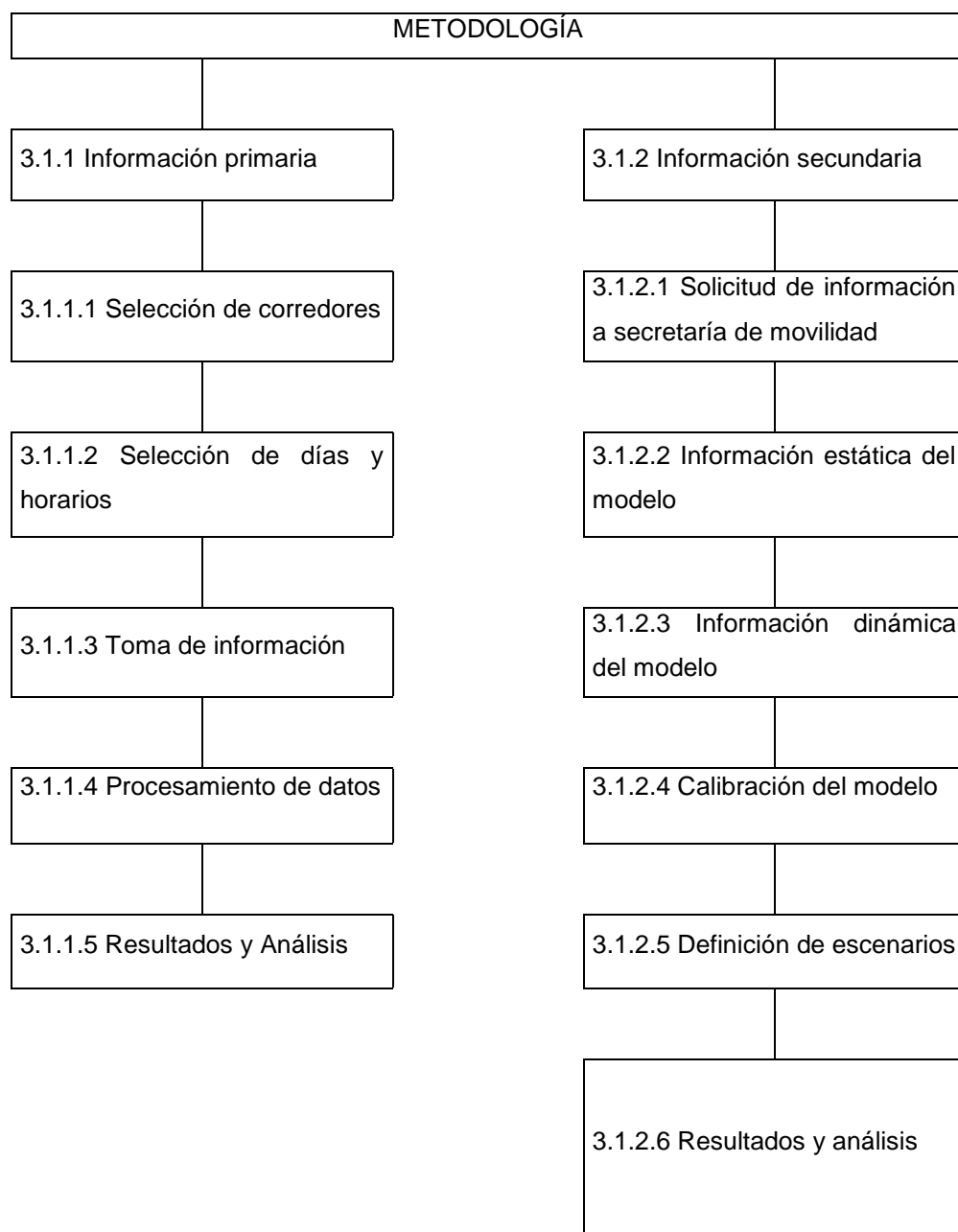
Al 30 de junio de 2015, el SITP llevaba una implementación del 82%, es decir, el tránsito de 9304 vehículos de los cuales 6174 pertenecen al servicio urbano, los cuales atienden un total de 228 rutas.

La meta del SITP es atender 343 rutas con 9715 vehículos destinados a esto.

## Capítulo 3.

### Caso de estudio: Cambios de Tiempo de Permanencia en Parada en los Sistemas de Transporte Público Colectivo en Bogotá

#### 3.1 Metodología



### **3.1.1 Información primaria.**

#### **3.1.1.1 Selección de corredores viales.**

Se solicitó información a funcionarios de Transmilenio, sobre los corredores en los cuales para la fecha de la toma de información (abril de 2014) circulaba un mayor número de buses del SITP, informándonos que dichos corredores correspondían a la CI 72 entre AK 68 y Av. Boyacá y la CI 19 con Av. Caracas; por temas de seguridad se seleccionó el primer corredor.

Para el TPC, se establecieron tres corredores en los cuales para la fecha de toma de información (mayo de 2014) no circularan buses del SITP: i) el primero inicia en la calle 183 con Kr 16, en el norte de la ciudad y al llegar a la 100 se desvía por esta, ii) el segundo inicia en el mismo punto pero continua por la kr 7 y iii) finalmente uno en el centro de la ciudad en la cl 19 con Kr 10. Lo anterior para evitar que la operación del SITP afectara el funcionamiento de los vehículos del TPC.

La anterior información se encuentra representada en la Ilustración 15, Ilustración 16, Ilustración 17 e Ilustración 18.

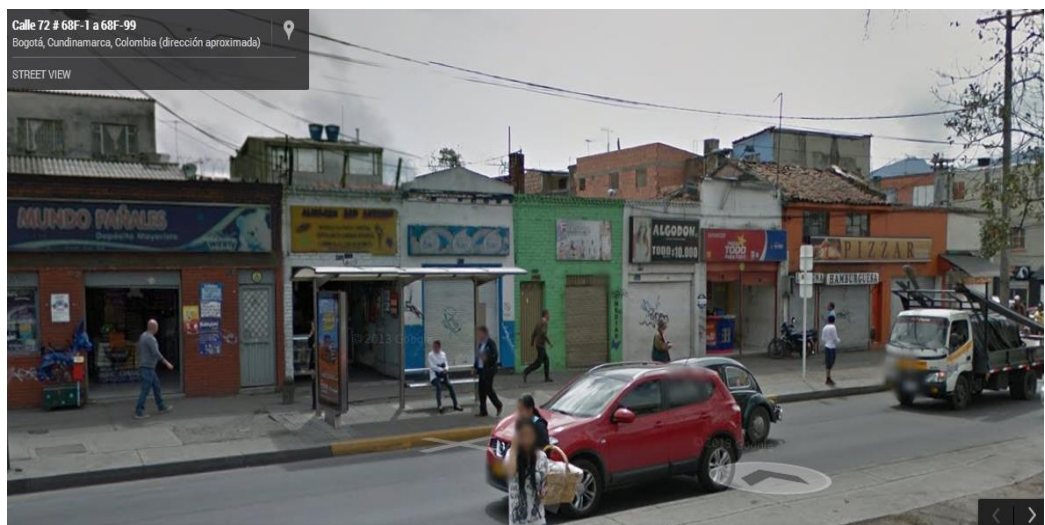




Ilustración 15 Fragmento de ruta del SITP analizado.

Fuente: Elaboración propia a través de Google Maps

- Paradero AC 72 X Kr 68G

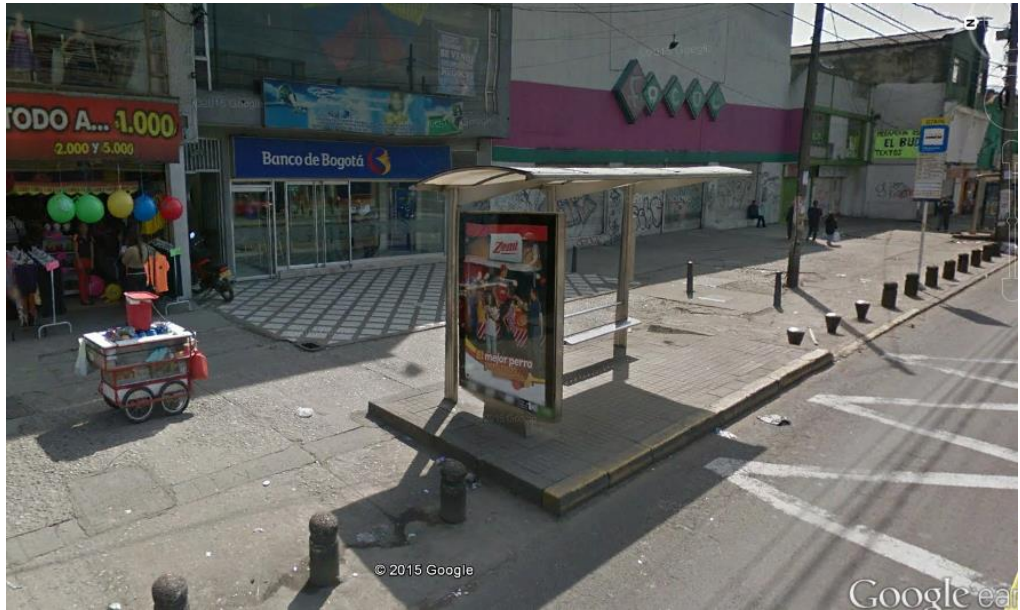


Fotografía 3 Paradero AC 72 con Kr 68.

Fuente: Google Maps



- Parada AC 72 X Kr 68H



Fotografía 4 Paradero AC 72 con Kr 69B BIS.  
Fuente: Google Maps

- Paradero AC 72 X Kr 69P



Fotografía 5 Paradero AC 72 con Kr 69P.  
Fuente: Google Maps

- Parada AC 72 X Kr 70F



Fotografía 6 Paradero AC 72 con Kr 70F.  
Fuente: Google Maps

- Parada AC 72 X Kr 75



Fotografía 7 Paradero AC 72 con Kr 75.  
Fuente: Google Maps

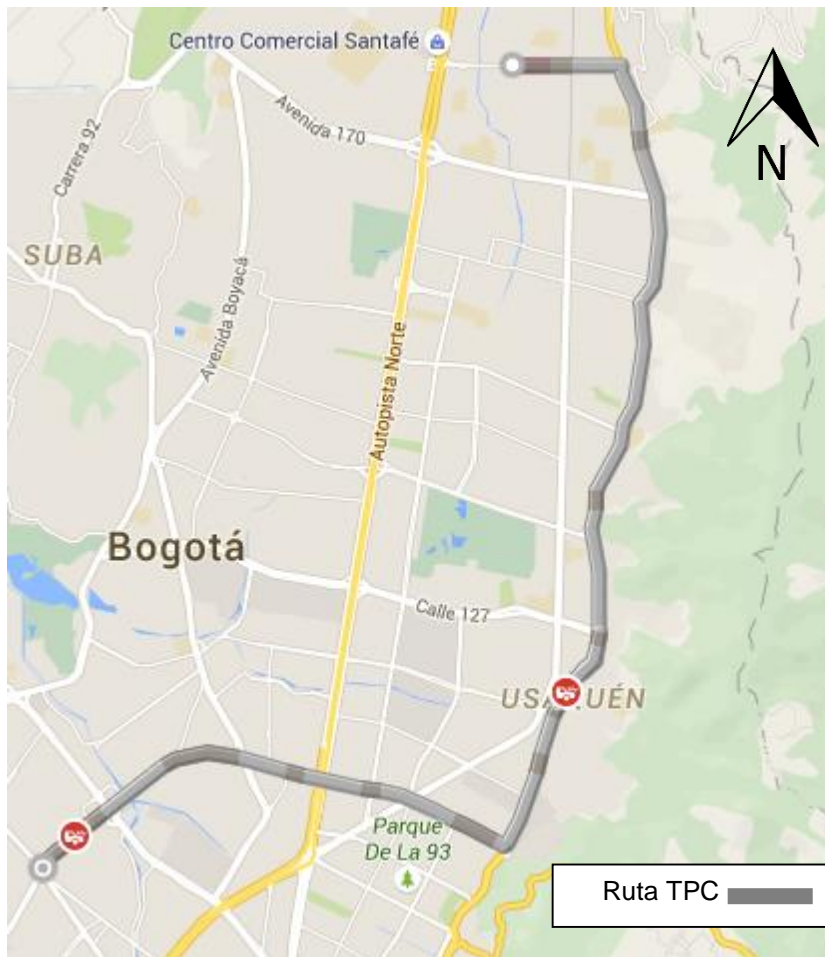


Ilustración 16 Ruta TPC No. 1.  
Fuente: Google Maps



Ilustración 17 Ruta TPC No. 2.  
Fuente: Google Maps



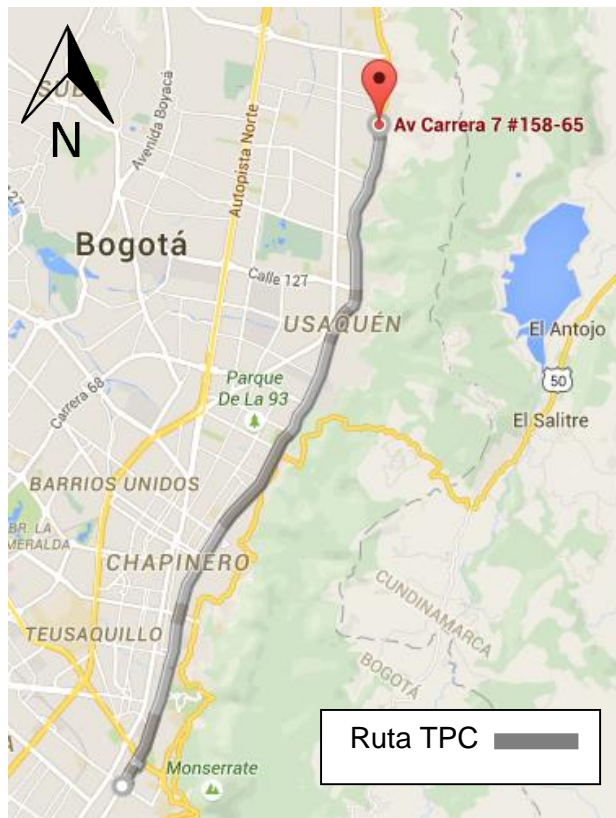


Ilustración 18 Ruta TPC No. 3.  
Fuente: Google Maps

### 3.1.1.2 *Días y horarios.*

Se realizaron las mediciones en días típicos de la semana (martes, miércoles y jueves), realizándose las tomas de información para el SITP, los días 8, 9, 10, 22 y 23 de abril del 2014; en cada uno de estos días se filmó la operación en un paradero durante una hora tanto en la jornada de la mañana como en la jornada de la tarde. Para el TPC se tomó la información los días 20, 21 y 22 de mayo de 2014, filmando una ruta por día durante una hora en cada jornada.

Las horas de toma de información se encuentran en el periodo pico de la ciudad de Bogotá. En la mañana se realizaron las mediciones desde las 06:00 a.m. hasta las 07:00 a.m. y en la tarde desde las 06:00 p.m. hasta las 07:00 p.m, tanto para el SITP como para el TPC.

### 3.1.1.3 Toma de información.



Fotografía 8 Toma de información en paradero 1 (Kr 68G).  
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 2 Toma de información en paradero 2 (Kr 69B).  
Fuente: Elaboración propia

- SITP

Se ubicó una cámara desde un punto estratégico de la parada, de tal forma que se pudiera captar en la imagen la totalidad del bus y por lo tanto las personas que ascendieran y descendieran.

- TPC

Considerando que en el TPC los paraderos existentes no son respetados y en gran número de ocasiones los vehículos realizan sus paradas en medio de la calzada, se determinó que el método anterior no resultaba viable para los vehículos del TPC, por lo tanto, las filmaciones de ascensos y descensos se realizaron al interior del bus. El camarógrafo, se ubicó durante la primera media hora del recorrido en la silla delantera de tal forma que pudiera captar los ascensos de los usuarios, siendo esta franja de tiempo durante la cual el vehículo se llena totalmente; una vez pasada esta media hora, el vehículo empieza a desocuparse, por lo que el camarógrafo se traslada a la parte trasera del vehículo para grabar los descensos.

#### **3.1.1.4 *Procesamiento de datos.***

Se procesó la información tomada en campo identificando de los videos filmados:

- Minuto en el que el vehículo se detuvo
- Tipo de bus
- Número de personas que suben
- Número de personas que bajan
- Minuto en que la puerta delantera abrió
- Minuto en que la puerta del medio abrió
- Minuto en que la puerta trasera abrió
- Minuto en que terminaron de ascender los pasajeros
- Minuto en que terminaron de descender los pasajeros
- Número de personas que subieron
- Número de personas que bajaron

- Minuto en que cerró la puerta delantera
- Minuto en que cerró la puerta del medio
- Minuto en que cerró la puerta trasera
- Minuto en que el vehículo arrancó
- Tiempo que tuvo que esperar un segundo vehículo para iniciar su operación en parada

La anterior información fue incorporada en formatos que permitieran el procesamiento de la misma. En la **Tabla 18** se puede observar el modelo usado para tal fin:



**Tabla 18 Modelo de formato de recolección de datos**

Minuto	Tipo	Detención	A.D	A.T	A.M	T.A	T.D	N.P.S	N.P.B	N.P.B.M	C.D	C.T	C.M	TADIC	T.E.2	OBSERVACIONES
00:31	1	31	32	33		34	34	1	1		41	41				
01:30	1	30	30			37		2			39					Llegó con la puerta D abierta.
01:49	1	49		49			54		2			54				Llegó con la puerta T abierta. Arrancó con la puerta T abierta.
02:08	1	08	9			14		2			22					Arrancó con la puerta D abierta.
03:26	1	26		28			32		3			36			0	
03:30	2	30	32			46	43	1	4		49					
04:37	1	37	41	44		53	45	3	1		60	50				
06:17	1	17		20			22		1			26				
07:31	1	31	33			37		2			41					
09:20	1	20	20	23		25	27	1	2		28	30				Llegó con la puerta D abierta. Arrancó con la puerta T abierta.
12:47	1	47		47			49		1			52				Llegó con la puerta T abierta. Arrancó con la puerta T abierta.
14:00	1	00	1			3		1			3					Arrancó con la puerta D abierta.
14:06	2	06	7				8		1		11			4		
14:25	1	25	26	28		61	29	4	1		67	34				Demora adicional por señora que no encontraba tarjeta.
15:18	1	18	22	22		24	27	1	3		30	32			0	
16:23	1	23	24	24		26	28	1	3		30	31				Arrancó con la puerta T abierta.
16:48	1	48		49			54		3			56				
17:18	1	18	18			20		1			22				0	Llegó con la puerta D abierta. Arrancó con la puerta D abierta.
17:23	1	23	25			37		3			47					
.																
.																
.																

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos se procedió a extraer los tiempos asociados a los tiempos de permanencia en parada, en segundos:

**Tabla 19 Modelo de formato de obtención de datos**

T. Paró	Tipo	N.P.S	N.P.B	N.P.B.M	T.A	T.D	T.D.M	T.A.D	T.A.T	T.A.M	T.C.D	T.C.T	T.C.M	A.P	I.T.N	T.E.2	T.T.P
00:31	1	1	1		2	1		1	2	N/A	7	7	N/A	0	0	0	10
01:30	1	2	0		7	0		0	0	N/A	2	0	N/A	0	0	0	9
01:49	1	0	2		0	5		0	0	N/A	0	0	N/A	0	0	0	5
02:08	1	2	0		5	0		1	0	N/A	8	0	N/A	0	0	0	14
03:26	1	0	3		0	4		0	2	N/A	0	4	N/A	0	0	0	10
03:30	2	1	4		3	11		2	N/A	N/A	3	N/A	N/A	0	0	0	19
04:37	1	3	1		12	1		4	7	N/A	7	5	N/A	0	0	0	23
06:17	1	0	1		0	2		0	3	N/A	0	4	N/A	0	0	0	9
07:31	1	2	0		4	0		2	0	N/A	4	0	N/A	0	0	0	10
09:20	1	1	2		5	4		0	3	N/A	3	3	N/A	0	0	0	10
12:47	1	0	1		0	2		0	0	N/A	0	3	N/A	0	0	0	5
14:00	1	1	0		2	0		1	0	N/A	0	0	N/A	0	0	0	3
14:06	2	0	1		0	1		1	N/A	N/A	3	N/A	N/A	0	0	0	5
14:25	1	4	1		35	1		1	3	N/A	6	5	N/A	0	0	0	42
15:18	1	1	3		2	5		4	4	N/A	6	5	N/A	0	0	0	14
16:23	1	1	3		2	4		1	1	N/A	4	3	N/A	0	0	0	8
16:48	1	0	3		0	5		0	1	N/A	0	2	N/A	0	0	0	8
17:18	1	1	0		2	0		0	0	N/A	2	0	N/A	0	0	0	4
17:23	1	3	0		12	0		2	0	N/A	10	0	N/A	0	0	0	24

Fuente: Elaboración propia

Minuto: indica el minuto del video en que el bus hace la detención en la parada

Tipo: Hace referencia al tipo de bus:

1: Busetón

2: Microbús

3: Bus

Detención: Extrae los segundos de la columna minuto

A.D.: Tiempo en que se abre la puerta delantera

A.T: Tiempo en que se abre la puerta trasera

A.M.: Tiempo en que se abre la puerta del medio

T.A.: Tiempo en que terminan de ascender los pasajeros

T.D.: Tiempo en que terminan de descender los pasajeros

N.P.S: Número de pasajeros que suben al bus

N.P.B: Número de pasajeros que bajaron del bus

N.P.B.M: Número de pasajeros que bajan del bus por la puerta de la mitad

C.D.: Tiempo en que cerró la puerta delantera

C.T: Tiempo en que cerró la puerta trasera

C.M.: Tiempo en que cerró la puerta del medio

TADIC: Tiempos adicionales en que incurre el conductor

T.E.2: Tiempo de espera de un vehículo en la cola para aproximarse al área de carga.

T.T.P.: Tiempo total en parada

La información resultante del trabajo de campo se encuentra consignada en el anexo No. 1.

### Total de datos analizados

**Tabla 20 Número de operaciones en parada analizadas en el SITP <sup>3</sup>**

<b>Operaciones en parada</b>	<b>Mañana</b>	<b>Tarde</b>
CAI Las ferias	22	41
Santamaría	50	69
Bonanza	23	56
69P	31	56
Las Ferias	35	34
Total de operaciones	161	256
Total horas de grabación	12 horas	

Fuente: Elaboración propia

---

<sup>3</sup> Para la presente tesis, una operación es considerada como la detención de un vehículo de transporte para atender pasajeros.

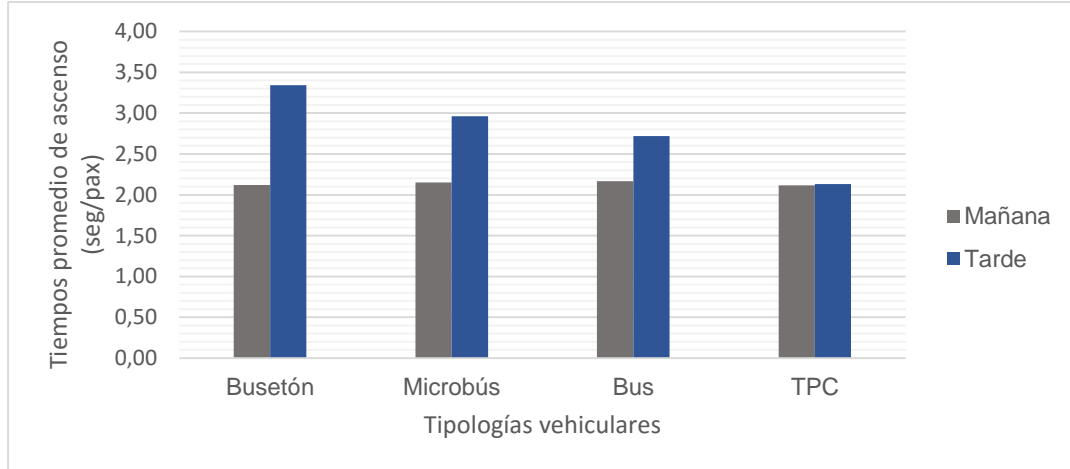
**Tabla 21 Número de operaciones analizadas en el TPC**

<b>RUTA</b>	<b>Ascensos</b>		<b>Descensos</b>	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
Ruta TPC 1	23	24	18	21
Ruta TPC 2	29	39	17	10
Ruta TPC 3	35	11	27	8
Total de operaciones	161		101	
Total horas de grabación	6 horas			

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 Resultados y análisis.

#### 3.1.2.1 Tiempo de ascenso de pasajeros.



	<b>Busetón</b>	<b>Microbús</b>	<b>Bus</b>	<b>TPC</b>
Mañana	2,12	2,15	2,17	2,12
Mínimo	1,00	1,00	2,00	0,50
Mediana	2,00	2,00	2,17	1,00
Máximo	4,00	4,00	2,33	15,00
Desv. Est	0,82	0,97	0,24	2,45
Tarde	3,34	2,96	2,72	2,13
Mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00
Mediana	3,00	3,00	2,50	1,50
Máximo	10,50	5,00	5,67	13,50
Desv. Est	1,83	1,25	1,24	1,87

Ilustración 19 Tiempos promedio de ascenso.

Fuente: Elaboración propia

- Los tiempos de ascenso del SITP son más altos que los tiempos de ascenso del TPC; sin embargo, esto solo ocurre en la jornada de la tarde, en la cual la ocupación vehicular de los buses del SITP es diferente a la de la mañana, pues en esta franja horaria, los buses llegaban a las paradas con sillas disponibles; lo que no ocurrió en la

tarde donde en gran parte de los casos se encontraban pasajeros de pie en el vehículo.

Adicionalmente, en los vehículos del TPC, los usuarios pueden entrar al bus y realizar el pago una vez el bus esté en movimiento, ahorrando tiempos al conductor, lo que no sucede en el SITP, ya que los pasajeros no pueden acceder al vehículo si no hacen la validación con la tarjeta.

- En la jornada de la mañana, los tiempos de ascensos no presentan una variación significativa.
- Las investigaciones analizadas en el capítulo 1.1.2 sugieren que los tiempos de ascenso son mayores cuando se paga en efectivo (ver Tabla 22), situación que no se aprecia en los datos recopilados en campo para esta investigación. Es preciso aclarar que los usuarios del TPC en Bogotá realizan el pago y reciben el cambio del dinero cuando el vehículo ya está en movimiento, lo que permite a los conductores un ahorro de tiempo en parada de 0.63 segundos por pasajero respecto a la tipología Busetón, de acuerdo a los resultados en campo.

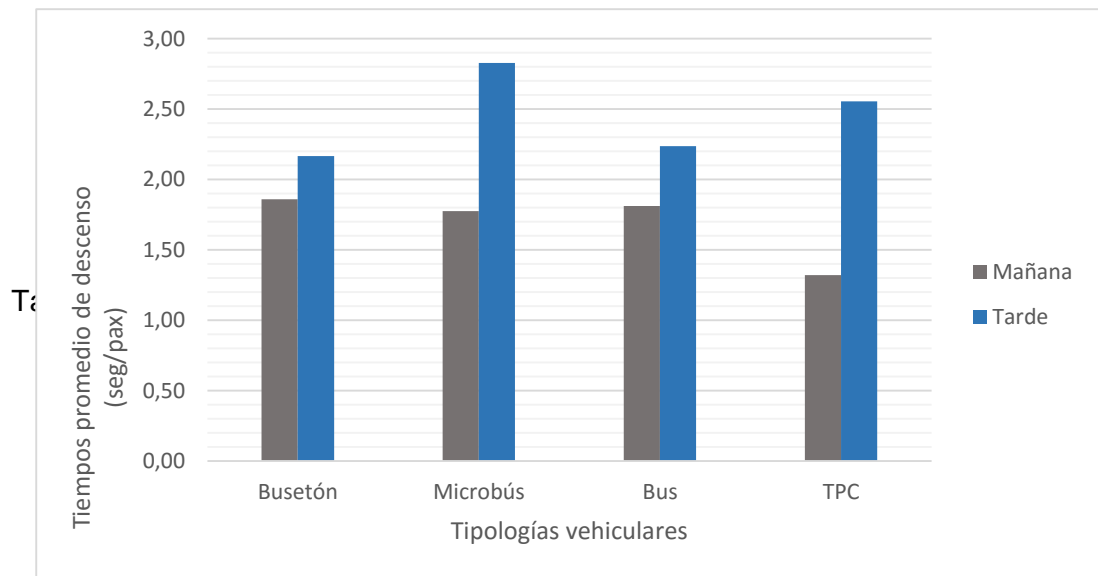
**Tabla 22 Comparación tiempos de ascenso (seg/pax)**

Método de pago	Zhang and Teng	Tirachini			Rabban	Bautista			
	Shangai	Blacktown	Sidney	Free	Minnesota	SITP (Busetón)	SITP (Microbús)	SITP (Bus)	TPC
Pago con dinero	-	5,66	9,02	-	9,28	-	-	-	2,12
Pago con dinero - cambio	-	12,73	16,23	-		-	-	-	
Tarjeta	1,88	-	-	-	2,6	2,73	2,56	2,44	
Tiquete	-	15,87	4,61 - 5,56	-	5,8	-	-	-	-
Gratis	-	1,49	-	1,46	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

- Los tiempos de ascenso en los vehículos del SITP son mayores respecto a los presentados en los buses de Shanghai (el servicio que se asemeja más al prestado por el SITP en la ciudad de Bogotá, ya que en Shanghai el pago se hace con tarjeta y los buses son de plataforma alta), esto podría deberse a la familiarización de los usuarios con el servicio, la cual se presume baja para el SITP en la fecha de toma de información dados los cambios en el sistema. Se observa también que los tiempos de ascenso más bajos, los presenta el servicio gratuito de Sidney (1.46 seg/pax), el cual opera con vehículos de piso bajo y no requiere ningún tipo de validación al interior del bus, lo que refuerza la ventaja de implementar medidas como el pago fuera del vehículo, pudiendo disminuir para los busetones los tiempos de ascenso en 1.27 seg/pax, según las cifras consignadas en la **Tabla 22**.

### 3.1.2.2 *Tiempo de descenso de pasajeros.*



	<b>Busetón</b>	<b>Microbús</b>	<b>Bus</b>	<b>TPC</b>
<b>Mañana</b>	1,86	1,78	1,81	1,32
<b>Mínimo</b>	1,00	1,00	1,00	0,50



<b>Mediana</b>	2,00	1,75	1,75	1,00
<b>Máximo</b>	8,00	4,00	4,00	3,40
<b>Desv. Est</b>	0,95	0,94	1,00	0,52
<b>Tarde</b>	2,17	2,83	2,24	2,55
<b>Mínimo</b>	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Mediana</b>	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Máximo</b>	7,00	12,00	6,00	6,00
<b>Desv. Est</b>	1,03	2,36	1,45	1,44

Ilustración 20 Tiempos de descenso promedio.

Fuente: Elaboración propia

- Se evidencia nuevamente el efecto que tiene la ocupación vehicular de los buses en los tiempos de servicio ocasionando que los tiempos de descenso de la tarde sean mayores que los de la mañana; esto es explicado debido a que los usuarios tardan más en llegar hasta la puerta debido al número de personas presentes en el bus o incluso a que algunos pasajeros se ubican en las escaleras dada la escasez de espacio al interior del vehículo, obstaculizando el descenso.
- Los tiempos de descenso más altos los presenta los microbuses en la jornada de la tarde, originado posiblemente por la interferencia que en ocasiones se genera por el uso de una sola puerta para atender tanto los ascensos como los descensos.

**Tabla 23 Comparación tiempos de descenso (seg)**

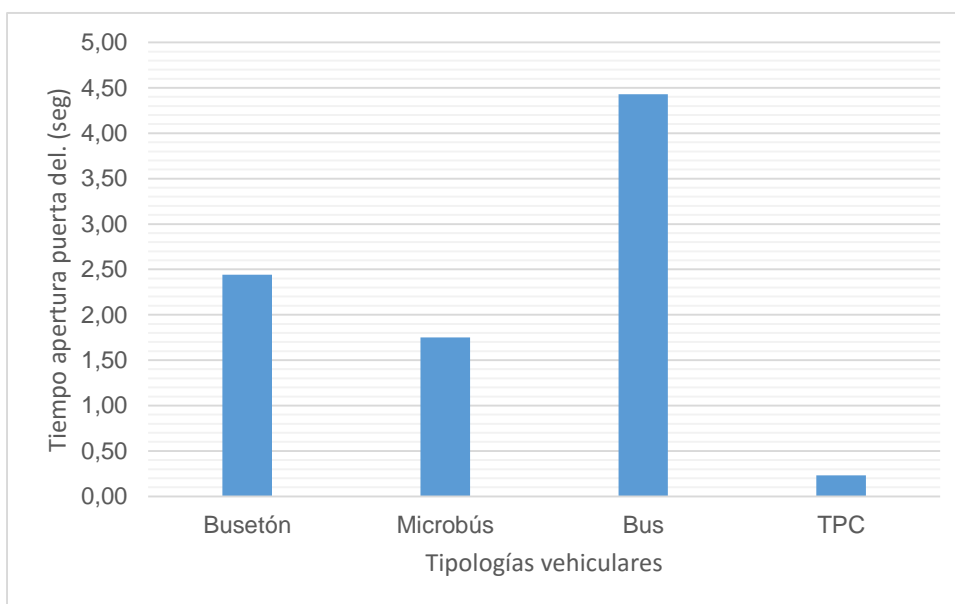
Puerta	Zhang and Teng	Tirachini			Rabban	Bautista			
	Shangai	Blacktown	Sidney	Free	Minnesota	SITP (Busetón)	SITP (Microbús)	SITP (Bus)	TPC
<b>Puerta delantera</b>	-	1,58	2,37	1,64	-	-	2,31	-	-
<b>Puerta trasera</b>	1,13	-	1,26	1,18	-	2,02	-	2,03	1,94

Fuente: Elaboración propia

- Exceptuando el servicio prestado en el interior de Sidney, los tiempos de descenso presentes en el SITP y TPC en Bogotá son más altos que los obtenidos para las ciudades de Shanghái, Blacktown y Sidney (gratis). En todos los servicios de Sidney está permitido el descenso por la puerta delantera y cuentan con vehículos de piso bajo.

Adicional a lo anterior, se observa en el caso Bogotá como para el SITP los tiempos de descenso pueden llegar a ser tan solo de hasta 0.7 seg/pax más bajos que los tiempos de ascenso y de 0.18 seg/pax para el TPC. Se esperaría que dada la ausencia de pago en el descenso, estos tiempos fuesen significativamente más bajos que los tiempos de ascenso, sin embargo la ocupación vehicular de los buses y la configuración de los vehículos (especialmente en la tipología bus del SITP) pueden contribuir a que esta diferencia sea baja. La anterior cifra no difiere de lo presentado en el caso Shanghái, el cual como ya se mencionó es el más similar al caso Bogotá, presentando una diferencia de 0.75 seg/pax entre los tiempos de ascenso y descenso.

### 3.1.2.3 *Tiempo de apertura puerta delantera.*



	<b>Busetón</b>	<b>Microbús</b>	<b>Bus</b>	<b>TPC</b>
<b>Promedio</b>	2,44	1,75	4,43	0,23
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	3,00	0,00
<b>Mediana</b>	2,00	2,00	4,00	0,00
<b>Máximo</b>	19,00	4,00	9,00	15,00
<b>Desv. Est</b>	2,77	1,02	1,65	1,43

Ilustración 21 Tiempos promedio de apertura de puerta delantera.

Fuente: Elaboración propia

- El tiempo de apertura de las puertas delanteras de los TPC es significativamente más bajo que el tiempo registrado para los buses del SITP, siendo más notorio el cambio para la tipología bus.

Esta diferencia se debe a una práctica muy común de los conductores de vehículos de TPC, consistente en realizar sus recorridos con las puertas

delanteras abiertas, situación que con menor frecuencia se presenta en los vehículos del SITP;

- El tiempo de apertura de puertas delanteras para los vehículos tipo bus del SITP es casi el doble del tiempo que emplean los busetones y microbuses del mismo sistema, ocasionado por la diferencia en el diseño de los buses.

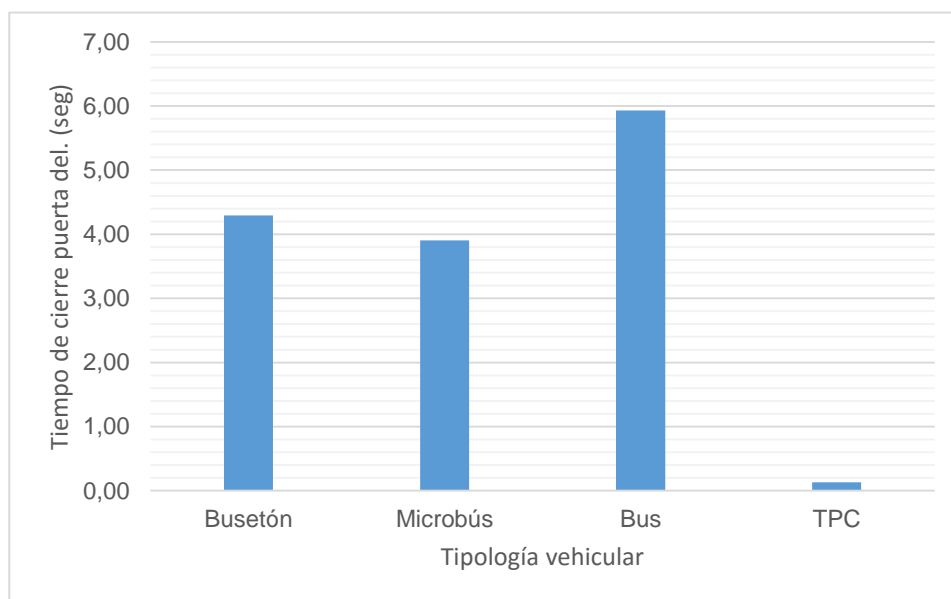
Los siguientes datos muestran la tendencia de los diferentes vehículos tanto del SITP como del TPC a transitar con las puertas abiertas:

**Tabla 24 Porcentajes de buses que transitan con la puerta delantera abierta**

<b>Promedio Busetón SITP</b>	<b>Promedio Microbús SITP</b>	<b>Promedio Bus SITP</b>	<b>Promedio TPC</b>
13,71%	12,50%	0,00%	95,10%

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.4 *Tiempo de cierre puerta delantera.*



	<b>Busetón</b>	<b>Microbús</b>	<b>Bus</b>	<b>TPC</b>
<b>Promedio</b>	4,29	3,91	5,93	0,13
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	1,00	0,00
<b>Mediana</b>	4,00	3,00	3,00	0,00
<b>Máximo</b>	22,00	16,00	22,00	12,00
<b>Desv. Est</b>	3,36	3,32	5,61	1,18

Ilustración 22 Tiempos promedio de cierre de puerta delantera (seg).

Fuente: Elaboración propia

- El tiempo de cierre de las puertas delanteras de los buses del TPC presentan una gran superioridad respecto a los tiempos del TPC.

Al igual que en el caso anteriormente analizado, esta gran diferencia obedece a la práctica ya mencionada de los buses del TPC de transitar durante todo el recorrido con las puertas abiertas.

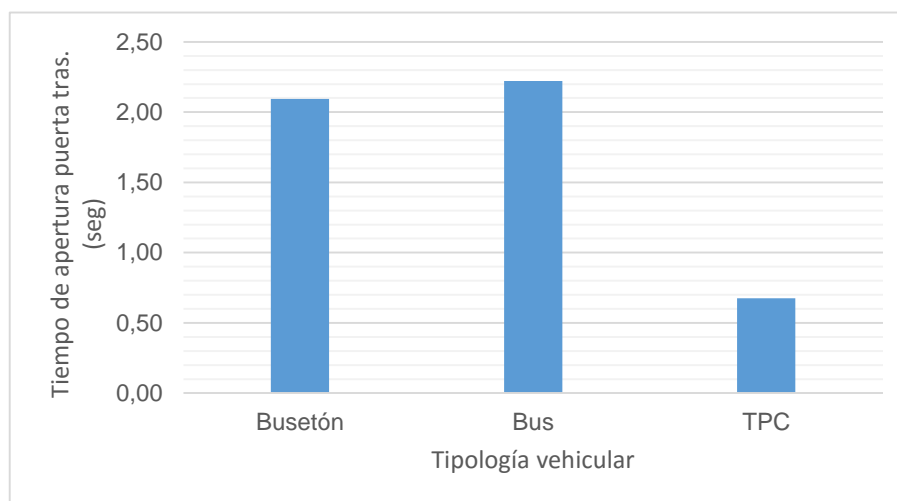
A continuación se muestra el comportamiento de los vehículos analizados referente a la partida de la parada con la puerta abierta:

**Tabla 25 Porcentajes de buses que parten de la parada con la puerta delantera abierta**

Busetón SITP	Microbús SITP	Bus SITP	TPC
7,58%	6,25%	0,00%	98,76%

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.5 *Tiempo de apertura puerta trasera.*



	Busetón	Bus	TPC
<b>Promedio</b>	2,10	2,22	0,68
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Mediana</b>	2,00	3,00	0,00
<b>Máximo</b>	8,00	5,00	22,00
<b>Desv. Est</b>	1,50	1,86	2,45

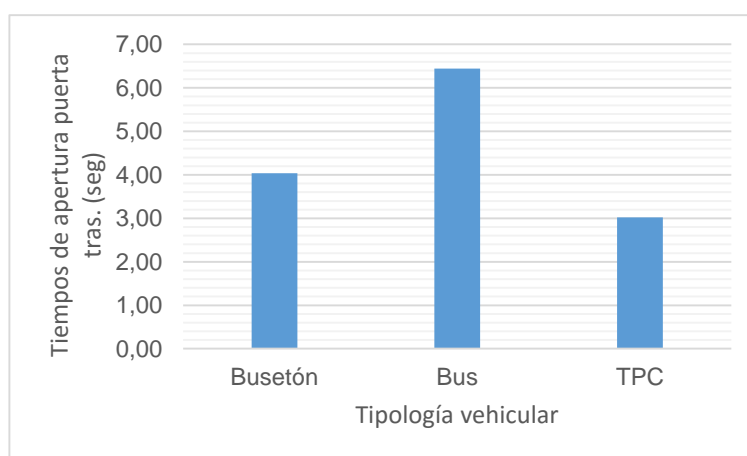
Ilustración 23 Tiempos promedio de apertura puerta trasera (seg).  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26 Porcentajes de buses que llegan a la parada con la puerta abierta**

Promedio Busetón SITP	Promedio Bus SITP	Promedio TPC
14,05%	33,33%	80,00%

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.6 *Tiempo de cierre puerta trasera*



	Busetón	Bus	TPC
<b>Promedio</b>	4,03	6,44	3,02
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Mediana</b>	3,00	7,00	0,00
<b>Máximo</b>	32,00	19,00	34,00
<b>Desv. Est</b>	3,58	5,85	7,60

Ilustración 24 Tiempos promedio de apertura puerta trasera (seg).

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27 Porcentajes de buses que parten de la parada con la puerta abierta**

Promedio Busetón SITP	Promedio Bus SITP	Promedio TPC
6,22%	22,00%	71,43%

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.7 *Tiempo de apertura puerta medio.*

**Tabla 28 Tiempos promedio de apertura puerta del medio (seg)**

Media	2,65
Desv. Est.	1,57
Varianza	2,48
Mínimo	0,00
Mediana	3,00
Máximo	5,00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29 Porcentajes de buses que llegan a la parada con la puerta del medio abierta**

Promedio TPC
19,23%

Fuente: Elaboración propia



### 3.1.2.8 *Tiempo de cierre puerta medio.*

**Tabla 30 Tiempos promedio de cierre puerta del medio (seg)**

<b>Media</b>	2,96
<b>Desv. Est.</b>	4,11
<b>Varianza</b>	16,92
<b>Mínimo</b>	0,00
<b>Mediana</b>	1,50
<b>Máximo</b>	19,00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31 Porcentajes de buses que parten de la parada con la puerta del medio abierta**

Promedio TPC
34,62%

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.9 *Porcentaje de operaciones con dos vehículos simultáneamente.*

Un aspecto adicional que se estudió, fue la operación de dos buses de forma simultánea en paraderos sencillos. Encontrando en los casos analizados para el SITP, que en la gran mayoría de estos (75.74%) si un segundo bus llega a la parada y esta se encuentra ocupada, este no se inhibe de permitir el ascenso y/o descenso de pasajeros; por el contrario, realizando la apertura de las puertas, le indica a los usuarios que deben desplazarse hasta el vehículo para realizar las maniobras de ascenso, a pesar de que el paradero solo cuenta con un área de carga.

**Tabla 32 Porcentajes de buses del SITP que operan con el área de carga ocupada**

<b>Promedio dos buses</b>
75,74%

Fuente: Elaboración propia

Debido a lo anterior, los usuarios deben desplazarse hacia la ubicación del bus, es decir fuera del área de carga, invirtiendo un tiempo total de caminata hasta el vehículo de 5.33 segundos por pasajero.

### **3.1.2.10 *Tiempo de espera del segundo bus***

En cuanto al porcentaje de vehículos que prefieren esperar hasta que el área de carga se encuentre desocupada, deben hacerlo en promedio por un lapso de 7.79 segundos para que el primer vehículo termine su operación y empiece a desplazarse y este pueda ocupar su lugar.

<b>Promedio tiempo de espera (seg)</b>
7,79

### **3.1.2.11 *Tiempo promedio de permanencia en parada***

A continuación se detallan las fórmulas usadas para el cálculo del tiempo de permanencia en parada, con base en la información obtenida en el capítulo 2 pero adaptándolas a las condiciones específicas de la ciudad de Bogotá y a la información obtenida en campo:

- Busetones

$$TP = \text{MAX}(T_{od} + T_a + T_{cd}; T_{ot} + T_d + T_{ct})$$

$TP$  = Tiempo de permanencia en parada (seg)

$T_{od}$  = Tiempo de apertura puerta delantera (seg)

$T_a$  = Tiempo de ascenso total de los pasajeros (seg)

$T_{cd}$  = Tiempo de cierre puerta delantera (seg)

$T_{ot}$  = Tiempo de apertura puerta trasera (seg)

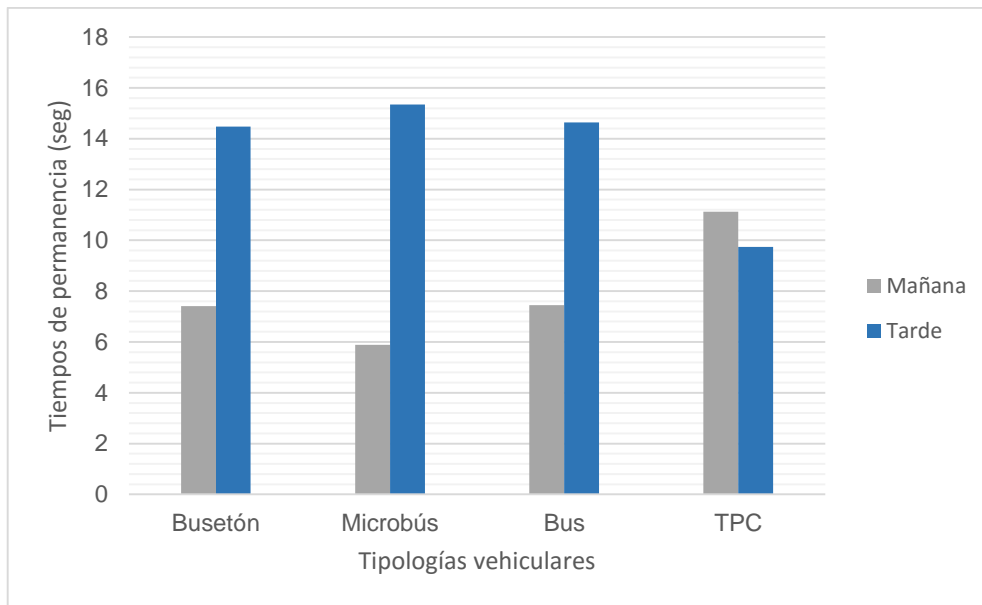
$T_d$  = Tiempo de descenso total de pasajeros (seg)

$T_{ct}$  = Tiempo de cierre puerta trasera (seg)

La fórmula utilizada en este trabajo reconoce que la apertura y/o cierre de puertas no siempre se dan de forma simultánea y no tardan el mismo tiempo en abrir o cerrar.

- Microbuses

$$TP = (T_{od} + T_a + T_d + T_{cd})$$



	<b>Busetón</b>	<b>Microbús</b>	<b>Bus</b>	<b>TPC</b>
<b>Mañana</b>	7,42	5,88	14,65	11,12
<b>Mínimo</b>	1,00	2,00	6,00	3,00
<b>Mediana</b>	6,00	6,00	7,00	6,00
<b>Máximo</b>	18,00	13,00	10,00	43,00
<b>Desv. Est</b>	3,69	2,72	1,59	10,17
<b>Tarde</b>	14,48	15,34	14,65	9,74
<b>Mínimo</b>	3,00	4,00	5,00	1,00
<b>Mediana</b>	12,00	12,00	13,00	8,00
<b>Máximo</b>	58,00	42,00	33,00	29,00
<b>Desv. Est</b>	9,16	9,84	7,44	6,51

Ilustración 25 Tiempos promedio de permanencia en parada.

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar de la

**Ilustración 25** como para los vehículos del SITP, los tiempos totales de permanencia en parada son mayores para la jornada de la tarde, lo cual es

consecuente con los resultados de tiempos de ascenso y descenso presentados anteriormente en los capítulos **3.1.2.1 y 3.1.2.2**.

El promedio de ascensos en las paradas del SITP en la jornada de la mañana, es de 0.5 pasajeros, lo que nos indica que en cada parada que realiza el bus, aproximadamente se suben de 0 a 1 pasajero; para la jornada de la tarde, este valor es de 1.6 pasajeros, sugiriendo que en cada detención del bus se suben aproximadamente de 1 a 2 pasajeros. En el caso de los descensos, el promedio para la jornada de la mañana es 1.15 pasajeros y para la tarde es de 1.47 pasajeros.

Si bien esta diferencia de pasajeros que ascienden en ambas jornadas podría explicar en parte la diferencia entre los tiempos de permanencia totales para cada jornada, el tamaño de estas diferencias se puede atribuir también al nivel de ocupación de los buses del SITP al momento de la operación de los mismos en la parada, encontrando que en la jornada de la mañana, el 100% de los vehículos llegó a la parada con todos los pasajeros sentados; sin embargo en la jornada de la tarde, el 49% de los vehículos llegaron a la parada con pasajeros de pie, de los cuales el 29% tenía un nivel de ocupación bastante alto, es decir, todas las sillas ocupadas y pasajeros de pie en el pasillo, aproximadamente un nivel de ocupación D o E.

Al comparar los tiempos de permanencia en parada del SITP con los del TPC, podemos observar que en la jornada de la mañana, estos últimos son mayores, contrario a lo que sucede en la tarde, donde los tiempos de permanencia del SITP predominan. Sin embargo, es importante aclarar que el promedio de pasajeros que ascienden y descienden en el TPC en la jornada de la mañana es de 1.5 y 1.7 explicando esta diferencia en los tiempos de permanencia. Para el caso de la tarde, las cifras de ascenso son muy similares, siendo para el TPC 1.4 pasajeros y para los descensos 2.26 pasajeros. Los datos mostrados en la

**Ilustración 25** indican que los tiempos de permanencia en parada del SITP pueden ser en promedio de 3 a 4 segundos mayores que los tiempos del

TPC, debido a los tiempos adicionales que los primeros invierten en la apertura y cierre de puertas y al efecto que el pago de la tarjeta tiene cuando el vehículo está lleno.

### 3.1.3 Información secundaria.

#### 3.1.3.1 *Solicitud de información.*

Se realizó la solicitud a la Secretaría Distrital de Movilidad, SDM, de suministrarme con fines académicos la información de volúmenes vehiculares con que dispusiera en el tramo de estudio del SITP (Calle 72 entre Carrera 68 y Avenida Boyacá).

Como respuesta a esta solicitud, la SDM me informó sobre el monitoreo permanente que realiza en 36 estaciones maestras de la ciudad de Bogotá y puntos de aforo ubicados en algunas intersecciones semafóricas. Al analizar la zona de influencia del presente trabajo de grado se notó la presencia de una intersección maestra y 3 planeamientos semafóricos y procedió a hacerme envío a través de correo electrónico de la información disponible en dicha secretaría.

**Tabla 33 Aforos suministrados por Secretaría Distrital de Movilidad**

Intersección Maestra Ak 72 X Ac 72	Año 2015
Planeamiento Semafórico Ak 70 X Ac 72	Año 2015
Planeamiento Semafórico Ac 72 X Kr 69j	Año 2014
Planeamiento Semafórico Kr 68h X Ac 72	Año 2014

Fuente: Elaboración propia

La información suministrada por la SDM se encuentra en el anexo No. 2.

#### 3.1.3.2 *Software de microsimulación.*

Los modelos de simulación representan la operación de la red vial bajo análisis y así experimentar nuevas estrategias y realizar predicciones de comportamiento operacional de la red frente a diferentes eventos o situaciones (Martínez, 2012).

El software seleccionado para realizar la microsimulación es PTV Vissim 7.00, decisión fundamentada en la posibilidad de obtener la licencia con carácter de préstamo y en las funcionalidades del mismo en el tema de transporte público.

### **3.1.3.3 Información estática del modelo.**

La información estática se refiere a las características de físicas de la red: número y ancho de carriles, dispositivos de control, señalización, etcétera.

El tramo modelado corresponde a la calzada de la CI 72 entre kr 68H Y Kr 74A, sentido suroriente – noroccidente. Esta calzada cuenta con dos carriles de 3.5 metros cada uno; los anchos de los carriles de las bocacalles se encuentran alrededor de los 3 metros.

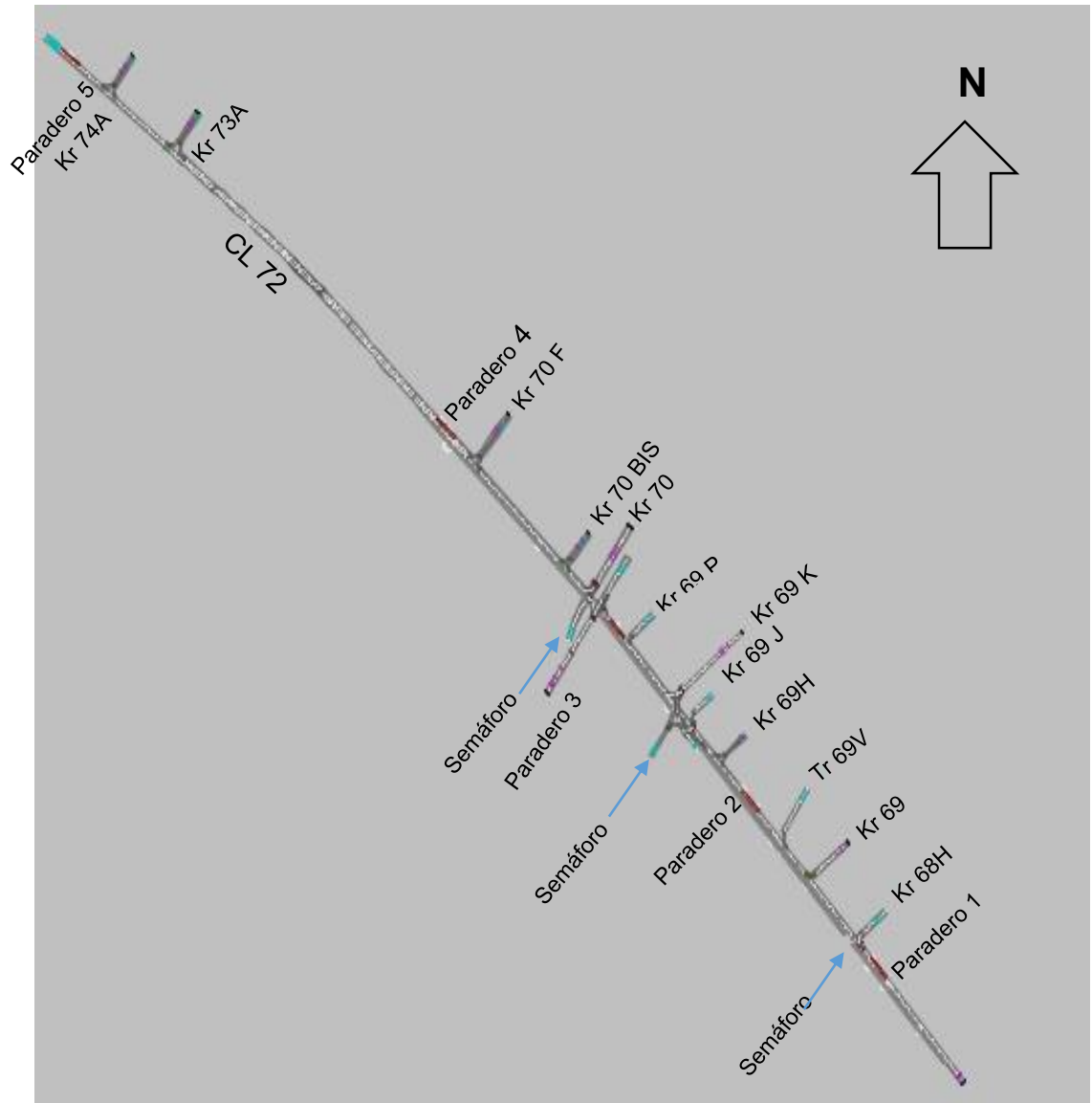


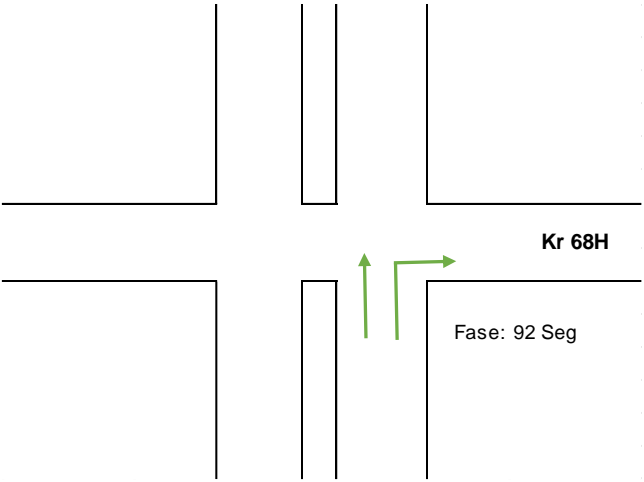
Ilustración 26 Red modelada.  
Fuente: Elaboración propia





**Ilustración 27 Red modelada 3d. Fuente: Elaboración propia**

Los tiempos de las fases semafóricas existentes fueron tomados en campo, y en la Ilustración 28, Ilustración 29, e Ilustración 30 se pueden apreciar los tiempos de cada fase (verde):



**Ilustración 28 Fases semafóricas CI 72 \* Kr 68H. Fuente: Elaboración propia**

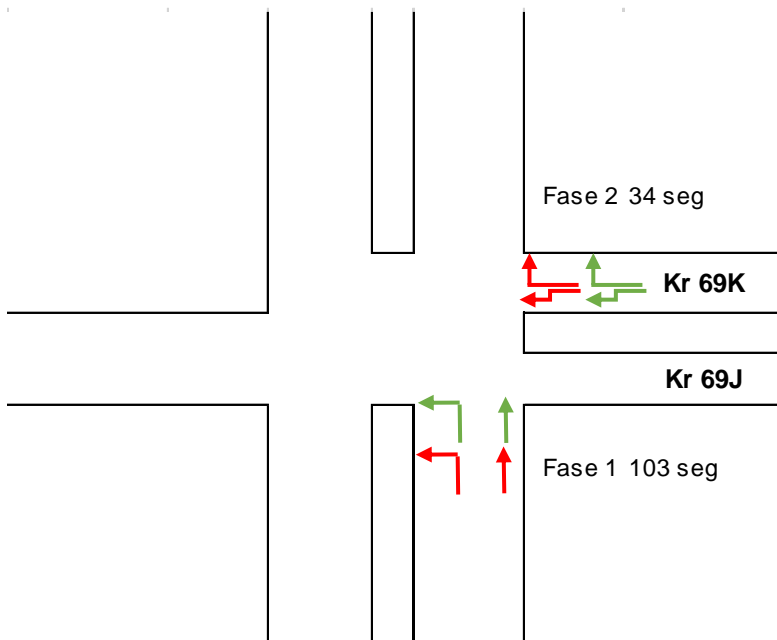


Ilustración 29 Fases semafóricas CI 72 \* Kr 69J.  
Fuente: Elaboración propia

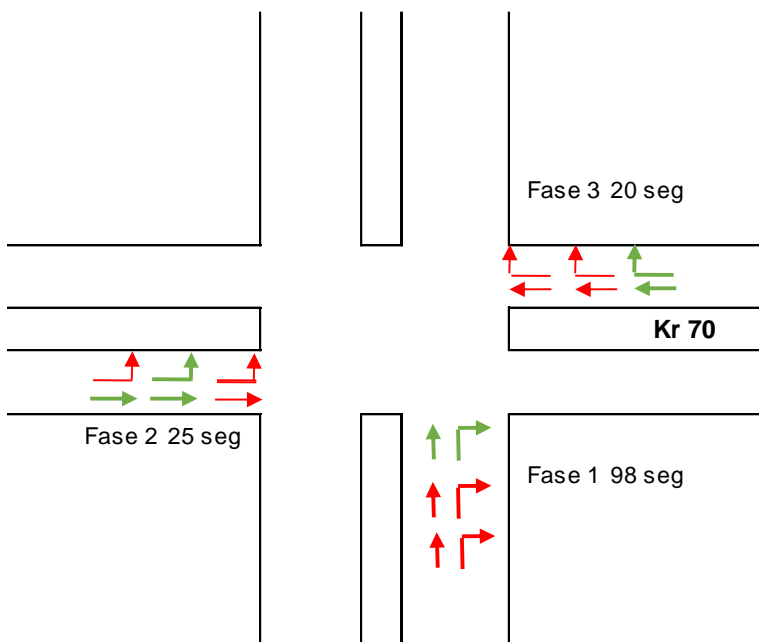


Ilustración 30 Fases semafóricas CI 72 \* Kr 70.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.4 Información dinámica del modelo

La información ingresada al modelo se basó en los datos suministrados por la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM); como se puede observar en la **Tabla 33**, dos de los aforos corresponden al año 2014, los cuales fueron afectados por los factores de proyección de la SDM, con el fin de que la información fuese equivalente con los datos del año 2015.

Es importante destacar que los volúmenes vehiculares que se indican a continuación, no incluyen el número de buses pertenecientes al SITP; lo anterior dado que la información suministrada por la SDM no discriminaba en las tipologías de buses, aquellos correspondientes al SITP.

**Tabla 34 Tasas de Crecimiento Vehicular para Livianos y Motos**

Localidad	Período			
	2013 – 2017	2018 – 2022	2023 – 2027	2027 – 2032
Usaquén	2,35%	1,98%	1,76%	1,61%
Chapinero	3,54%	3,68%	3,48%	3,33%
Santa Fe	3,32%	3,50%	3,32%	3,07%
San Cristóbal	2,03%	1,63%	1,44%	1,30%
Usme	3,43%	3,40%	3,18%	3,01%
Tunjuelito	2,39%	2,05%	1,84%	1,66%
Bosa	2,70%	2,39%	2,16%	1,99%
Kennedy	3,00%	2,87%	2,67%	2,46%
Fontibón	2,76%	2,46%	2,23%	2,06%
Engativá	2,98%	2,86%	2,64%	2,49%
Suba	3,23%	3,17%	2,95%	2,78%

Localidad	Período			
	2013 – 2017	2018 – 2022	2023 – 2027	2027 – 2032
<b>Barrios Unidos</b>	3,14%	3,09%	2,90%	2,76%
<b>Teusaquillo</b>	2,61%	2,32%	2,11%	1,95%
<b>Los Mártires</b>	3,04%	2,99%	2,80%	2,66%
<b>Antonio Nariño</b>	2,66%	2,41%	2,21%	2,00%
<b>Puente Aranda</b>	2,73%	2,51%	2,32%	2,18%
<b>La Candelaria</b>	3,05%	2,57%	2,31%	2,12%
<b>Rafael Uribe</b>	2,47%	2,18%	1,99%	1,75%
<b>Ciudad Bolívar</b>	2,71%	2,51%	2,30%	2,11%
<b>Promedio Localidades</b>	2,85%	2,66%	2,45%	2,28%

Fuente: Secretaria de Movilidad (2013)

**Tabla 35 Tasas de Crecimiento Vehicular para Camiones**

Localidad	Período			
	2013 – 2017	2018 – 2022	2023 – 2027	2027 – 2032
<b>Usaquén</b>	3,71%	3,50%	2,80%	3,67%
<b>Chapinero</b>	4,62%	4,80%	4,13%	5,00%
<b>Santa Fe</b>	4,46%	4,67%	4,00%	4,80%
<b>San Cristóbal</b>	3,46%	3,23%	2,56%	3,43%
<b>Usme</b>	4,54%	4,59%	3,90%	4,76%
<b>Tunjuelito</b>	3,74%	3,55%	2,86%	3,72%

Localidad	Período			
	2013 – 2017	2018 – 2022	2023 – 2027	2027 – 2032
<b>Bosa</b>	3,97%	3,81%	3,11%	3,97%
<b>Kennedy</b>	4,21%	4,19%	3,51%	4,33%
<b>Fontibón</b>	4,02%	3,87%	3,17%	4,02%
<b>Engativá</b>	4,20%	4,18%	3,48%	4,35%
<b>Suba</b>	4,39%	4,42%	3,72%	4,57%
<b>Barrios Unidos</b>	4,32%	4,35%	3,68%	4,56%
<b>Teusaquillo</b>	3,91%	3,76%	3,07%	3,94%
<b>Los Mártires</b>	4,24%	4,28%	3,61%	4,49%
<b>Antonio Nariño</b>	3,95%	3,83%	3,15%	3,98%
<b>Puente Aranda</b>	4,00%	3,91%	3,24%	4,11%
<b>La Candelaria</b>	4,46%	4,21%	3,40%	4,42%
<b>Rafael Uribe</b>	3,80%	3,65%	2,98%	3,79%
<b>Ciudad Bolívar</b>	3,99%	3,91%	3,22%	4,06%
<b>Promedio Localidades</b>	4,10%	4,04%	3,35%	4,21%

Fuente: Secretaria de Movilidad (2013)

Una vez fueron ingresados al software los elementos de la red tales como las vías con sus respectivos sentidos viales y los semáforos, se procedió a ingresar la información del número de vehículos por hora que se desplazaban por el sector en análisis. En la **Ilustración 31**, **Ilustración 32**, **Ilustración 33 e**

**Ilustración 34** se pueden apreciar los volúmenes ingresados en cada intersección.

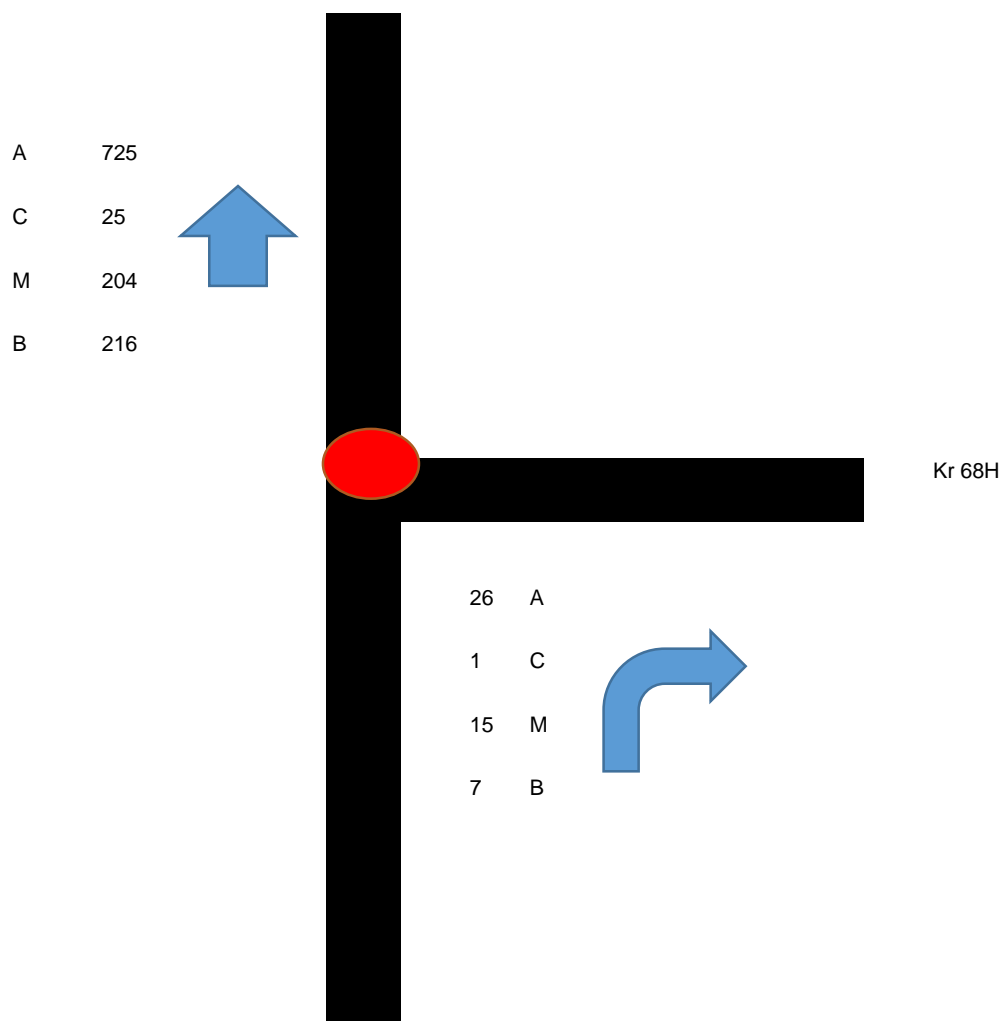


Ilustración 31 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 68H.

Fuente: Elaboración propia

A= Autos

C= Camiones

M= Motos

B=Buses (No incluye SITP)

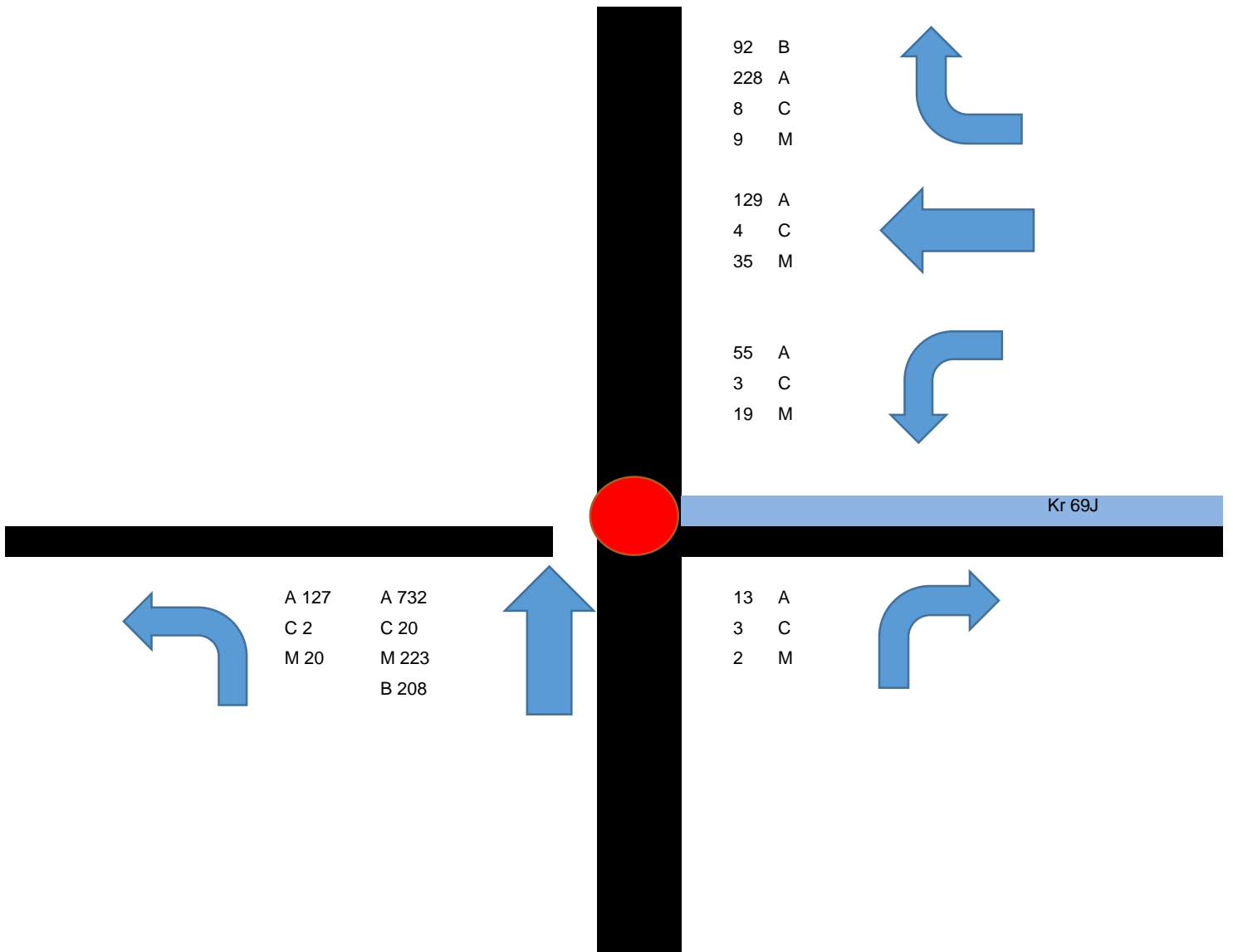


Ilustración 32 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 69J.

Fuente: Elaboración propia

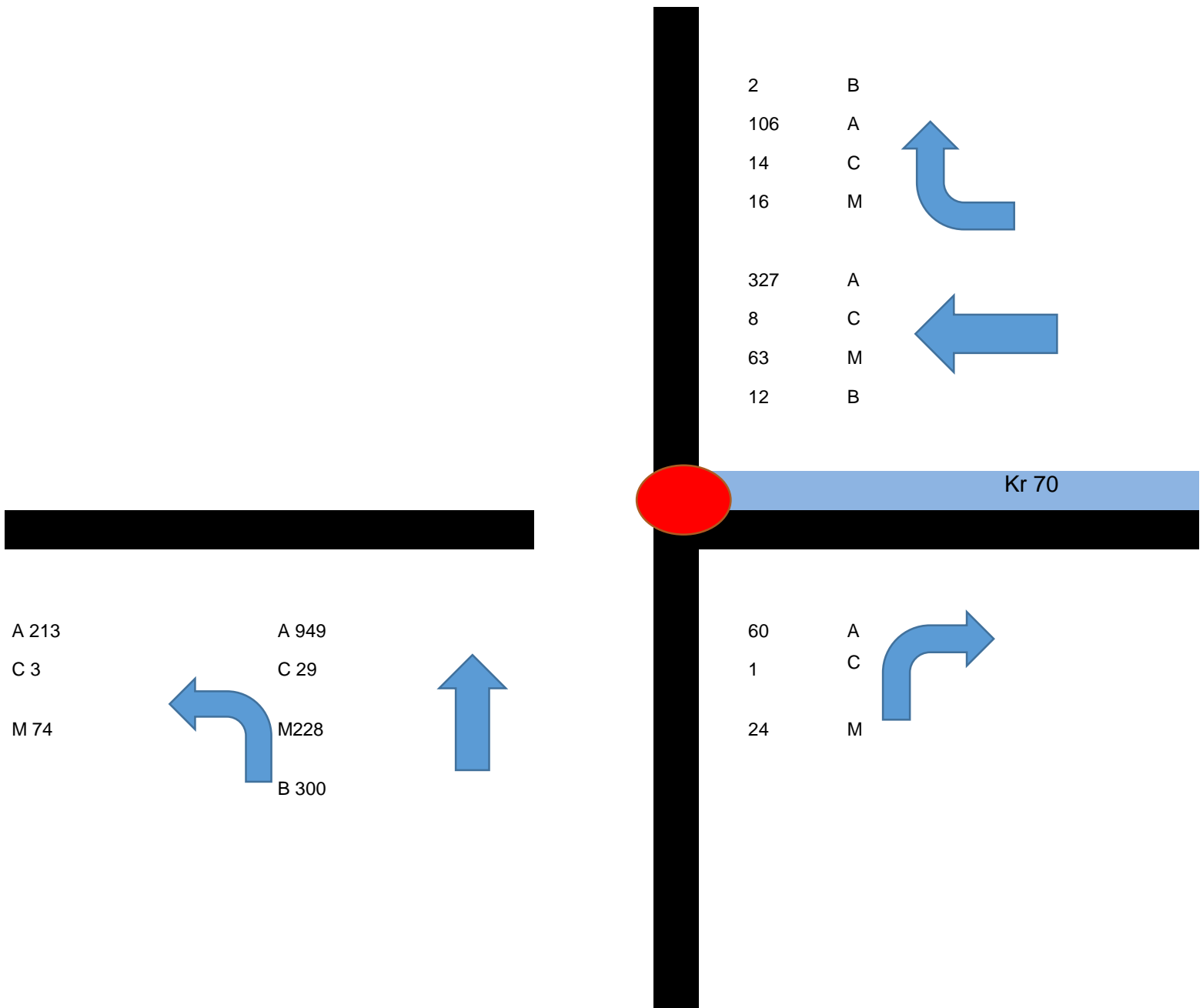


Ilustración 33 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 70.

Fuente: Elaboración propia



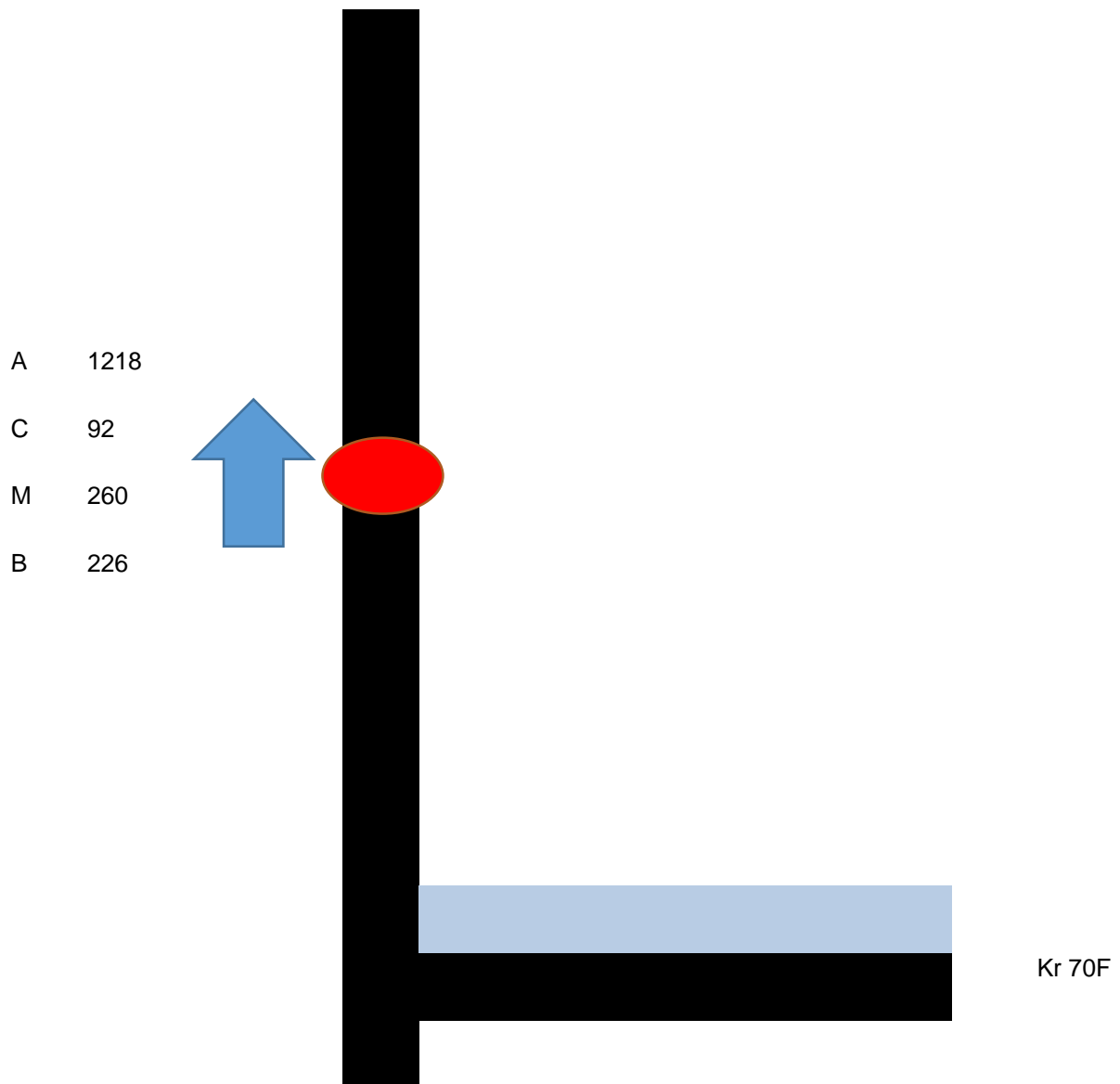


Ilustración 34 Volúmenes vehiculares CI 72 x Kr 72.

Fuente: Elaboración propia

Después de ingresar la anterior información, se crearon dos rutas de transporte público, esto con el fin de permitir que dos buses se encontraran en la parada y que los intervalos fuesen más variados:

Count:	No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffset	VehType	DesSpeedDistr	Color
1	3		1: Calle72	9: Calle72	201,677	0,0	300: Bus	25: 25 km/h	■ (255, 0, 19, 127)
2	4		1: Calle72	9: Calle72	194,449	0,0	300: Bus	30: 30 km/h	■ (255, 0, 19, 127)

Ilustración 35 Rutas de transporte público.

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.5 Calibración del modelo.

La calibración tiene como objeto principal mejorar la confiabilidad de los datos registrados en el software. Una vez se han introducido los datos obtenidos a través de la SDM, se corrió el modelo, y se procedió a comparar los resultados modelados (arrojados por el software) con los reales (volúmenes vehiculares suministrados por la SDM).

Con el fin de determinar la bondad de ajuste de un modelo se utilizó el estadístico conocido como GEH:

$$GEH_j = \sqrt{\frac{2(K_j - M_j)^2}{K_j + M_j}}$$

Donde  $K_j$  es el flujo observado en el link  $j$  y  $M_j$  es el flujo modelado en la misma red; Las unidades de GEH son [vehículos/hora]<sup>0.5</sup> (Feldman, 2012).

Un GEH menor a 5,0 considera una buena correspondencia entre los valores observados y los valores modelados, GEH en el rango de 5,0 a 10,0 puede justificar una investigación, y si un GEH es superior a 10,0, existe una alta probabilidad de que existe un problema con el modelo de demanda de viajes o los datos (Sayago, 2014).

La **Tabla 36** muestra los valores obtenidos para el estadístico GEH observando que el 100% de los valores son menores a 5 y a 4, el 93% menor a 3, el 86% menor a 2 y el 36% menor a 1.

**Tabla 36 Estadístico GEH**

Desde	Hacia	Valores aforados	Valores modelados	GEH	GEH<5	GEH<4	GEH<3	GEH<2	GEH<1
CI 72	CI 72	1796	1879	1,9363	X	X	X	X	
CI 72 (Intersección Kr 70)	CI 72	1506	1357	3,9381	X	X			
CI 72	Kr 70	85	90	0,5345	X	X	X	X	X
Kr 70	CI 72	138	120	1,5848	X	X	X	X	
Kr 70	Kr 70	410	429	0,9277	X	X	X	X	X
CI 72	Kr 70	290	308	1,0410	X	X	X	X	
CI 72 (Intersección Kr 69J)	CI 72	1183	1126	1,6776	X	X	X	X	
CI 72	Kr 69J (Occidente)	18	25	1,5097	X	X	X	X	
CI 72	Kr 69J	148	130	1,5267	X	X	X	X	
Kr 69K	CI 72	345	329	0,8716	X	X	X	X	X
Kr 69K	CI 72	76	81	0,5643	X	X	X	X	X
Kr 69K	Kr 69K	167	167	0,0000	X	X	X	X	X
CI 72 (Intersección Kr 68H)	CI 72	1219	1256	1,0518	X	X	X	X	
Calle 72	Kr 68H	49	35	2,1602	X	X	X		
		TOTAL			14	14	13	12	5
		TOTAL %			100%	100%	93%	86%	36%

Fuente: Elaboración propia

Con los anteriores datos se observa que existe una buena correspondencia entre los volúmenes observados y los volúmenes modelados, ya que el 100% de valores de GEH son menores a 5 y a 4, el 93% son menores a 3 y el 86% menores a 2.

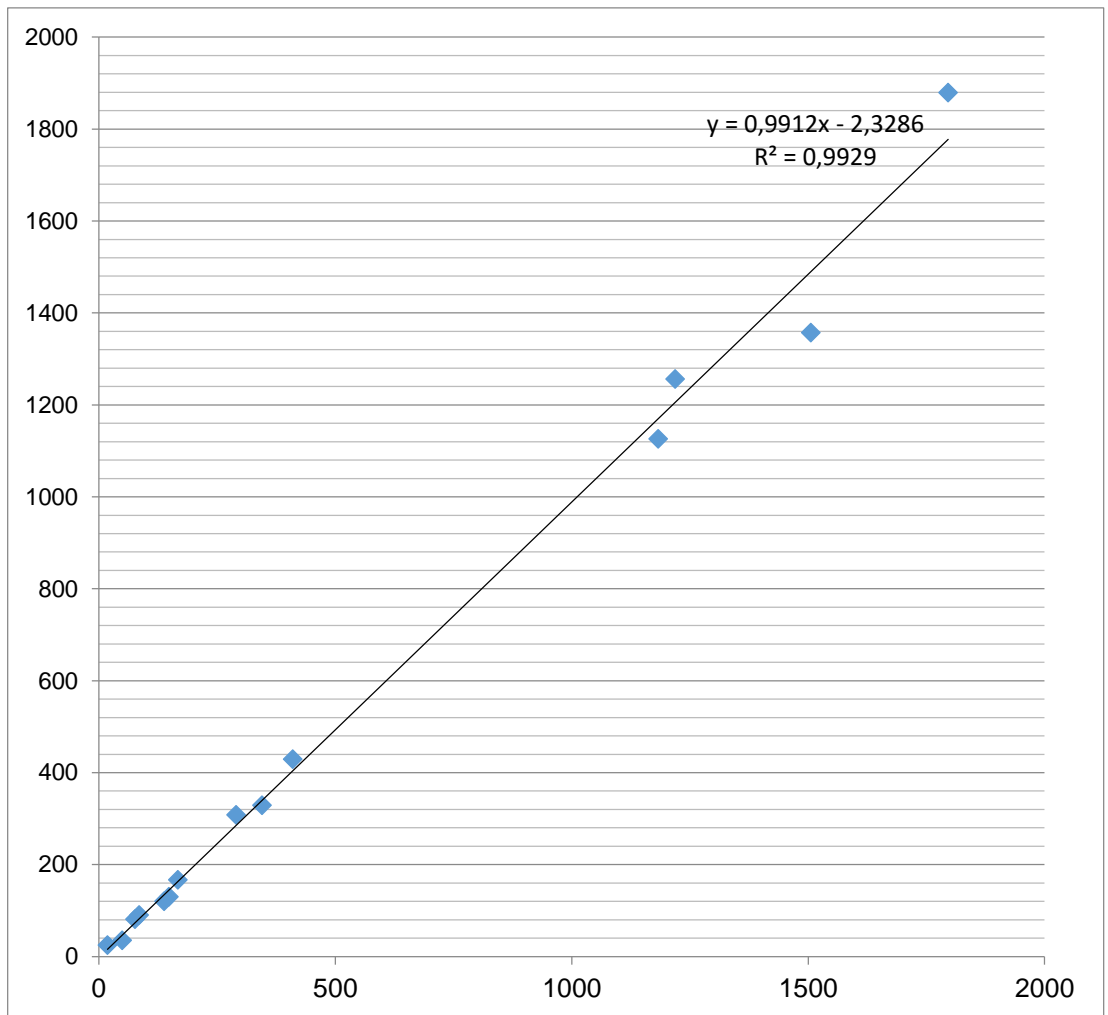


Ilustración 36 Dispersión de la calibración.  
Fuente: Elaboración propia

En la **Ilustración 36** se puede apreciar como el coeficiente  $R^2$  presenta un valor cercano a 1, lo cual válida la representatividad del modelo con los datos reales.

Hasta este punto ya se ha ingresado al software la información estática del modelo y gran parte de la información dinámica del mismo; finalmente se procede a introducir al programa la información correspondiente al transporte público, de acuerdo a los escenarios que se detallan a continuación.

### **3.1.3.6 Definición de escenarios para el SITP**

Uno de los objetivos del presente trabajo de grado consiste en proponer alternativas de mejora para disminuir los altos tiempos de permanencia en parada y optimizar la operación de los buses en estas, tomando como caso de estudio la calle 72 entre carrera 68 y Avenida Boyacá; por lo tanto es importante evaluar la efectividad de dichas medidas, lo cual se realizará a través de la evaluación y análisis de los impactos en el tráfico al implementarlas; debido a que la información primaria disponible solo nos brinda información del escenario actual, se hace necesario alimentar los demás escenarios con la información obtenida en los estudios analizados en el presente proyecto de grado en el capítulo

Revisión de literatura; a partir de esta información se han podido definir los siguientes escenarios; es importante mencionar que estos estudios nos brindan información de los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros (seg/pax) para diferentes condiciones, los cuales serán multiplicados por el número de pasajeros que ascienden y descienden respectivamente en el paradero No. 5 (Cl 75 x Kr 74A) el cual presenta el mayor número de volúmenes de buses y de pasajeros del SITP en una hora.

#### **a) Escenario 1: Situación actual SITP**

El funcionamiento de las paradas de buses del SITP como sucede en la actualidad.

**Tabla 37 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 1 -**

<b>Paradero</b>	<b>Promedio (Seg)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Parada 1 (CI 72 x Kr 68G)	18,29	10,45
Parada 2 (CI 72 x Kr 69B)	12,80	7,94
Parada 3 (CI 72 x Kr 69P)	13,73	9.39
Parada 4(CI 72 x Kr 70F)	12,57	6,64
Parada 5 (CI 72 x Kr 74 <sup>a</sup> )	16,23	9,96

Fuente: Elaboración propia

La información de la **Tabla 37** es suministrada al software, el cual calcula los tiempos de permanencia en parada de cada bus haciendo uso de una distribución normal con los anteriores datos.

b) Escenario 2: Pago fuera del bus

Para este escenario se modela la situación en que el pago se realiza fuera del bus y la tipología del vehículo se mantiene igual al escenario 1; para esto se tomaron los tiempos de ascenso y descenso encontrados en Fernández, 2012; se asumieron los tiempos de apertura y cierre de puertas de cada parada obtenidos en la información primaria del presente estudio:

Tiempo de ascenso: 1.54 seg/pax

Tiempo de descenso: 1.22 seg/pax

Los tiempos totales de permanencia en parada fueron determinados a través de las fórmulas expuestas en el capítulo **3.1.2.11**.

**Tabla 38 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 2 -**

<b>Paradero</b>	<b>Promedio (Seg)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Parada 1 (CI 72 x Kr 68G)	12,96	6,03
Parada 2 (CI 72 x Kr 69B)	9,36	6,29
Parada 3 (CI 72 x Kr 69P)	10,17	5,46
Parada 4(CI 72 x Kr 70F)	10,16	4,28
Parada 5 (CI 72 x Kr 74A)	10,25	6,29

Fuente: Elaboración propia

c) Escenario 3: Pago fuera del bus + buses con plataforma baja

Para este escenario se modela la situación en que el pago se realiza fuera del bus y el vehículo cambia de plataforma alta a plataforma baja; para esto se tomaron los tiempos de ascenso y descenso encontrados en Tirachini, 2013; se asumieron los tiempos de apertura y cierre de puertas de cada parada obtenidos en la información primaria del presente estudio:

Tiempo de ascenso: 1,46 seg/pax

Tiempo de descenso: 1.18 seg/pax

Los tiempos totales de permanencia en parada fueron determinados a través de las fórmulas expuestas en el capítulo **3.1.2.11**.

**Tabla 39 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 3 -**

<b>Paradero</b>	<b>Promedio (Seg)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Parada 1 (CI 72 x Kr 68G)	12,77	5,95
Parada 2 (CI 72 x Kr 69B)	9,23	6,29
Parada 3 (CI 72 x Kr 69P)	10,02	5,39
Parada 4(CI 72 x Kr 70F)	10,05	4,28
Parada 5 (CI 72 x Kr 74A)	10,19	6,29

Fuente: Elaboración propia

d) Escenario 4: Puertas anchas + pago fuera del vehículo

Para este escenario se modela la situación en que el pago se realiza fuera del vehículo y el bus cambia de puertas angostas a puertas anchas; para esto se tomaron los tiempos de ascenso y descenso encontrados en Fernández, 2012; se asumieron los tiempos de apertura y cierre de puertas de cada parada obtenidos en la información primaria del presente estudio:

Tiempo de ascenso: 1,46 seg/pax

Tiempo de descenso: 1.18 seg/pax



**Tabla 40 Tiempos promedios de permanencia – Escenario 4 -**

<b>Paradero</b>	<b>Promedio (Seg)</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Parada 1 (CI 72 x Kr 68G)	11,76	5,81
Parada 2 (CI 72 x Kr 69B)	8,42	6,31
Parada 3 (CI 72 x Kr 69P)	9,20	5,25
Parada 4(CI 72 x Kr 70F)	9,33	4,10
Parada 5 (CI 72 x Kr 74A)	9,79	6,31

Fuente: Elaboración propia

Las modelaciones para cada uno de los anteriores escenarios se encuentran en el anexo No. 3.

### **3.1.3.7 Resultados y Análisis**

**Tabla 41 Tiempos promedios de permanencia (seg)**

<b>Paradero</b>	<b>Esc. 1</b>	<b>Esc. 2</b>	<b>Esc. 3</b>	<b>Esc. 4</b>
Parada 1 (CI 72 x Kr 68G)	18,29	12,96	12,77	11,76
Parada 2 (CI 72 x Kr 69B)	12,80	9,36	9,23	8,42
Parada 3 (CI 72 x Kr 69P)	13,73	10,17	10,02	9,20
Parada 4(CI 72 x Kr 70F)	12,57	10,16	10,05	9,33
Parada 5 (CI 72 x Kr 74A)	16,23	10,25	10,19	9,79

Fuente: Elaboración propia

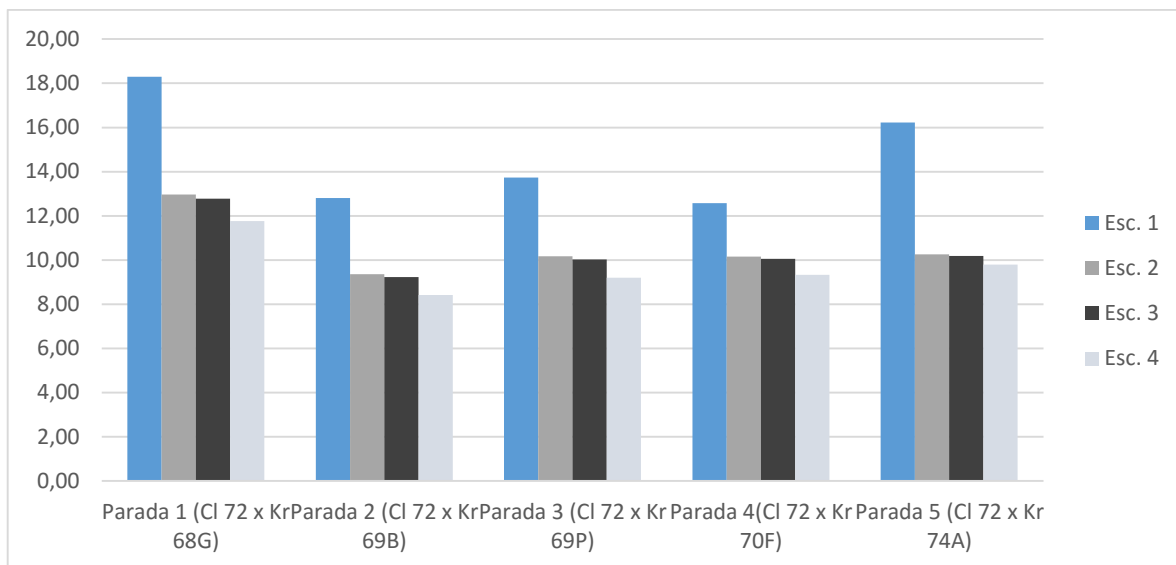


Ilustración 37 Tiempos promedios de permanencia (seg).  
Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los tiempos de permanencia obtenidos para cada uno de los paraderos analizados en el presente estudio obtenemos que el escenario en el que se consigue una mayor optimización del tiempo de permanencia en parada es el número 4, en el cual se realiza el pago fuera del vehículo y las puertas son anchas, ahorrando de esta manera el tiempo en el cual las personas acercan la tarjeta al validador, el tiempo de giro del torniquete y permitiendo el ingreso de varios usuarios al tiempo. Las diferencias entre este escenario y el actual oscilan entre los 3.24 segundos y los 6.53 segundos.

Los resultados expuestos en la **Tabla 41** indican que el factor más predominante para la reducción de los tiempos de permanencia en parada es el ancho de las puertas y dada la similitud entre los resultados del escenario 2 con el escenario 3, se puede evidenciar que la plataforma del vehículo no es un factor predominante en estos tiempos.

A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios en el software PTV vissim; los factores analizados en cada paradero corresponden a la longitud de cola promedio y máxima (hilera de

vehículos detenidos) y a las demoras por detención, siendo este último el tiempo promedio que un vehículo permanece parado en una cola mientras espera su turno para pasar (Fontalvo, 2013).

Es importante aclarar que una vez se corrió el modelo, se pudo observar como las longitudes de cola en el paradero 3 eran hasta 13 veces más grandes que las presentadas en los otros paraderos, lo cual no coincidía con lo observado en campo y en el modelo; al analizar cada uno de los archivos fue posible notar que en el paradero 3, el software estaba incluyendo las longitudes de cola generadas por la existencia del semáforo por lo cual fue necesario hacer un modelo aparte para este paradero sin la existencia del semáforo. Esta segunda modelación se encuentra en el anexo No. 3.

**Tabla 42 Resultados de longitud de cola y demoras por escenario**

Paradero	Escenario 1 (Situación actual)			Escenario 2 (Pago fuera del vehículo)			Escenario 3 (Pago fuera del vehículo + plataforma baja)			Escenario 4 (Puertas anchas + pago fuera del vehículo)		
	Cola Promedio (m)	Cola máxima (m)	Demoras por detención (s)	Cola Promedio (m)	Cola máxima (m)	Demoras por detención (s)	Cola Promedio (m)	Cola máxima (m)	Demoras por detención (s)	Cola Promedio (m)	Cola máxima (m)	Demoras por detención (s)
P1	4,13	15,88	1,11	3,39	15,84	1,13	3,39	15,85	1,1	3,27	15,85	0,04
P2	6,38	123,4	1,39	4,96	107,94	0,95	5,51	94,93	0,92	4,25	87,54	0,18
P3	8,72	101,31	1,44	5,7	107,34	0,56	6,85	145,74	0,92	5,38	91,56	0,13
P4	2,57	29,42	0,27	1,64	30,8	0,05	1,84	29,51	0,15	1,7	23,88	0,11
P5	2,50	17,52	0,28	1,87	16,19	0,16	1,93	17,51	0,19	2,04	17,51	0,19

Fuente: Elaboración propia

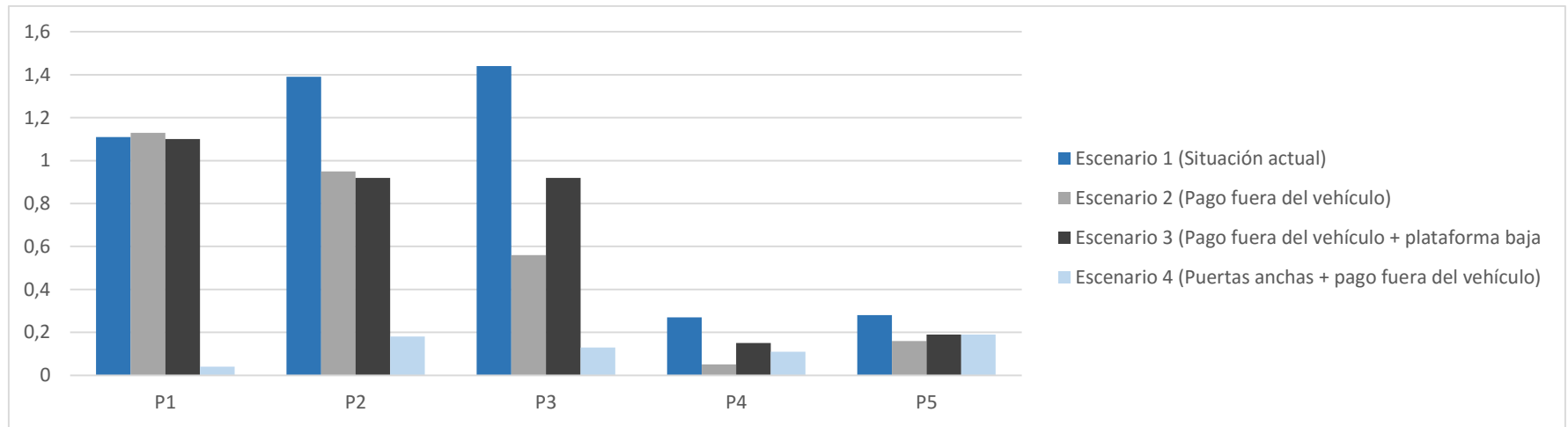


Ilustración 38 Demoras por detención (s).  
 Fuente: Elaboración propia

Los resultados permiten ver que el escenario que ofrece menores tiempos promedio de demoras por detención es el escenario No. 4, es decir, implementar buses con puertas anchas y permitir el pago fuera de los vehículos. Los resultados del software muestran una relación con los tiempos de permanencia indicados en la **Tabla 41** para el escenario 1.

En el paradero 3, 4 y 5 los cuales se encuentran cerca de las intersecciones con mayor flujo vehicular, responden de forma positiva a los cambios planteados frente al actual modelo de pago.

## Conclusiones

La reorganización de los sistemas de transporte público de pasajeros que empezó en las principales ciudades del país con la implementación de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo, ha continuado avanzando no solo en estas grandes ciudades, sino también en las ciudades intermedias del país, a través de la transformación de sus sistemas de transporte público colectivo dando lugar a los Sistemas de Transporte Público de Pasajeros (SITP) o a los Sistemas Estratégicos de Transporte Público de Pasajeros (SETP).

Con la implementación de estos sistemas, las autoridades buscan propiciar una movilidad sostenible para las ciudades (DNP, 2008) a través de un cambio de esquema e inclusión de nuevos componentes. Este cambio incluye la implementación del Sistema de Recaudo Centralizado el cual no solo trae consigo la adecuación de una plataforma tecnológica sino también la implementación de una nueva metodología de pago que busca dejar atrás el método de pago con efectivo para dar paso a nuevas técnicas y métodos que permitan la integración del sistema.

Con el presente trabajo se estudió el impacto en los tiempos de permanencia en parada de los buses debido al anterior cambio mencionado, aprovechando la situación presentada en Bogotá, en la que el sistema con pago en efectivo, TPC, y el nuevo sistema SITP, aún operan de forma simultánea, permitiendo obtener los tiempos implementados en los paraderos de los buses para cada uno de estos sistemas.

Inicialmente se realizó una investigación sobre situaciones analizadas en otras ciudades del mundo, encontrando que el sistema que más se asemeja al SITP de Bogotá dada la tipología vehicular y el método de pago, es de la ciudad de Shanghai el cual presenta tiempos de ascenso más bajos que los de la ciudad de Bogotá.

Posteriormente con la anterior información primaria se pudo encontrar que los tiempos de ascenso para el SITP son mayores a los tiempos del TPC, cuando los primeros poseen una ocupación vehicular alta encontrando diferencias de hasta 1.2 segundos por pasajero.

En cuanto a los tiempos de descenso, al comparar los obtenidos para el SITP y el TPC no se encontró una diferencia significativa; pero al analizar los vehículos pertenecientes al

nuevo sistema se puede determinar que los tiempos de descenso pueden llegar a ser hasta 1 segundo por pasajero mayores si los vehículos cuentan con una ocupación vehicular alta.

Se evidenció la alta tendencia de los vehículos del TPC a circular con su puerta delantera y trasera abierta, práctica que permite ahorros tiempos promedios de 2.44 segundos al no tener que abrir la puerta y de 4.29 segundos al evitar cerrarla.

Todo lo anteriormente mencionado repercute finalmente en los tiempos totales que cada bus permanece en el paradero, demostrando que en promedio, un vehículo del SITP puede invertir aproximadamente 5 segundos más en cada paradero con el nivel de usuarios existente en la fecha de toma de información.

Es importante destacar que en la actualidad el SITP no se encuentra implementado en su totalidad y que para la fecha de los aforos este sistema se encontraba implementado en un 60% aproximadamente de acuerdo a notas periodísticas publicadas en dicha fecha; esto nos invita a reflexionar que una vez esté implementado el sistema en un 100%, estos tiempos de permanencia van a ser mayores debido a una mayor cantidad de usuarios pagando con tarjeta.

Es por lo anterior y con el objeto de minimizar estos tiempos que en definitiva terminarán afectando el tiempo total de viaje, que se procedió a realizar una investigación de medidas tendientes a la mejora de la operación en parada, encontrando alternativas que se describen en este documento con el fin de ponerlas a la mano de los actores encargados de gestionar los sistemas de transporte en el país.

Como complemento a lo anterior se pudieron evaluar diferentes cifras de sistemas de transporte público y las particularidades de dichos sistemas; esto permitió comparar los tiempos invertidos en otras ciudades frente a los invertidos en la ciudad de Bogotá, encontrando que con ciertas características es posible optimizar estos tiempos.

Estas características hacen referencia a la plataforma baja de los vehículos, puertas anchas y pago fuera del vehículo, las cuales en comparación con las condiciones del SITP podían llegar a reducir aproximadamente en un 50% y 60% los tiempos de ascenso y descenso respectivamente.



Para evaluar estas alternativas se generaron 3 nuevos escenarios en los que se consideraba la modificación de estos parámetros en el sistema actual para lo cual se desarrollaron dos procesos, el primero de ellos consistió en reemplazar en la información encontrada para el SITP de la ciudad de Bogotá, los tiempos de ascenso y descenso de las otras ciudades, encontrando los tiempos de permanencia para cada uno de estos escenarios.

El resultado encontrado es que la alternativa más eficiente, es decir que más optimiza los tiempos de permanencia en parada es el escenario No. 4, en el cual se plantea la incorporación de flota con puertas anchas y el pago fuera del vehículo, encontrando reducciones de tiempo que se encuentran alrededor de los 6 segundos. Este resultado nos permitió inferir que resulta más efectivo implementar vehículos con puertas anchas que vehículos con plataforma baja.

Si bien es cierto que estos últimos se incorporan con la finalidad de permitir la movilización de personas con movilidad reducida, es importante analizar otras alternativas para esta población como la incorporación de servicios especiales.

El segundo proceso consistió en la evaluación a través del software PTV vissim de cada uno de estos escenarios y las demoras promedio generadas en cada paradero a causa de la detención de los buses en los mismos, afectando el tráfico particular; de igual manera se encontró que es el escenario No. 4 el que genera menores demoras por detención.

Finalmente podemos concluir que la implementación del nuevo sistema de transporte trajo consigo un incremento en los tiempos de permanencia en parada ocasionado por la aparición de nuevas prácticas inexistentes en el TPC, por lo cual y dado que las ventajas que este sistema ha traído consigo (integración tarifaria, paraderos establecidos, protección del medio ambiente) se propone contrarrestar este efecto en los tiempos de operación en parada, especialmente en paraderos de alta demanda, con alternativas que pueden disminuir estos tiempos, siendo el más efectivo para el caso de estudio, la implementación de vehículos con puertas anchas y el pago fuera del mismo.

Actualmente, ciudades como Pereira se encuentran en proceso de implementación de su SITP y ciudades intermedias como Santa Marta, Pasto, Valledupar, Neiva, Montería, Sincelejo, Popayán y Armenia de los SETP, por lo tanto, la experiencia de Bogotá puede

constituirse como una herramienta valiosa en las decisiones que se tomen para la operación e infraestructura de dichos sistemas, y en lo concerniente a este trabajo de grado, la operación en paraderos.

### **Lista de referencias**

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). *Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá D.C.* Recuperado de: <http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=170>

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2005). *Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte.* Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/165594410/Manual-de-planeacion-y-diseno-para-la-administracion-del-transito-y-del-transporte-Tomo-1>

Bogotá Cómo Vamos. (2014). *Informe de Calidad de Vida Bogotá 2014.* Recuperado de: <http://www.bogotacomovamos.org/calidad-de-vida-bogota/>

Compañía del Tranvía de San Sebastián S.A. (2009). *Implantación de un Sistema de Autobuses de Alta Calidad Para Donostia San Sebastián.* San Sebastián – España. Recuperado de: <http://www.dbus.eus/wp-content/uploads/2014/04/2-implantacion-de-un-sistema-de-autobuses-de-alta-calidad-para-donostia-san-sebastian.pdf>

Coopman del Río, C. *Área de Prepago Extravehicular: Infraestructura de Soporte para el Transporte Público (tesis de maestría).* Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado de: <http://www.estudiosurbanos.uc.cl/respaldo/wp-content/uploads/2011/01/readeprepagoextravehicular.Infraestructuradesoporteparaeltransportepublico.pdf>

Dueker, K.; Kimpel, T.; Strathman, J. (2004). *Determinants of Bus Dwell Time.* Portland State University. *Journal of Public Transportation.* Vol 7. No. 1, pp. 21-40. Recuperado de: <http://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2010/03/JPT-7-1-Dueker.pdf>

EMBARQ. (2012). *Seguridad Vial en Corredores de Autobús*. Recuperado de: [http://www.wrirosscities.org/sites/default/files/EMB2012\\_Seguridad\\_Vial\\_en\\_Corredores\\_de\\_Autobus\\_Version\\_Piloto.pdf](http://www.wrirosscities.org/sites/default/files/EMB2012_Seguridad_Vial_en_Corredores_de_Autobus_Version_Piloto.pdf)

Feldman, O. (2012). *The GEH Measure and Quality of the Highway Assignment Models. Transport For London*. Londres – Reino Unido. Recuperado de: <http://abstracts.aetransport.org/paper/index/id/3842/confid/18>

Fernández, R. (2012). *Efectos del Alto del Andén, Ancho de Puertas, Cobro de Tarifa y Densidad de Pasajeros en la Demora a los Buses en Paraderos. Resultados de Experimentos en Laboratorio*. Santiago – Chile. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/263889426\\_alto\\_del\\_anden\\_ancho\\_de\\_puertas\\_y\\_cobro\\_de\\_tarifa\\_en\\_la\\_demora\\_al\\_transporte\\_publico\\_resultados\\_de\\_experiencias\\_en\\_laboratorio](https://www.researchgate.net/publication/263889426_alto_del_anden_ancho_de_puertas_y_cobro_de_tarifa_en_la_demora_al_transporte_publico_resultados_de_experiencias_en_laboratorio)

Fontalvo, K. (2013). *Modelación del Tránsito Vehicular con el Software PTV Vissim Tramo Bomba El Gallo – Bomba El Amparo (tesis de pregrado)*. Universidad de Cartagena. Recuperado de: <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/532/1/MODELACION%20DEL%20TRAFICO%20VEHICULAR%20CON%20EL%20SOFTWARE%20PTV%20VISSIM%20TRAMO%20BOMBA%20EL%20GALLO-%20BOMBA%20EL%20AMPARO.pdf>

Gaspar, I. (2013). *Diseño de un Sistema de Autobús de Alto Nivel de Servicio (BHLS) en la ciudad de Santander*. Santander – España.

Granich, A. *Semáforos Inteligentes*. Universidad de Sonora. México. Recuperado de: <https://docs.google.com/document/d/1xvsngrAZt0C13mN0r861zlpMRyhufifqr28QkQcbF8k/edit?hl=es>

Gómez, C. (2011). *Políticas de Transporte Urbano: El Caso del Sistema Masivo de Transporte en el Área Metropolitana de Cali*. Revista de Economía y Administración. Vol. 8 No. 1, pp. 101-123. Recuperado de: <http://www.uao.edu.co/sites/default/files/GOMEZ.PDF>

Jiménez, M. (2011). *Sistema Adaptativo de Control y Optimización del Tráfico de un Corredor Vial Semaforizado. Aplicación Ciudad de Medellín (Tesis de maestría)*.

Universidad Nacional de Colombia. Medellín – Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8099/>

Martínez, Y. (2013). *Determinación de la Viabilidad en la Implementación de una Intersección Tipo Diamante en Ciudades Colombianas (tesis de maestría)*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.

Moller, R. (2005). *Gestión Ambiental del Transporte Urbano Bajo Criterios de Desarrollo Sostenible*. Revista Eidenar. Núm. 4. Pp. 19-28. Universidad del Valle. Cali – Colombia. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231117588004.pdf>

Moller, R. *Una Propuesta de Mejoramiento del Transporte Público Colectivo en Santiago de Cali*. Revista Ingeniería y Competitividad. Vol. 3. No. 1. Cali – Colombia. Recuperado de: <http://revistaingenieria.univalle.edu.co:8000/index.php/incompe/article/view/30>

Pardo, C. (2009). *Los Cambios en los Sistemas Integrados de Transporte Masivo en las Principales Ciudades de América Latina*. Recuperado de: <http://archivo.cepal.org/pdfs/2009/S2009308.pdf>

Rabban, S. *Different Payment Methods Impact on Transit Speed and Performance*. Transportation Economics CE 8214. Recuperado de: [http://ncite.starchapter.com/images/downloads/Student\\_Papers/different\\_payment\\_methods\\_impact\\_on\\_transit\\_speed\\_and\\_performance.pdf](http://ncite.starchapter.com/images/downloads/Student_Papers/different_payment_methods_impact_on_transit_speed_and_performance.pdf)

Ramírez, E. (2012). *Comparación de la Interacción Vehicular Inducida por el Empleo de Carriles Preferenciales para el Transporte Público Utilizando Microsimulación de Tráfico*. Universidad Autónoma de Queretaro. México.

Secretaria Especial de Desarrollo Urbano de la Presidencia de la República; Asociación Nacional de Empresas de Transportes Urbanos. (2002). *Prioridad Para el Transporte Colectivo Urbano*.

Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*.

Transportation Research Board. (1996). *Guidelines for the Location and Design of Bus Stops*. Transit Cooperative Research Program.

Transportation Research Board. (2003). *Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines*.

Tirachini, A. (2013). *Bus Dwell Time: The Effect of different fare collection systems, bus floor level and age of passengers*. *Transportmetrica A: Transport Science*. Recuperado de: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/18128602.2010.520277>

TRIMET. (2010). *Bus Stops Guidelines*. Recuperado de: [http://nacto.org/docs/usdg/bus\\_stop\\_guidelines\\_trimet.pdf](http://nacto.org/docs/usdg/bus_stop_guidelines_trimet.pdf)

Urazán, C; Velandia, E; Sánchez, E. (2012). *Consideraciones a la Implementación de Paraderos Obligatorios para el Transporte Público Colectivo en Bogotá*. *Tecnura*. Vol. 16. Pp. 152-162.

Zhang, C; Teng, J. (2013). *Bus Dwell Time Estimation and Prediction: A Study Case in Shanghai – China*. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813022775>

## **Anexos**

ANEXO 1: 1. INFORMACIÓN DE CAMPO

ANEXO 2: 2. INFORMACIÓN SECUNDARIA

ANEXO 3: 3. MICROSIMULACIONES