

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE
TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO



LUIS CARLOS ARÉVALO QUINTERO



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2011

METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE
TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO

LUIS CARLOS ARÉVALO QUINTERO

Proyecto de grado en modalidad de investigación para optar el título de Ingeniero
Civil

Director

Hernán Porras Díaz

Doctor en ingeniería telemática

Codirector

Carlos Enrique Bueno

Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2011

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios padre, quien nos da la oportunidad de estudiar los fenómenos físicos de la naturaleza que nos rodea, permitiendo de esta forma mejorar nuestra calidad de vida.

Agradezco a mi director de proyecto el Doctor Hernán Porras Díaz por darme la oportunidad de llevarlo a cabo, ofreciéndome el tema de investigación y todas las herramientas posibles para un desarrollo investigativo más agradable.

Agradezco muy especialmente al Ingeniero Carlos Bueno quien con su invaluable conocimiento y experiencia me sirvió de guía y estuvo siempre atento a las dudas que surgieron durante el desarrollo de la investigación.

También agradezco a mis padres y profesores por el apoyo que siempre me brindaron durante mi formación como Ingeniero Civil.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. METODOLOGIA E INSTRUMENTACION PARA LA INVESTIGACION	19
2. CONCEPTOS IMPORTANTES DE MOVILIDAD	21
2.1 SISTEMA AUTOMATICO DE LOCALIZACION DE VEHICULOS (Automatic Vehicle Location- AVL)	21
2.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	22
2.3 CARRIL MIXTO	23
2.4 CARRIL EXCLUSIVO	23
2.5 BUS ARTICULADO	24
2.6 BUS PADRÓN	24
2.7 BUS ALMENTADOR	24
2.8 SECCIONES DE RUTA	26
2.9 MEDIA	26
2.10 DESVIACIÓN ESTÁNDAR	27
2.11 CONFIABILIDAD	27
2.12 FLUJO VEHICULAR q	27
2.13 DENSIDAD DE TRÁFICO K	28
2.14 VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL v_e	28
2.15 VELOCIDAD DE OPERACIÓN v_0	28
2.16 VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL A FLUJO LIBRE. v_i	28
2.17 DENSIDAD DE CONGESTIONAMIENTO KC	29
2.18 VALORES CONTINUOS	30
2.19 VALORES DISCRETOS	30
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	31
3.1 EXPERIENCIAS A NIVEL MUNDIAL	31
3.2 METODOLOGÍAS PARA EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN	35

4. SELECCIÓN DE LA RUTA.....	44
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RUTA.....	46
5. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS PARA LA RUTA EN ESTUDIO.....	53
5.1 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE VIAJE	54
5.2 CONFIABILIDAD DE LOS INTERVALOS	55
5.3 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL Y LA DENSIDAD DE TRÁFICO.....	57
5.4 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE ESPERA DE LOS PASAJEROS	59
5.5 PROBABILIDAD DE LLEGADA DE LOS PASAJEROS A LOS PARADEROS	61
5.5.1 Distribución de Poisson.	61
6. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.	63
6.1 VELOCIDADES DE OPERACIÓN.....	66
6.2 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE VIAJE	74
6.3 CONFIABILIDAD DE LOS INTERVALOS	77
6.4 PROBABILIDAD DE LLEGADA DE LOS PASAJEROS A LOS PARADEROS	80
6.5 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE ESPERA DE LOS PASAJEROS	94
6.6 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL Y LA DENSIDAD DE TRÁFICO.....	97
7. METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS TIEMPOS DE VIAJE.....	110
8. SUGERENCIAS DE MEJORAMIENTO.....	111
8.1 REESTRUCTURACIÓN DEL RECORRIDO	111
8.2 CONTROL EN EXTREMOS DE RUTA	111
8.3 FORTALECIMIENTO CENTRO DE CONTROL.....	112
8.4 ROTACIÓN DE CONDUCTORES.....	112
8.5 MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS	112

8.6 DESPACHOS EXTRAS DESDE PUNTOS DE ALTA DEMANDA.....	112
8.7 OPTIMIZACIÓN DE FRECUENCIAS	113
8.8 OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CICLO.....	113
8.9 SENSIBILIZAR A LOS USUARIOS DEL BUEN USO DE LOS VEHÍCULOS	114
8.10 REDEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD OPERACIONAL DE LA FLOTA	114
8.11 SINCRONIZACIÓN SEMAFÓRICA.....	114
8.12 COBERTURA GPS.....	115
9. CONCLUSIONES.....	116
10. BIBLIOGRAFÍA	121

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de actividades para el desarrollo de la investigación.....	20
Figura 2. Funcionamiento del Sistema AVL	22
Figura 3. Flujo libre del vehículo.	29
Figura 4. Densidad de congestión Kc	29
Figura 5. Localización de la ruta P3.....	45
Figura 6. Distribución de carriles ruta P3	51
Figura 7. Factores externos que afectan los intervalos programados.....	56
Figura 8. Relación lineal entre velocidad y densidad.	58
Figura 9. Flujo máximo.....	59
Figura 10. Arborización en Bucarica.	63
Figura 11. Velocidad para la primera fracción de día.....	67
Figura 12. Velocidad para la segunda fracción de día.	68
Figura 13. Velocidad para la tercera fracción de día.....	68
Figura 14. Velocidad para la cuarta fracción de día.	69
Figura 15. Velocidad para la quinta fracción de día.	69
Figura 16. Velocidad para la sexta fracción de día.	70
Figura 17. Velocidad para la séptima fracción de día.	70
Figura 18. Velocidad para la octava fracción de día.	71
Figura 19. Velocidad para la novena fracción de día.	71
Figura 20. Variabilidad en las velocidades de operación.	72
Figura 21. Velocidades de operación ejecutadas y velocidad de operación programada.....	73
Figura 22. Probabilidad pico del medio día 12:10 - 12:30 P.M.....	85

Figura 23. Probabilidad pico del medio día 12:35 - 1:05 P.M.....	85
Figura 24. Probabilidad pico del medio día 1:10 - 2:00 P.M.....	86
Figura 25. Probabilidad pico de la noche: 6:00 - 6:35 P.M.....	86
Figura 26. Probabilidad pico de la noche: 6:40 - 6:55 P.M.....	87
Figura 27. Probabilidad pico de la noche: 7:00 - 7:35 P.M.....	87
Figura 28. Probabilidad pico de la noche: 7:40 – 8:00 P.M.....	88
Figura 29. Paraderos aforados para la tasa de llegada de pasajeros.	90
Figura 30. Probabilidad paradero UIS 6:00 – 6:55 P.M.....	90
Figura 31. Probabilidad paradero UIS 7:00 – 7:50 P.M.....	91
Figura 32. Probabilidad paradero SENA 6:00 – 6:40 P.M.....	91
Figura 33. Probabilidad paradero SENA 6:45 – 7:55 P.M.....	92
Figura 34. Probabilidad paradero Mercomfenalco 6:00 – 8:00 A.M	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Guía para la toma de datos de pasajeros en los paraderos.	36
Tabla 2. Guía final que se escoge para la toma de datos de pasajeros en los paraderos.....	37
Tabla 3. Rutas Sistema Metrolínea y tipos de bus.	44
Tabla 4. Paradas de la ruta P3 del Sistema Metrolínea.	49
Tabla 5. Secciones con información GPS disponible, para su análisis.	64
Tabla 6. Información duración de recorridos a través de las paradas disponibles.	65
Tabla 7: Variabilidad en las velocidades de operación.....	72
Tabla 8. Tiempos de viaje para 20 recorridos.	75
Tabla 9. Confiabilidad en los tiempos de viaje para cada una de las secciones. ..	76
Tabla 10. Intervalo para 20 recorridos en la estación cañaveral.	77
Tabla 11. Confiabilidad de los intervalos para cada una de las paradas.....	79
Tabla 12. Aforo de pasajeros – Tasa de llegada al paradero.	80
Tabla 13. Probabilidad 12:10 – 12:30 P.M. Parque de los niños.	83
Tabla 14. Resumen, promedio de llegada de pasajeros cada 5 minutos.	93
Tabla 15. Ejemplo, cálculo de la confiabilidad en el tiempo de espera de los pasajeros.	94
Tabla 16. Confiabilidad en los tiempos de espera de pasajeros en los paraderos.	95
Tabla 17. Constantes correspondientes al nivel de confianza.....	100
Tabla 18. Desviación estándar para el tamaño de la muestra.....	100
Tabla 19. Aforo para la obtención de la velocidad media a flujo libre (V_i).	101
Tabla 20. Aforo vehicular 30 de marzo.....	103

Tabla 21. Longitudes de camiones C2P, C2G y C3	104
Tabla 22. Relación flujo aforado y velocidades del sistema en 3 diferentes momentos.....	105
Tabla 23. Relación velocidades del sistema y densidad de tráfico en 3 diferentes momentos.....	106
Tabla 24. Comparación Greenshields y flujo vehicular aforado.....	108

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Panorámica de la autopista Floridablanca-Bucaramanga.	24
Fotografía 2. Bus tipo articulado.	25
Fotografía 3. Bus tipo padrón.	25
Fotografía 4. Bus tipo alimentador.	26
Fotografía 5. Ascenso de pasajeros al autobús.	38
Fotografía 6. Nivel de ocupación A.	40
Fotografía 7. Nivel de ocupación B.	41
Fotografía 8. Nivel de ocupación C.	41
Fotografía 9. Nivel de ocupación D.	42
Fotografía 10. Nivel de ocupación E.	42
Fotografía 11. Accesos de la ruta a carril exclusivo y viceversa.	46
Fotografía 12. Paradero de bus en carril exclusivo, aquí se le conoce con el nombre de estación.	48
Fotografía 13. Paradero de bus en carril mixto, aquí se le conoce con el nombre de paradero de andén.	48
Fotografía 14. Carriles exclusivos.	52
Fotografía 15. Carriles mixtos.	52

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.....	125
RELACIÓN DISTANCIA-TIEMPO PARA TODOS LOS RECORRIDOS.....	125
ANEXO B.....	126
VELOCIDADES ENTRE PARADEROS CONSECUTIVOS 19 DE ENERO DE 2011	126
ANEXO C.....	127
CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE VIAJE	127
ANEXO D.....	128
CONFIABILIDAD DE LOS INTERVALOS.....	128
ANEXO E.....	129
PROBABILIDAD TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS EN EL PARADERO DEL PARQUE DE LOS NIÑOS, HORA PICO DEL MEDIO DIA.....	129
ANEXO F	130
PROBABILIDAD TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS EN EL PARADERO DEL PARQUE DE LOS NIÑOS, HORA PICO DE LA NOCHE	130
ANEXO G	131
RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD VEHÍCULAR PARA LA CARRERA 27	131
ANEXO H.....	132
TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS Y TASA DE LLEGADA DE BUSES PARA LAS DIFERENTES PARADAS AFORADAS.....	132

RESUMEN

TÍTULO: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VELOCIDADES DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO*

AUTOR: Luis Carlos Arévalo Quintero**

PALABRAS CLAVE: Velocidad de operación, Confiabilidad, movilidad, optimización

DESCRIPCIÓN:

Hay varios indicadores que afectan las velocidades programadas de operación en los sistemas de transporte público masivo, la gran demanda de pasajeros en horas pico, la congestión vehicular (transporte privado), la meteorología, el conductor, el estado del vehículo, las características de la ruta (como su longitud o exclusividad) son solo algunos de los aspectos que influyen en la confiabilidad que un sistema de transporte ofrece a sus clientes.

En este estudio Analizaremos la ruta P3 del Sistema Metrolínea, pues es una de las rutas con mayor cantidad de problemas durante los periodos picos del día, y a su vez la que más demanda de pasajeros presenta.

Se aprovecharon los datos arrojados por el sistema AVL, para analizar las velocidades de operación. Como resultado de esto se encontraron problemas en diferentes puntos, tanto del recorrido como a lo largo del día; también se hizo un análisis de confiabilidad tanto en los tiempos de viaje entre paraderos como en los intervalos entre recorridos, estas confiabilidades muestran los segmentos del recorrido con mayores problemas; además se hizo un análisis de la probabilidad de llegada de pasajeros a diferentes paraderos, evaluando la capacidad de los buses para atender la demanda de usuarios. Al analizar todos estos patrones de afectación, se encontró una metodología general que facilita el estudio para cualquier otro tipo de ruta y se recomendaron diferentes tipos de estrategias para el mejoramiento de las confiabilidades.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz, Codirector: Carlos Enrique Bueno Cadena.

ABSTRACT

**TITLE: METHODODOLOGY FOR THE BEHAVIOUR ANALYSIS OF OPERATING SPEEDS
IN MASSIVE PUBLIC TRANSPORT SYSTEMS***

AUTHOR: Luis Carlos Arévalo Quintero**

KEY WORDS: Operating speed, reliability, mobility, Optimization.

DESCRIPTION:

There are several indicators that affect the speeds programmed of operation in the massive public transport system, the high demand of passengers in peak hours, the traffic congestion (private transport), meteorology, driver, vehicle conditions, characteristics of the route (as its length or exclusivity) are just some of the aspects that influence in the reliability that a transport system offers its clients.

In this study we will analyze a Metrolínea System's route, the route P3; it is one of the routes with more problems during the peaks periods throughout the day, and one with more passenger demand.

It took advantage of data obtained from AVL system, to analyze operating speeds. As a result, problems were found at different points, both the route and throughout the day; also a reliability analysis was made in both travel time between stops and headway between services, These reliabilities show the segments services with major problems; also there was done an analysis of the arriving passengers probability to different bus stops, evaluating the capacity of the buses to attend the passengers demand. Analyzing these patterns of involvement, a general methodology was found that facilitates the study for any other type of route and different types of strategies were recommended for the improvement of the reliabilities.

* Work Degree

** Faculty of Physics and Mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director Engineer Phd Hernán Díaz Porrás, (GEOMATICS research Group).

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este documento es diseñar una metodología que permita analizar los patrones de tiempo de viaje de un sistema integrado de transporte público masivo con el fin poder optimizar las velocidades de operación. Para realizar lo propuesto se debe analizar con anterioridad las tecnologías desarrolladas de investigaciones para la determinación de las condiciones de tráfico haciendo uso de tecnologías AVL, así como otras características que influyen de alguna manera en los tiempos de recorrido del sistema. De esta forma se podría proponer una metodología ajuste que mejore los tiempos de recorrido disminuyendo al mismo tiempo los costos de operación.

Teniendo en cuenta que los usuarios son el objeto de una empresa de transporte público, la confiabilidad que estos lleguen a tener hacia el servicio que se les presta deberá ser prioridad en los estudios de mejoramiento. Lógicamente los usuarios le prestan más atención al tiempo que deben esperar a que el siguiente bus pase a recogerlos a que si realmente el sistema se está ejecutando conforme a lo programado y dependiendo de este desempeño el tiempo de espera de un pasajero en el paradero es casi el doble de tiempo que este se encuentra a bordo del vehículo.

De aquí la importancia de investigar más afondo las características que afectan esta confiabilidad y de encontrar una metodología de mejoramiento que se pueda aplicar a un sistema de transporte público, enfocándose en el desarrollo de Bucaramanga

Si bien el tema no es nuevo, su aplicación ha estado limitada por el uso de tecnologías disponibles a bordo de los vehículos. Muchos investigadores alrededor del mundo han aportado con sus estudios al desarrollo de la movilidad en sus respectivas ciudades y solo por citar algunos se encuentran James G. Strathman

(1999), Mark A. Turnquist (1978), Avishai Polus (1978), quienes tocaron temas como mejoramiento, confiabilidad, regularidad y optimización, todo esto relaciona a los sistemas de transporte masivo.

Para el desarrollo de esta investigación y debido a que el sistema GPS solo nos permite obtener datos como posición y tiempo de los vehículos, más no nos permite recolectar información de cantidad de pasajeros que se suben a un vehículo o que dejan de subirse, se hizo necesaria la recolección de datos en campo en los periodos picos del día durante varios días, escogidos estos aleatoriamente. Las paradas que se tomaron como objeto de estudio presentan flujo típico de pasajeros, lo que nos permite tomarlas como paradas tipo; después de procesar y analizar todos estos datos en la oficina haciendo uso de herramientas estadísticas, se observaron tendencias y probabilidades en cuanto al movimiento de pasajeros se refiere, lo cual es muy útil a la hora de caracterizar los parámetros que afectan la confiabilidad de la ruta.

Los alcances de este estudio, a corto plazo, serán suficientes para tener el modelo de mejoramiento e implementar sus conclusiones en la optimización de la ruta en estudio, ahora bien, estudios futuros que refuercen esta investigación podrían ser aplicados en la creación de estrategias de programación que ayuden a mejorar la confiabilidad en todas las demás rutas del sistema. Este tipo de estudios sin lugar a dudas contribuyeron con el desarrollo del área metropolitana de Bucaramanga, caracterizando y mejorando la movilidad de esta ciudad.

1. METODOLOGIA E INSTRUMENTACION PARA LA INVESTIGACION

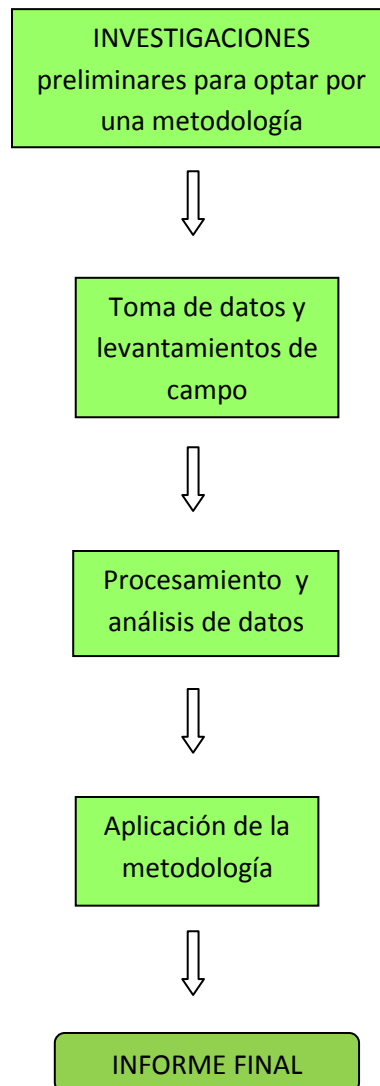
Para el correcto desarrollo del proyecto de investigación es necesario seguir una serie de pasos metodológicos los cuales se presentan en la figura 1.

Revisión bibliográfica de los avances científicos realizados en el mundo relacionado con el uso de la tecnología aplicable a la gestión de transporte público.

- Selección de la ruta que se va a estudiar, teniendo en cuenta algunos criterios de importancia y de prioridad.
- Trazado de la ruta seleccionada haciendo uso de imágenes de satélite (Google Earth), en este trazado se identifican los puntos críticos de la ruta para su análisis detallado, se utiliza la herramienta de dibujo AutoCad para el desarrollo de este ítem.
- Aforo de pasajeros, este aforo se hace en las paradas críticas, durante los periodos pico. Para esto se usan planillas sugeridas por el manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte.
- Recolección de datos suministrados por el sistema AVL que actualmente tienen todos los vehículos del Sistema Metrolínea, estos datos muestran la relación recorrido - tiempo de todos los vehículos a lo largo de todas las paradas.
- Determinación de las velocidades de la flota, y su relación con la congestión vehicular; haciendo uso del método GREENSHIELDS.

- Procesamiento de datos en la oficina, aplicando algunos conceptos investigados para obtener alternativas de solución a la problemática.
- Elaboración de informe final.

Figura 1. Diagrama de actividades para el desarrollo de la investigación.



2. CONCEPTOS IMPORTANTES DE MOVILIDAD

El tema de movilidad tiene muchos conceptos técnicos importantes que deben ser analizados previamente a la lectura de este proyecto, lo cual facilitará su buen entendimiento.

2.1 SISTEMA AUTOMATICO DE LOCALIZACION DE VEHICULOS (Automatic Vehicle Location- AVL)

El sistema de localización automática de vehículos, más comúnmente conocido como sistema AVL, permite la localización remota de vehículos en tiempo real.

La figura 2 muestra el funcionamiento del sistema AVL, que está compuesto por un sistema de localización GPS conectado a un servidor (por GPRS o por satélite), un servidor de almacenamiento, y un software que nos permite la visualización de la localización, esta figura muestra en general el funcionamiento para conocer el punto y la hora exactos de localización de un autobús y así hacer su respectiva captura de datos.

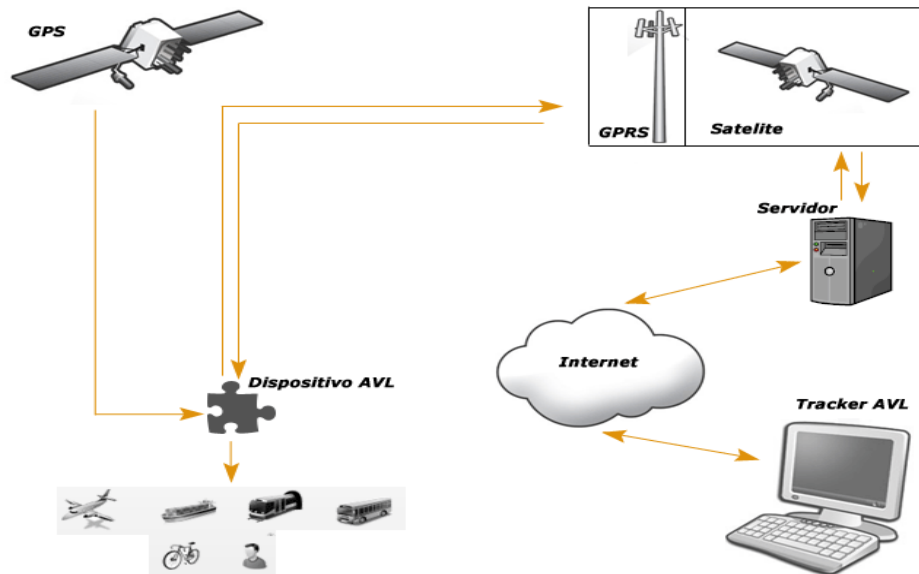
Según Jhon Jairo Padilla Aguilar¹, este sistema es más que un sistema de rastreo y recuperación, es una poderosa herramienta que permite realizar un control logístico de las flotas de vehículos; como la supervisión de rutas y horarios, en general permite:

- Economiza dinero al lograr un mejor rendimiento de los recorridos de flotas.
- Conocer al instante cualquier problema que pueda llegar a tener un vehículo durante su recorrido.

¹ PADILLA, Jhon Jairo. Localización automática de vehículos con GPS. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana.

- Obtener datos de espacio y de tiempo que permitan conocer las velocidades de la flota y su posterior análisis.

Figura 2. Funcionamiento del Sistema AVL



2.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Según A. Pozo Ruz integrante del departamento de tecnología electrónica de la Universidad de Málaga (España), el GPS es un sistema de localización, diseñado inicialmente por el departamento de inteligencia de Estados Unidos con únicos fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo.

Como vemos su fin último cambió ya que actualmente esta herramienta se aplica en diferentes áreas de la investigación, incluyendo la movilidad y el transporte, las estimaciones de las que habla Pozo Ruz, las aplicamos a la localización y análisis de vehículos.

Muchas personas tienden a confundir los significados GPS y AVL pero, como se vio en la figura 2 el GPS es solo un elemento del sistema AVL. Actualmente este sistema cuenta con un parámetro de exactitud de 1 a 3 metros, cifra que es muy aceptable si se piensa en la muy pequeña escala a la que trabajan estos tipos de sistemas.

En general el GPS, proporciona datos como: Longitud, latitud, altitud y tiempo, que posteriormente pueden ser analizados para obtener datos como velocidades.

2.3 CARRIL MIXTO

Cuando hablamos de carril mixto o corredor mixto, nos referimos a un segmento de carretera que presta servicio a todo tipo de vehículo (moto, coche, bus, microbús, etc.)

2.4 CARRIL EXCLUSIVO

Cuando hablamos de carril exclusivo o corredor exclusivo, nos referimos a un segmento de carretera que presta servicio a un único tipo de vehículo, en este caso, de servicio público.

La fotografía 1 muestra la diferencia entre estos 2 tipos de carriles, esta fotografía fue tomada desde el puente peatonal del diamante en la ciudad de Bucaramanga.

Allí se puede observar la autopista que comunica al municipio de Floridablanca con el de Bucaramanga, el carril de la izquierda es exclusivo para el Sistema Metrolínea.

Fotografía 1. Panorámica de la autopista Floridablanca-Bucaramanga.



2.5 BUS ARTICULADO

Este vehículo tiene una capacidad para transportar a 160 pasajeros, está compuesto por 2 vagones, solo tiene puertas de acceso en la parte izquierda (para las estaciones), tiene otras 2 puertas a la derecha pero solo se usan en caso de emergencia. Este vehículo se puede apreciar en la fotografía 2.

2.6 BUS PADRÓN

Este vehículo tiene una capacidad para transportar a 90 pasajeros, tiene puertas de acceso tanto al lado derecho como al lado izquierdo. Puede parar tanto en estaciones como en corredores mixtos (andenes). Este vehículo se puede apreciar en la fotografía 3.

2.7 BUS ALMENTADOR

Este es un vehículo mucho más pequeño que los 2 anteriores, tiene capacidad para 48 pasajeros, su función principal es movilizar a los usuarios desde los

barrios, donde los padrones y articulados debido a su tamaño no pueden ingresar, hasta las estaciones. Este vehículo se puede apreciar en la fotografía 4.

Fotografía 2. Bus tipo articulado.



Fotografía 3. Bus tipo padrón.



Fotografía 4. Bus tipo alimentador.



2.8 SECCIONES DE RUTA

Segmento de ruta que va de una parada P_1 a una parada P_2 .

2.9 MEDIA

La media aritmética de cierto número de cantidades es la suma de sus valores dividido por su cantidad²:

$$\mu = \frac{1}{n} * \sum_{x=1}^n x \quad (1)$$

² GOVINDEN, Lincóyan P. Catedrático de la pontificia Universidad Javeriana. Editorial Mc GRAW HILL. Pp 80. 1994

2.10 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Suponiendo que X es continua y aleatoria con media μ , la desviación estándar se define con la siguiente ecuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (2)$$

Esta desviación estándar es una medida de centralización, con este parámetro se puede medir que tan dispersos se encuentran los datos de su media, Govinden (1994).

2.11 CONFIABILIDAD

Según Polus³, la confiabilidad es la capacidad que tiene un sistema para prestar un servicio consistente dentro de un periodo de tiempo dado.

2.12 FLUJO VEHICULAR Q

Este término aún no se conocía en 1934, hasta que el primer investigador en estudiar el comportamiento del flujo vehicular, Bruce Douglas Greenshields, lo definió como “Densidad de vehículos por hora”; hoy en día el término de flujo vehicular se conoce como la cantidad de vehículos que pasan por un punto determinado, durante un lapso de tiempo determinado, (Vehículos / Tiempo).

³ Polus, A. Modelling and measurements of bus service reliability. Transportation Research 12. 1978. P 253-256.

2.13 DENSIDAD DE TRÁFICO K

Se refiere a la cantidad de vehículos que hay en una determinada longitud, ya sean metros, kilómetros, millas, etc. (Vehículos / Longitud).

2.14 VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL V_e

En este documento la velocidad media espacial es aquella con la cual viajan los vehículos sin ser interrumpidos por semáforos en intersecciones viales o algún otro agente externo, con excepción del nivel de tráfico vehicular.

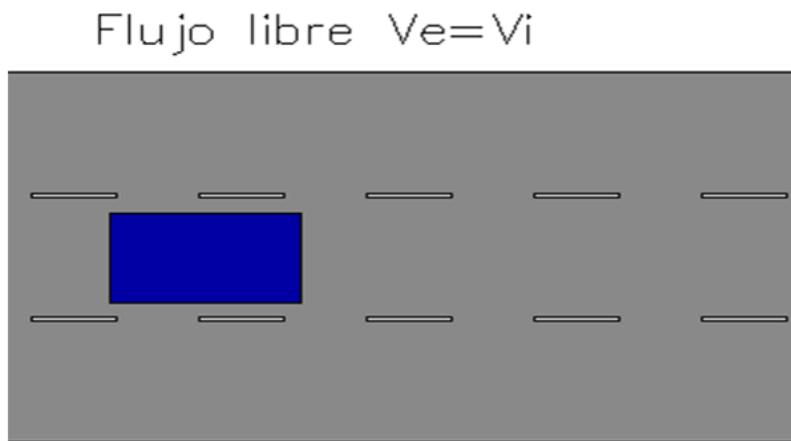
2.15 VELOCIDAD DE OPERACIÓN V_o

En este documento la velocidad de operación es aquella velocidad total, con la cual viajan los vehículos de un punto B a un punto H sin importar las paradas que haya tenido que hacer por factores externos como semáforos en intersecciones viales, congestionamiento en las vías, accidentes, etc.

2.16 VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL A FLUJO LIBRE. V_i

Representa la velocidad cuando un conductor conduce sin que haya obstáculos como otros vehículos que interfieran en su camino, es decir, se moviliza a flujo libre. En la figura 3 se aprecia esta situación.

Figura 3. Flujo libre del vehículo.

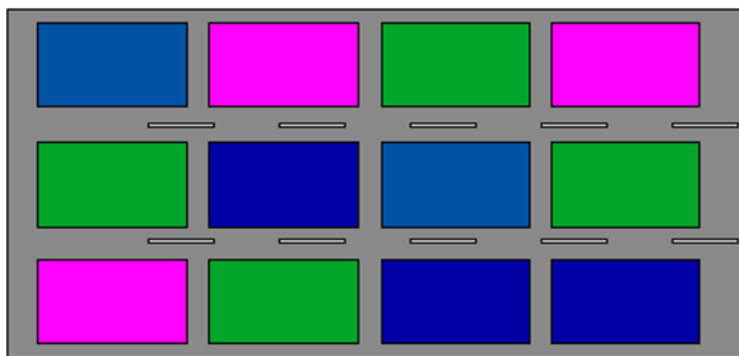


2.17 DENSIDAD DE CONGESTIONAMIENTO K_c

Esta densidad ocurre cuando debido al gran congestionamiento, los vehículos se encuentran totalmente detenidos o en marcha a velocidades que tienden a cero.

Figura 4. Densidad de congestión K_c .

Vehículos totalmente detenidos $V_e = 0$



2.18 VALORES CONTINUOS

Una variable continua toma valores a lo largo de un continuo, es decir en todo un intervalo de valores. Por ejemplo variables como 1,5; 1,8; 3; son variables de carácter continuo.

2.19 VALORES DISCRETOS

Contrariamente a la definición 2.18, estos valores son observables, que se pueden contar, ya que toman valores enteros. Por ejemplo variables como 2; 3; 4; son variables de carácter discreto.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 EXPERIENCIAS A NIVEL MUNDIAL

En el mundo se han hecho muchas investigaciones sobre movilidad y optimización de los servicios de transporte, haciendo que este tema evolucione cada vez más con el pasar de los días.

En 1976 Sterman y Shofer fueron pioneros en el estudio sobre la confiabilidad de servicios de transporte, este estudio se hizo en Chicago, Estados Unidos, para determinar por primera vez una medida de confiabilidad, nunca antes en la historia la confiabilidad en el transporte se había cuantificado. En este estudio la confiabilidad la midieron como la inversa de la desviación estándar de los tiempos de recorrido entre 2 puntos monitoreados, al encontrar esta medida se pudo ver que era fácil de recoger y aportaba mucho en la caracterización del transporte urbano. En este estudio también se concluyó que la longitud de la ruta, así como el volumen de tráfico, tenían un papel importante en la confiabilidad de las rutas; pues, entre más largo sea un recorrido hay mayor probabilidad que agentes externos interfieran en el óptimo desarrollo de la programación de la ruta. De igual forma en horas pico, cuando el volumen de tráfico aumenta el autobús está expuesto a perder velocidad debido al lento flujo vehicular.

En 1978 Turnquist propuso un modelo de estimación para la llegada tanto de pasajeros como de buses a los paraderos, aquí se identificaron los impactos de la frecuencia esperada y de la confiabilidad para una llegada de pasajeros tanto aleatoria como no aleatoria, como vemos los estudios de Turnquist se enfocaron más hacia el pasajero (usuario final).

Entre los años 1983 y 1984 Abkowitz y Engelstein estudiaron los factores que afectan el tiempo de recorrido en las rutas y chequearon algunos métodos para

mantener la regularidad del servicio. En este estudio se encontró que la media del tiempo total de recorrido está fuertemente influenciada por la longitud de la ruta (como lo habían dicho Sterman y Shofer en 1976), el tiempo que gastan los pasajeros en subirse y bajarse del autobús y de los semáforos. Para corregir estos errores entre otras medidas se sugirieron la adopción de rutas más cortas.

En 1986 Bates básicamente lo que hizo fue una encuesta a 146 empresas de autobuses para determinar los comportamientos básicos en cuanto a la puntualidad de las operaciones. Hubo mucha diferencia en las respuestas sobre “¿Qué era un resultado a tiempo?”, pero se pudo concluir que este resultado infiere entre 1 y 5 minutos. De igual forma esta encuesta reflejó que el rendimiento de los recorridos era algo informal con pocas bases estadísticas. Aunque hubo un acuerdo común y fue que el rendimiento era un parámetro importante que debía ser objeto de investigación.

En 1999 James G. Strathman, Kenneth J. Dueker y Thomas Kimpel hallaron cambios iniciales en la confiabilidad del servicio siguiendo la implementación de Tri-met de un nuevo sistema de despacho de buses, usando para esto los sistemas Automatic Vehicle Location - AVL y Automatic passenger counter - APC. Todos estos cambios fueron determinados respecto a los niveles de pre-implementación.

En 2001 Yuqing Ding presentó, bajo un ambiente de transporte público normal, un modelo de control en tiempo real que pudo mantener las frecuencias en una forma deseada, disminuyendo al máximo su varianza en todas las estaciones. Lo que se observó es que el tiempo de salida de un vehículo puede ser ajustado basándose en el tiempo óptimo de llegada que tendrá para la siguiente estación, considerando su velocidad máxima permitida y la frecuencia de los demás autobuses. Una simulación mostró que el tiempo de espera de los pasajeros se redujo significativamente al ser aplicado este modelo.

En 2003 James G. Stratham y Tomas J. Kimpel hicieron una relación entre la desviación en la frecuencia de los buses y la carga de pasajeros, para esto usaron datos del sistema AVL y del sistema CPA. Al analizar los resultados, observaron que el exceso de pasajeros en los buses se atribuye sistemáticamente a la desviación estándar de las frecuencias de los buses. Estos análisis ayudaron a controlar y mejorar la regularidad del servicio evitando de esta forma la sobrecarga de pasajeros en los autobuses.

En 2007 Liu y Sinha Aplicaron un marco modelo para el análisis de una ruta en la ciudad de York, este marco incorpora modelos operacionales de bus, embarque y desembarque de pasajeros en los buses dentro de una red modelo de un tráfico general, lo que permite observar la interacción entre carros, buses y pasajeros y sus efectos en la confiabilidad del servicio. Aquí también se hizo un análisis empírico para entender los antecedentes de todo lo referente a la confiabilidad y poder así establecer un escenario base de red. Toda esa simulación se hizo para entender las causas de la poca confiabilidad del sistema y para estudiar la variación en la confiabilidad de la ruta ante posibles eventos como, incremento en la congestión, aumento en la demanda de pasajeros y la reducción del tiempo de abordaje por pasajero.

En 2009 Chen, Yu, Zhang y Guo presentaron un análisis profundo de la confiabilidad del sistema de transporte basado en las características operativas de los autobuses de Pekín. Establecieron 3 parámetros de rendimiento, el índice de puntualidad (PIR), el índice de desviación (DIS) y el índice de uniformidad (EIS), en el estudio explicaron la relación entre estos 3 parámetros con un ejemplo numérico, aquí también se analizaron los efectos de la longitud de la ruta, los intervalos, las distancias desde las paradas a la terminal de origen y el uso de carriles exclusivos para buses. Al final, los resultados del estudio muestran la baja confiabilidad que tiene el sistema de transporte en Pekín y la alta relación que hay entre la confiabilidad del servicio y la longitud de su ruta.

En 2009 Minyan Ruan y Jie Lin propusieron una probabilidad a nivel de parada basada en la regularidad de los intervalos para medir la confiabilidad del servicio. El estudio se hizo en función al tiempo que dura el bus en la parada recogiendo pasajeros y también en función a las actividades de los pasajeros. La utilidad de esa investigación se demostró a través del estudio de una ruta operada por Chicago Transit Authority (CTA), estos estudios fueron útiles en la planeación y operación de los buses para mejorar el rendimiento del servicio y poder así incrementar el número de pasajeros.

En el 2010 Ahmed, Jessica y Kevin haciendo uso de los datos arrojados por el sistema de localización automática de vehículos y de los contadores automáticos de pasajeros CPA, evaluaron los problemas de rendimiento a lo largo de una ruta del sistema Metro-Transit que atraviesa la ciudad de Minnesota; aquí se generó una serie de análisis visuales y analíticos para predecir aspectos como, tiempo de recorrido del sistema, cumplimiento de horarios y confiabilidad de la ruta a 2 escalas: Tiempo y ruta, todo esto para demostrar las maneras de identificar las causas de la disminución de la confiabilidad del servicio. Estos análisis mostraron que mientras se mantengan los intervalos se hace necesario revisar la programación para así mejorar los tiempos de recorrido y poder cumplir con lo programado. Aquí también se concluyó que si se concentra la demanda de pasajeros en un menor número de paradas se podría disminuir la variabilidad del servicio.

3.1.1 Modelo seleccionado. Los modelos de confiabilidad desarrollados por Ronghui Liu y Sinha (2007) mostraron resultados coherentes y bastante próximos a la realidad, esto sumado a la facilidad en el proceso de análisis de datos, genera eficacia a la hora de medir los diferentes parámetros que afectan la confiabilidad de una ruta.

Es por esto, que se siguieron sus modelos de análisis para el desarrollo de esta investigación, además de ajustes de distribución adicionales que se hicieron para modelar la tasa de llegada de pasajeros.

3.2 METODOLOGÍAS PARA EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Como ya se sabe antes de ahondar en un tema de estudio, cualquiera que sea su área, se debe hacer un recuento bibliográfico de todos los avances investigativos que se han hecho hasta el momento en todo el mundo, con el fin, que de una forma segura se pueda aplicar en el desarrollo y rápido análisis de los datos que se necesitan.

3.2.1 Datos espacio – tiempo de los vehículos. En el sub capítulo anterior se hizo un recuento bibliográfico de estos avances, encontrando como denominador común, la gran importancia que tienen los sistemas AVL en la recolección y posterior análisis de datos. Como se sabe AVL es un sistema, dentro del cual hay elementos que lo conforman, hablando particularmente del GPS (sistema de posicionamiento global), el cual se convierte en una herramienta de importante uso.

A pesar que el sistema AVL es una herramienta importante en la obtención de datos espacio-tiempo del vehículo, se hace difícil recoger información de pasajeros, por lo que fue necesario hacer levantamientos en campo, durante las horas pico del día.

3.2.2 Aforo de pasajeros. El manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte, en su tomo 4, explica como se debe hacer el estudio de ascenso y descenso de pasajeros en los paraderos, la tabla 1 es una guía que este manual facilita para la toma de este tipo de datos, la columna de descenso no es de interés para este estudio por lo que se reemplazará por 2

columnas, una que especifique la tasa de llegada de pasajeros al paradero y otra que muestre los pasajeros que se dejan de subir al vehículo debido a su alto nivel de ocupación.

La tabla 2 muestra la guía final que se utilizó para la toma de estos datos. Los cambios que se hicieron ajustan el aforo a las necesidades de investigación que se necesitan.

Tabla 1. Guía para la toma de datos de pasajeros en los paraderos.

ESTUDIO DE ASCENSO Y DESCENSO DE PASAJEROS A BORDO DE TRANSPORTE PÚBLICO					
Fecha: (D.M.A.)		Hora Inicio:		Localización:	Hoja:
Día:		Hora Final:			De:
Ruta N°: _____ Empresa: _____					
Hora Salida: _____ Hora Llegada: _____ Nombre de la Ruta: _____ Terminal de salida: _____					
Tipo Vehículo: _____ N° Asientos: _____ Equipo N°: _____ Viaje N°: _____ Puerta: _____					
N° Paradero	Ubicación del Paradero - HITO	Ascenso: Volumen de pasajeros	Total	Descenso: Volumen de pasajeros	Total

Tomado del manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte, tomo 4.

Tabla 2. Guía final que se escoge para la toma de datos de pasajeros en los paraderos.

Nombre del paradero:					
Fecha de aforo:					
Fracción pico de estudio:					
Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel

Para la extracción de estos datos es necesario 2 aforadores, debido a la gran cantidad de pasajeros que se pueden presentar en algunos momentos, además, como se necesita conocer la tasa de llegada de pasajeros al paradero y esta tasa es aleatoria, hay casos en que 1 aforador está contando los pasajeros que abordan el vehículo y al mismo tiempo están llegando más personas al paradero, es en estos momentos en que un segundo aforador se hace necesario, para que esté pendiente de estos datos.

A continuación se definen las características de los campos a llenar en el formulario:

Hora: Aquí se registra la hora de llegada de los pasajeros y de los buses, esta hora se da cada minuto, es decir si a las 6:12:03 llegan 2 pasajeros y luego, a las 6:12:55 llega 1 pasajero, se registra el dato de llegada a las 6:12 como 3 pasajeros.

Ruta: Se registra el nombre de la ruta que llega al paradero, por la carrera 27 solo pasan 2 rutas P3 y P6, por tanto, estas son las que se registran.

Personas que llegan: Aquí se registra el número de personas que van llegando cada minuto. Supongamos que hasta el momento hay 6 personas en el paradero, muchas veces pasa que cuando arriba el autobús llegan 10 usuarios más corriendo, en ese momento se registran las personas en el mismo renglón en que se registró la llegada del autobús.

Suben y no suben: Se hace el conteo de flujo de pasajeros, cuantos se suben al autobús y cuantos prefieren esperar al siguiente.

Nivel: Se incluye el nivel de ocupación (letras desde la A hasta la E) con el cual sale el bus de cada parada. Este nivel se saca a observación del aforador.

Durante el día hay tres fracciones pico, la de la mañana (6:00-8:00 A.M), al medio día (12:00 – 2:00 P.M), y en la noche (6:00-8:00 P.M), estas fueron las fracciones utilizadas para la investigación.

En la fotografía 5 se muestra el ascenso que se hace al autobús mientras se hacen los conteos.

Fotografía 5. Ascenso de pasajeros al autobús.



3.2.2.1 Nivel de ocupación visual. El manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte, en su tomo 4, presenta los siguientes niveles de ocupación:

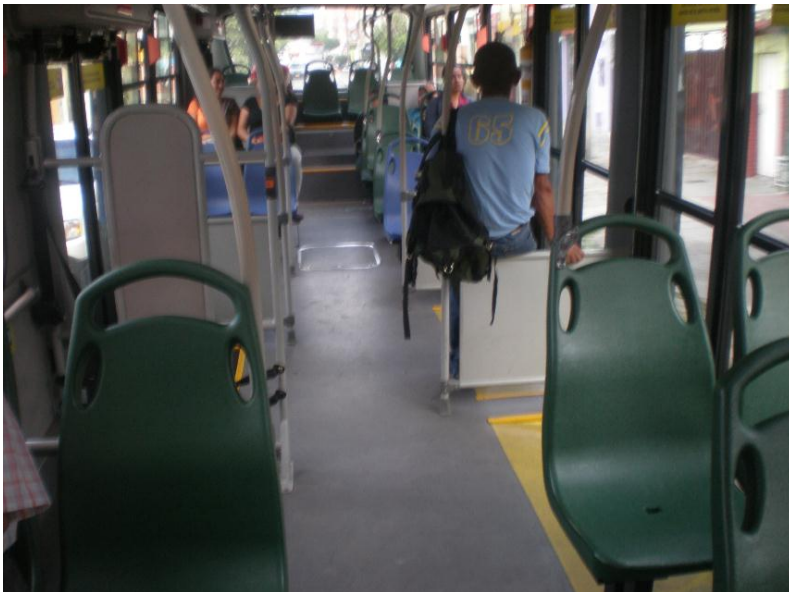
- Nivel de ocupación A: Casi vacío, cuando la cuarta parte de las sillas se encuentra ocupada.
- Nivel de ocupación B: Semivacío, cuando la mitad de las sillas está ocupada.
- Nivel de ocupación C: Ocupación total, cuando el total de las sillas están ocupadas.
- Nivel de ocupación D: Algunos pasajeros de pie, cuando la mitad del pasillo se encuentra ocupada.
- Nivel de ocupación E: Lleno, cuando todos los asientos y pasillos del vehículo están ocupados.
- Nivel de ocupación F: Saturado, el bus lleva sobrecupo.

Para este estudio, y siguiendo recomendaciones de funcionarios del Sistema Metrolínea se tomaron 5 niveles de ocupación, estos son:

- Nivel A: Muchos asientos vacíos. En la fotografía 6 se muestra este tipo de ocupación.
- Nivel B: Pocos asientos vacíos. Este nivel de ocupación se muestra en la fotografía 7.

- Nivel C: Pocas personas de pie. Este nivel de ocupación se muestra en la fotografía 8.
- Nivel D: Muchas personas de pie. Este nivel de ocupación se muestra en la fotografía 9.
- Nivel E: Sobrecupo. Este nivel de ocupación se muestra en la fotografía 10.

Fotografía 6. Nivel de ocupación A.



Fotografía 7. Nivel de ocupación B.



Fotografía 8. Nivel de ocupación C.



Fotografía 9. Nivel de ocupación D.



Fotografía 10. Nivel de ocupación E.



3.2.3 Aforo de flujo vehicular. Para este flujo se tuvieron en cuenta 4 tipos de vehículos.

- Autos particulares.
- Vehículos de servicio público (taxis).
- Camiones.
- Motos.

Para una mayor exactitud en el aforo de estos vehículos, hubo una persona aforando para cada tipo de vehículo, el semáforo de la carrera 27 con calle 37 fue el punto tomado como referencia para el aforo vehicular. Estos aforos se realizaron durante 2 minutos, debido a que este es el tiempo que dura el semáforo con luz verde.

Inicialmente los datos se recogieron en una tabla diferente para cada tipo de vehículo, ya que como se explicó anteriormente, a cada aforador le correspondió un único tipo de vehículo para aforar, por lo cual este era encargado de un único tipo de tabla, al final del aforo se recolectaron los datos en una única tabla como la que se muestra en la tabla 20.

4. SELECCIÓN DE LA RUTA

El Sistema Metrolínea actualmente está compuesto por 23 rutas, entre alimentadores, padrones y articulados. En la tabla 3 se muestran estas rutas y el tipo de bus que se utiliza para cada una de ellas.

Tabla 3. Rutas Sistema Metrolínea y tipos de bus.

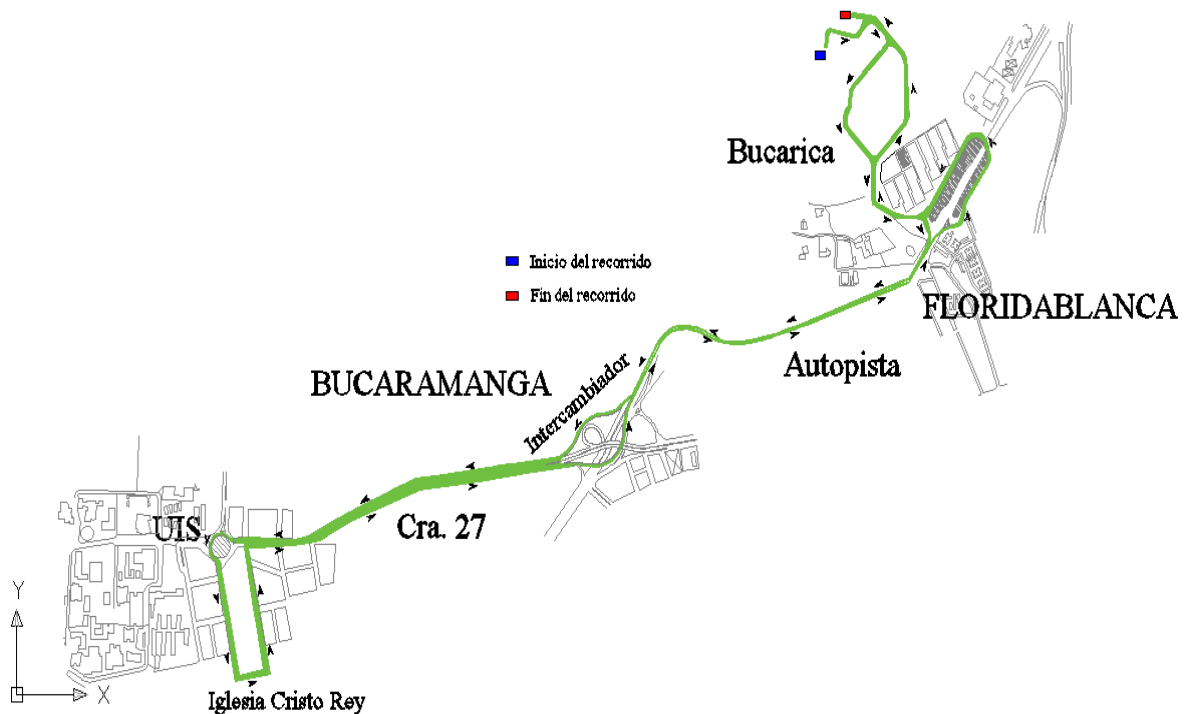
Ruta	Recorrido	Tipo de bus
T1	Lagos -Quebradaseca	ARTICULADO
P1	La Cumbre- Quebradaseca.	PADRON
P2	Villabel-Centro.	PADRON
P3	Bucarica-UIS.	PADRON
P4	Provenza-UIS.	PADRON
P6	Lagos-UIS.	PADRON
P7	Cañaveral-Piedecuesta.	PADRON
ACR1	Ciudadela Real de Minas - Quebradaseca	ALIMENTADOR
AQ1	Quebradaseca-UIS	ALIMENTADOR
AP1	Provenza-Reposo	ALIMENTADOR
AP2	Provenza-El Carmen	ALIMENTADOR
AP3	Provenza-Dangónd	ALIMENTADOR
AP4	Provenza-El Porvenir	ALIMENTADOR
AP5	Provenza-Ciudad Venecia	ALIMENTADOR
AP6	Provenza-San Luis	ALIMENTADOR
AP7	Provenza-Coomultrasan	ALIMENTADOR
AP8	Provenza-Portón del Tejar	ALIMENTADOR
AC1	Cañaveral-Bellavista	ALIMENTADOR
AC2	Hormigueros-Palomitas	ALIMENTADOR
AC3	Molinos	ALIMENTADOR
AC4	Molinos-UNAB	ALIMENTADOR
AF1	Lagos-Limoncito	ALIMENTADOR
AF2	Lagos-Versalles	ALIMENTADOR

Para la selección de la ruta que será objeto de análisis en este proyecto, se tuvieron en cuenta 3 parámetros de priorización, estos son:

- A. Las posibles rutas objeto de estudio deberán estar, gran parte de su recorrido, dentro del casco urbano de Bucaramanga.
- B. Las rutas que cumplan el ítem A, se priorizarán a aquellas que mueven mayor cantidad de pasajeros durante los periodos pico del día.
- C. Las rutas que cumplan el ítem B, se priorizarán a aquellas donde la mayor parte de su recorrido esté sujeto a carriles de tráfico mixto.

Teniendo en cuenta estos 3 parámetros, así como recomendaciones por parte de ingenieros vinculados al Sistema Metrolínea, la ruta seleccionada fue la P3, en la figura 3 se observa la ruta, esta figura no se encuentra a escala es solo un esquema de localización.

Figura 5. Localización de la ruta P3



4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RUTA

Para esta ruta se asignaron buses tipo padrón, debido a que parte de su recorrido lo hace en corredores mixtos y otra parte en corredores exclusivos, por lo que se necesitan buses con posibilidades de acceso a ambos lados del vehículo.

Gracias a curvas de densidad de la ruta y sugerencias hechas por ingenieros vinculados al Sistema Metrolínea, se tienen conocimientos previos sobre la tendencia de los pasajeros al usar esta ruta, se sabe que en la hora pico de la mañana hay más demanda de pasajeros de Bucarica (SUR) hacia la Universidad industrial de Santander (NORTE), mientras que en las horas pico del medio día y de la noche la tendencia es hacia el sur, hacia Floridablanca.

Los accesos que utiliza esta ruta para ingresar a los corredores exclusivos y viceversa se muestran en la fotografía 11.

Fotografía 11. Accesos de la ruta a carril exclusivo y viceversa.



En esta fotografía, tomada sobre el viaducto García Cadena en el municipio de Bucaramanga, se observa los accesos de la ruta P3 a los corredores mixtos y viceversa.

Las características de la ruta cumplen un papel muy importante al momento de evaluar su confiabilidad. Según Ronghui Liu⁴ estas características son: Longitud de la ruta, carriles, localización de las paradas, cantidad de semáforos (intersecciones), entre otras.

4.1.1 Longitud de la ruta. Desde la calle 7 con carrera 3 en Bucarica (cuadrado Azul en la figura 3) hasta la Iglesia Cristo Rey; la ruta tiene una longitud de 12.75 Kilómetros, es decir, la longitud total de la ruta desde el punto azul hasta el punto rojo (comienzo-fin) en la figura 3, es de 25.7 Kilómetros, entre más larga sea una ruta, mayor será la probabilidad que agentes externos interfieran en el óptimo desarrollo de su programación.

Diferentes investigaciones y así como lo afirma Strathman⁵ el tiempo de recorrido de un vehículo es afectado por la longitud de la ruta, entre otros factores, la confiabilidad de la ruta disminuye a medida que su longitud aumenta.

4.1.2 Paradas. Desde el comienzo de la ruta hasta completar su ciclo, es decir desde el cuadrado azul en la figura 3, siguiendo las flechas hasta el cuadrado rojo, la ruta tiene 65 paradas.

Estas paradas están distribuidas entre carriles exclusivos (estaciones) y carriles mixtos (paraderos de andén), las fotografías 12 y 13 muestran estos dos tipos de

⁴ Ronghui, Liu. Modelling urban bus service and passenger reliability. The third international symposium on transportation passenger reliability. York. University of Leeds. 2007.

⁵ Strathman, James G. Automated bus dispatching, operations control, and service reliability: the initial Tri-Met- experience. Portland. Portland state University. 1999.

paraderos; la tabla 3 presenta todas las paradas de esta ruta, incluyendo su distancia desde el origen (en Bucarica).

Fotografía 12. Paradero de bus en carril exclusivo, aquí se le conoce con el nombre de estación.



Fotografía 13. Paradero de bus en carril mixto, aquí se le conoce con el nombre de paradero de andén.



Tabla 4. Paradas de la ruta P3 del Sistema Metrolínea.

No.	Nombre de la parada	Dist. Acum. (Km)
1	CALLE 7 CARRERA 3	0,1
2	CARRERA 6 CALLE 5	0,3
3	SECTOR 18	0,57
4	SECTOR 19	0,7
5	MERCOMFENALCO	0,92
6	SECTOR 10-10	1,09
7	CANCHA BUCARICA	1,21
8	SECTOR 3-3	1,48
9	COLEGIO VICENTE AZUERO	1,85
10	CALLE 41 CARRERA 4	2,25
11	CALLE 39 CARRERA 5 PLAZA COLMENA	2,45
12	CALLE 38 CARRERA 6	2,69
13	CAÑAVERAL	3,67
14	MOLINOS	4,28
15	HORMIGUEROS	4,66
16	PAYADOR	5,69
17	ESTACIÓN PROVENZA	6
18	DIAMANTE	6,55
19	ANTONIA SANTOS	7,2
20	CONUCOS	7,93
21	CALLE 55	8,35
22	CARRERA 27 CALLE 52	8,63
23	PARQUE TURBAY	8,95
24	CARRERA 27 CALLE 37	9,55
25	CAFESALUD	9,9
26	PARQUE DE LOS NIÑOS	10,2
27	CARRERA 27 CALLE 19	10,7
28	SENA	11,14
29	CARRERA 27 CALLE 11	11,44
30	CALLE 10 CARRERA 26	11,73
31	CALLE 10 CARRERA 22	12,1
32	IGLESIA CRISTO REY	12,5
33	COLEGIO BETHLEMITAS	12,75
34	CALLE 11 CARRERA 18	13,01
35	CALLE 11 CARRERA 20	13,21
36	CALLE 11 CARRERA 23	13,5
37	CALLE 11 CARRERA 26	13,82
38	SENA	14,28
39	CARRERA 27 CALLE 19	14,65
40	PARQUE DE LOS NIÑOS	15,23
41	CAFESALUD	15,46

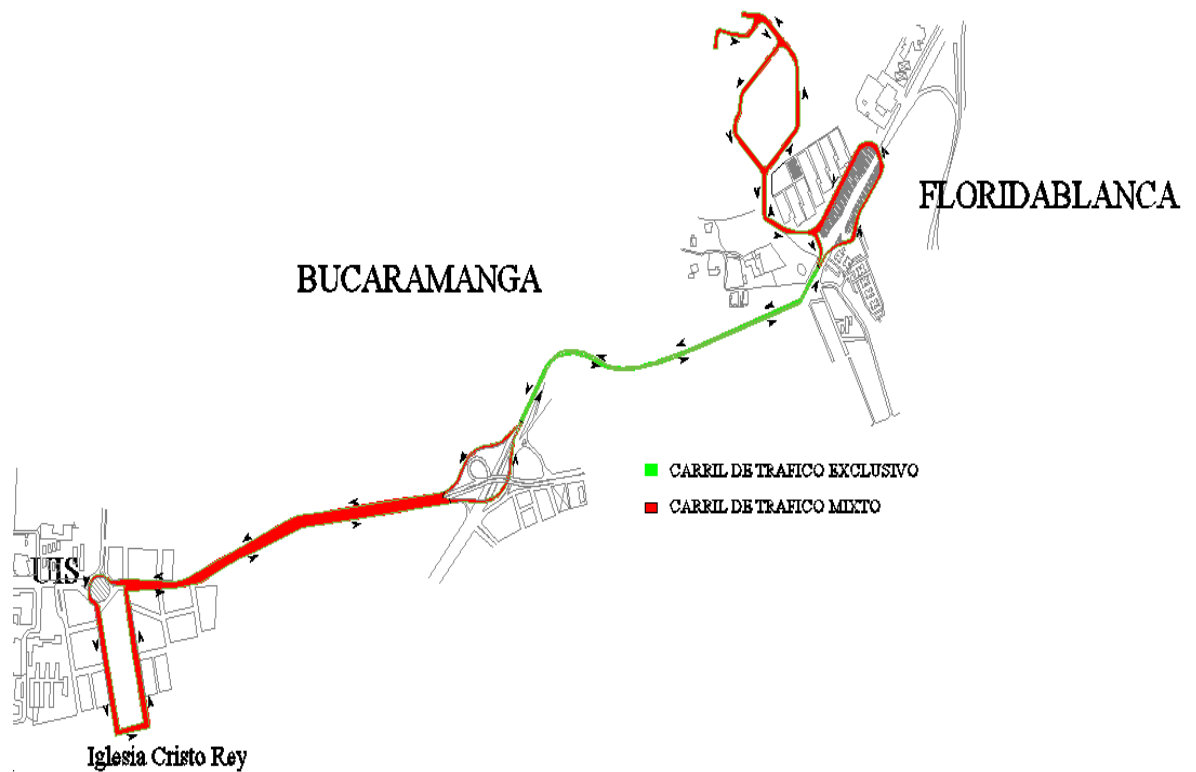
42	CARRERA 27 CALLE 37	15,83
43	PARQUE TURBAY	16,39
44	CARRERA 27 CALLE 52	16,62
45	CARRERA 27 CALLE 55	16,88
46	CONUCOS	17,22
47	ANTONIA SANTOS	18,19
48	DIAMANTE	18,83
49	ESTACIÓN PROVENZA	19,39
50	PAYADOR	20,09
51	HORMIGUEROS	20,78
52	MOLINOS	21,11
53	CAÑAVERAL	21,72
54	CARRERA 8 CALLE 44	22,8
55	CARRERA 7 CALLE 39	23,16
56	CALLE 39 CARRERA 5 PLAZA COLMENA	23,42
57	CALLE 41 CARRERA 4	23,66
58	CARRERA 3 CALLE 48	23,9
59	COLEGIO VICENTE AZUERO	24,2
60	SECTOR 3-2	24,41
61	SECTOR 6-5	24,62
62	SECTOR 13-3	24,83
63	EPS SALUDTOTAL	25,12
64	SECTOR 21-9	25,37
65	CARRERA 7 CALLE 5	25,7

4.1.3 Carriles. A lo largo de toda la ruta, los carriles van cambiando en cuanto a su composición de tráfico. Inicialmente en Bucarica, la ruta comparte carril con vehículos privados (buses, microbuses, automóviles), lo que genera problemas para el óptimo funcionamiento de la programación de la ruta, después la ruta ingresa al carril exclusivo sobre la autopista y sus paradas comienza a hacerlas en estaciones, finalmente después del puente García Cadena la ruta vuelve a tomar el carril de tráfico mixto. En la figura 4 se puede observar la distribución de estos tipos de carril a lo largo de toda la ruta.

Los corredores exclusivos son de 1 solo carril excepto en las estaciones, donde se abre a 2 carriles para los buses que no van a parar en esa estación, la fotografía 14 muestra la asignación de estos carriles exclusivos.

Los corredores mixtos, que prestan el servicio a la ruta P3 oscilan entre los 2 y 3 carriles, así que en estos lugares, los conductores de la ruta P3 podrían hacer maniobras de rebase a otros vehículos y conducir por 1 o más carriles. La fotografía 15 muestra la ruta sobre un carril de tráfico mixto, en la carrera 27.

Figura 6. Distribución de carriles ruta P3



Fotografía 14. Carriles exclusivos.



Esta fotografía fue tomada para la ruta T1 en la diagonal 15, aquí se puede observar el carril exclusivo asignado para el sistema.

Fotografía 15. Carriles mixtos.



En esta fotografía se aprecia una ruta sobre carril de tráfico mixto, aunque esta ruta no es la P3 su situación es algo similar, se observa que debido a los embotellamientos la programación de la ruta se afecta, disminuyendo de igual forma la confiabilidad del sistema.

5. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS PARA LA RUTA EN ESTUDIO.

Todo lo que se puede medir se puede analizar y todo lo que se puede analizar se puede mejorar; la velocidad, el tiempo de viaje, el intervalo entre 2 buses y el tiempo que un pasajero espera en un paradero para tomar el siguiente bus, son parámetros de confiabilidad que están relacionados directamente, además de esto son medibles, por lo tanto se pueden mejorar.

En este estudio se siguieron algunas definiciones aportadas por Ronghui Liu (2007), autor que ya se referenció en una cita anterior. Estas definiciones se tomaron ya que se ajustan a los objetivos que estamos buscando. Los siguientes son parámetros que se utilizarán en algunas ecuaciones vistas en este documento.

x = *Muestra.*

μ_x = *Media de una muestra.*

i = *Índice que representa una ruta de estudio.*

σ_x = *Desviación estándar de una muestra.*

p = *Índice para una paráda.*

n = *Índice para un recorrido de bus.*

d = *Índice para representar el día en que se hizo una observación.*

t_{ind} = *Tiempo de viaje para una ruta i de un recorrido n en un día d .*

I_{indp} = Intervalo para un recorrido n durante un día d en una parada p a lo largo de una ruta i .

w_{idp} = Tiempo de espera total de un pasajero en una parada p en un día d a lo largo de una ruta i .

Q = Flujo de vehiculos (Vehiculos/Hora).

V_e = Velocidad media espacial (Kilometros/hora).

K = Densidad vehicular (Vehiculos/kilometro/carril)

5.1 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE VIAJE

Suponiendo que se tiene programado que una ruta gaste 2 minutos de una parada X_1 a la siguiente parada X_2 durante todos los recorridos del día; pero no todos los recorridos van a ser exactamente iguales, algunos gastarán más tiempo o menos tiempo que otros, esto depende de mucho factores, como el tipo de corredor o la congestión vehicular del momento. Entonces se define como la probabilidad que la ruta llegue en el tiempo que se programó. Por tanto, entre más exacta sea la llegada de cada uno de los recorridos, es decir, entre menor sea su desviación, mayor será su confiabilidad. Esta definición se describe en la siguiente ecuación:

$$CT_i = \frac{\mu_{ti}}{\sigma_{ti}} \text{ para } t_i \in t_{ind} \quad (3)$$

En esta investigación solo se está estudiando una sola ruta (P3) por lo que el índice i en realidad siempre va a ser el mismo. Esta ecuación nos muestra la confiabilidad en los tiempos de viaje de una ruta o en una parte de ella (secciones) a lo largo de un periodo de tiempo determinado, que puede ser durante todo el día

o solo durante las horas pico, particularmente en este estudio se analizaron los datos no solo de las horas pico sino de todo el día. Como se puede ver en la ecuación 3 entre menor sea la desviación estándar de una misma sección de ruta mayor será su confiabilidad y viceversa. Según Ronghui Liu se incluye el concepto de la media para comparar las variaciones entre secciones, cuando sus valores de la media son significativamente diferentes.

Al analizar la ecuación 3, se concluye que la confiabilidad también depende de la media, más no solo del grado de centralización (desviación) de los datos. Es decir, suponiendo una desviación de 0,5 y una media 20, es lógico que la confiabilidad produzca un valor alto, pues la desviación para esa media es relativamente pequeña; pero si se mantiene la desviación constante y la media es de 1 la confiabilidad disminuye bastante ya que la desviación para esa media es relativamente grande. Es por esto que no se debe despreciar la media como parámetro en el cálculo de la confiabilidad en el tiempo de viaje.

Se debe aclarar que el GPS arroja datos al minuto, es decir, si un bus llega a una parada a las 9:00:00 y luego a la siguiente parada llega a las 9:00:57, lee los datos suponiendo que el bus llega a ambas paradas a las 9:00:00; aspecto que afectaría los análisis y que debería ser mejorado en la obtención de datos dentro de la plataforma tecnológica del Sistema Metrolinea.

5.2 CONFIABILIDAD DE LOS INTERVALOS

La regularidad con la cual pasa cada uno de los recorridos por cada una de las paradas es un parámetro de gran importancia, ya que se mide que tan agrupados vienen los buses o en el caso contrario que tan separados están.

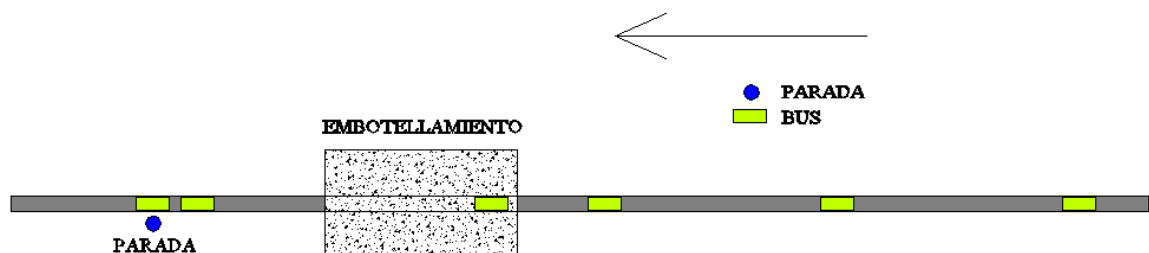
5.2.1 Buses agrupados. Este efecto ocurre cuando los intervalos entre buses son demasiado cortos, esto puede llevar a un desperdicio de espacio para el bus que

viene detrás, ya que el primer bus recoge a los usuarios y deja la parada vacía lo que ocasiona que el siguiente bus siga su recorrido sin prestar el servicio a mas usuarios.

5.2.2 Buses separados. Esto es una acción-reacción de los buses agrupados, pues el agrupamiento de unos buses genera la separación con otros, esta separación da como resultado intervalos más largos, lo que lleva a que los pasajeros se agrupen en las paradas haciendo que los siguientes buses (que los recogen) queden en su capacidad máxima de ocupación (Nivel E) y que finalmente debido a esto no puedan parar para recoger a mas usuarios en las siguientes paradas.

La figura 5 muestra tanto el agrupamiento como la separación de los buses, aunque se tomó de ejemplo la congestión como causante de la desprogramación pueden ser otros muchos los factores que afectan a esto. En esta figura se observa que antes de la congestión los buses mantienen un intervalo regular e inmediatamente después de la congestión la situación cambia. El punto azul representa la parada del bus, si se tratase de una parada con alta demanda de pasajeros esta situación podría llegar a ser crítica, pues se podrían presentar buses con alta ocupación lo que no permitiría que se recogieran pasajeros en las siguientes paradas, o por el contrario podría generar buses vacios lo que sería un desperdicio para su capacidad.

Figura 7. Factores externos que afectan los intervalos programados.



Es por esto que se debe medir la confiabilidad de los intervalos en cada uno de los paraderos y para esto se utilizó la siguiente ecuación, utilizada igualmente por Ronghui Liu (2007).

$$CI_i = \frac{\sigma_{Ii}}{\mu_{Ii}} \text{ for } I \in I_{indp} \quad (4)$$

A menor desviación mayor confiabilidad, por lo tanto y contrariamente a lo que ocurre con CT, a menores valores de CI mayor será su confiabilidad.

5.3 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL Y LA DENSIDAD DE TRÁFICO

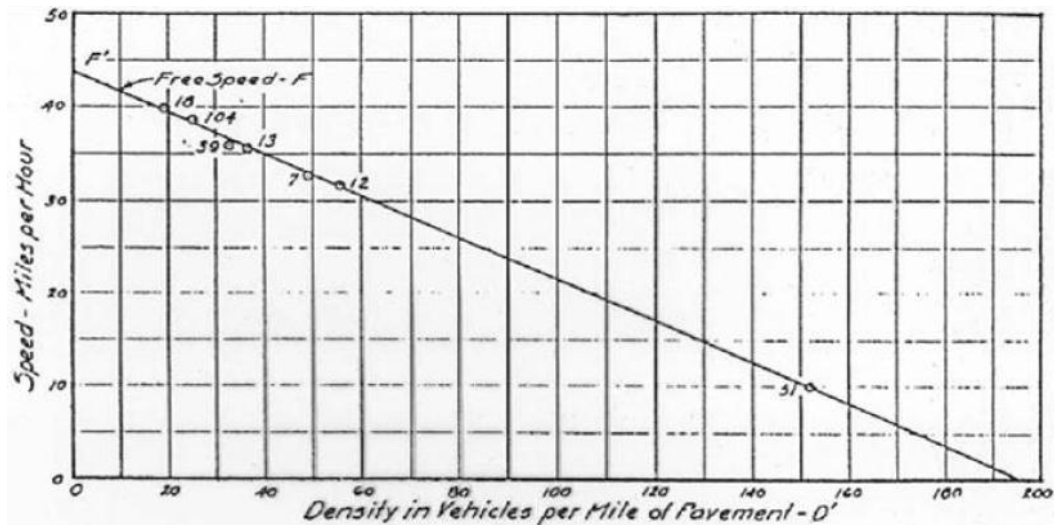
El fin último de este documento es encontrar una metodología que permita optimizar las velocidades de operación del Sistema Metrolínea. Cuando algo afecta la velocidad del sistema se desata una reacción en cadena, afectando de igual forma los tiempos de viaje y los intervalos entre buses.

El profesor Dr. Reinhart D. Kuhne⁶, presentó un documento sobre el legado y las primeras teorías que hubo sobre tráfico, cuyo autor fue el señor Bruce Douglas Greenshields, quien realizó pruebas para medir el flujo, velocidad y densidad del tráfico. Debido a la poca tecnología muchos de sus estudios se hicieron con herramientas rudimentarias como cámaras fotográficas, pero demostrando resultados concisos. A través del tiempo muchas investigaciones en esta área se han fundamentado en todas las teorías expuestas por Greenshields para la caracterización de las condiciones de tráfico

⁶ Kuhne, Reinhart D. Foundations of traffic flow theory 1: Greenshields' legacy – Highway traffic. Berlin. German aerospace Center. Transportation studies. 2008.

En 1934 Bruce Douglas Greenshields encontró que la velocidad y la densidad de tráfico presentan un comportamiento lineal, esto se aprecia en la figura 5; y que con el par de datos de la gráfica se puede encontrar el flujo de vehículos que hay en ese instante sobre el corredor.

Figura 8. Relación lineal entre velocidad y densidad.



Gráfica tomada de Greenshields 1934

Greenshields (1934) hizo aforos para diferentes condiciones de tráfico obteniendo así, pares de datos de velocidad y densidad (V, K) que ajustándolos por el método de los mínimos cuadrados se llegó a la siguiente ecuación lineal:

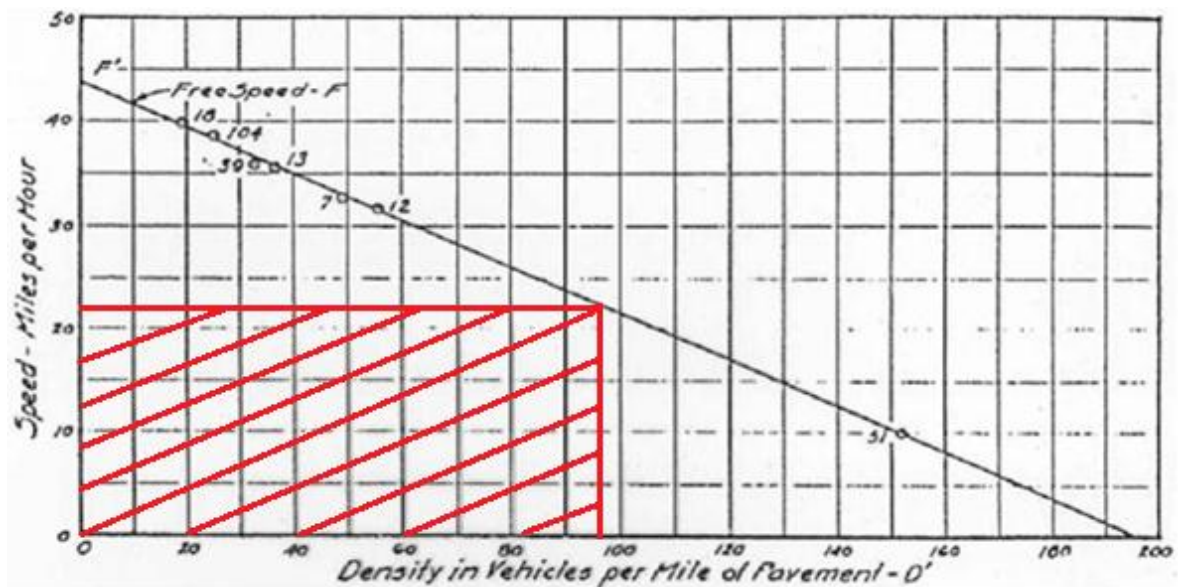
$$V_e = V_i - \left(\frac{V_i}{K_c}\right) * K \quad (5)$$

Se puede observar que la velocidad es afectada por la densidad de tráfico, que a mayor densidad de tráfico menor será la velocidad con que se mueve un vehículo dentro de ese flujo de autos. El flujo vehicular esta dado por la ecuación (6).

$$Q = V * K \text{ (Vehiculos/Km)} \quad (6)$$

Como se puede apreciar en la figura 6 el flujo máximo se presenta en $V_i/2$ y en $K_c/2$, pues son los 2 puntos, donde se presenta mayor área rectangular, es decir según la ecuación (6), flujo vehicular.

Figura 9. Flujo máximo



Fuente: El autor, modificado de la gráfica de Greenshields.

5.4 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE ESPERA DE LOS PASAJEROS

Según Xumei Chen⁷ el tiempo que espera un usuario para subirse al bus, es casi el doble de tiempo que este dura dentro del vehículo.

⁷ Xumei, Chen. Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels part A. Beijing. Beijing jiaotong University. School of traffic and transportation. 2009. 729 P.

Esta confiabilidad es una de las que más se siente, ya que los usuarios la viven muy directamente, un poco de retraso en la frecuencia del bus aumenta la disconformidad de los usuarios inmediatamente.

Lógicamente, la variabilidad en los intervalos es directamente proporcional al tiempo de espera de los usuarios en el paradero, es decir, a mayores intervalos entre buses, mayores tiempos de espera para los usuarios.

Teniendo en cuenta que toda empresa busca que sus clientes estén conformes con el servicio que esta presta, y que para un usuario, grandes tiempos de espera en los paraderos representan una disconformidad; se hace necesario medir que tan confiables son estos tiempos en todas las paradas. Para este estudio se tomaron algunas paradas como muestra representativa de toda la ruta.

Según Liu Ronghui la confiabilidad en los tiempos de espera de los pasajeros se mide con la siguiente ecuación.

$$CW_{ip} = AWT_{ip} - SWT_{ip} \quad (7)$$

Donde:

AWT - Es el promedio del tiempo de espera (real) de los pasajeros en el paradero.

SWT – Es el tiempo que esperarían los pasajeros si todo el sistema corriera según lo programado.

Esta ecuación lo que realmente representa es el tiempo de espera adicional que experimentan los pasajeros. Según Liu Ronghui (2007), para servicios frecuentes, *SWT* se puede tomar como la mitad de la frecuencia programada y *AWT* como el promedio de los tiempos de espera acumulados de todos los usuarios en el paradero.

Por lo tanto y como se refleja en la ecuación 7 a menores valores de CW mayor será su confiabilidad.

5.5 PROBABILIDAD DE LLEGADA DE LOS PASAJEROS A LOS PARADEROS

La probabilidad de llegada de los pasajeros a los paraderos, puede ser un determinante a la hora de tomar decisiones para el mejoramiento del servicio. En el subcapítulo 3.2 se explicó el procedimiento para el aforo de estos datos. Para el análisis de los datos se debe tener claro cual distribución se ajusta mejor a ellos. Un estudio desarrollado por Joaquín de Cea Ch y J. Enrique Fernández L.⁸ concluyó que el arribo de pasajeros tanto a paraderos servidos por bus o por metro se puede modelar razonablemente por un proceso de Poisson, es decir que los tiempos entre arribos de pasajeros siguen un comportamiento exponencial. Esto lo concluyeron básicamente en 3 pasos. – Primero determinaron la familia de distribuciones que mejor se ajustaba a los datos. – Luego estimaron los parámetros para la curva de ajuste seleccionada. – Finalmente evaluaron que tan bueno era el ajuste para esa distribución (test de bondad de ajuste: Chi cuadrado, Kolmogorov-Smirnov). Cominetti y Correa⁹ también están de acuerdo en afirmar que la fusión de muchos procesos independientes con tasas pequeñas, convergen todas a un proceso de Poisson.

5.5.1 Distribución de Poisson. Esta distribución depende de 2 parámetros (λ , K), esta distribución es discreta, es decir no tiene valores continuos, por lo que se grafica con puntos; la curva expresa la probabilidad que un evento ocurra en un periodo de tiempo, esta función de probabilidad está dada por:

⁸ Cea, Joaquín; Fernández, Enrique. Calibración de funciones flujo-costos para un modelo de asignación de transporte público con restricción de capacidad. Santiago de Chile. Universidad Católica de Chile. Departamento de ingeniería de transporte. 1998.

⁹ Cominetti, Roberto; Correa, José. Common-Lines and passenger assignment in congested transit networks. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Departamento de ingeniería matemática y Centro de modelamiento matemático. 2001.

$$f(k; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (8)$$

El parámetro (K) es el número de ocurrencias de un evento, es decir, la función mide la probabilidad que ocurre un evento para diferentes valores de K .

El parámetro (λ) representa el número de veces que se espera que ocurra un evento, o en otras palabras sería la media de un evento.

El parámetro (e) toma el valor de 2,718 (es la base de los logaritmos naturales).

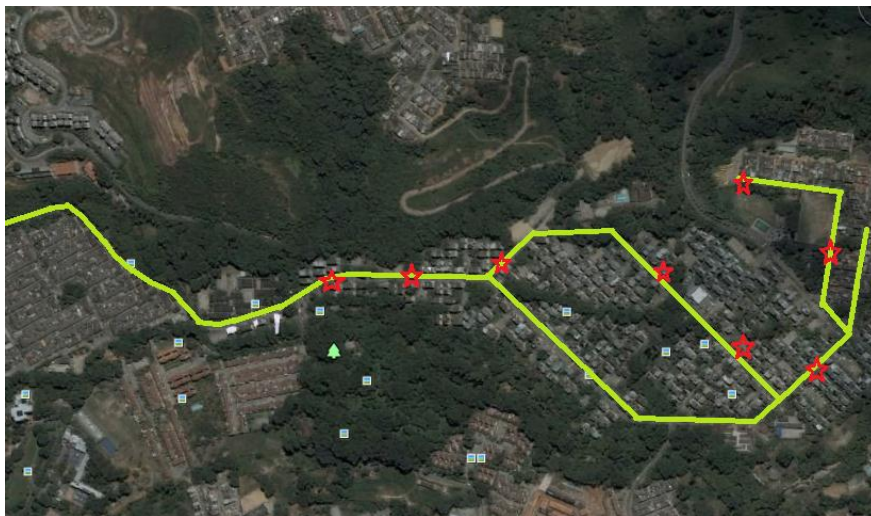
6. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

Se hizo un estudio primario el día miércoles 19 de enero del año 2011, se escogió este día, ya que, para el análisis se quiere buscar un comportamiento normal tanto de pasajeros como de tráfico.

Se recolectó información desde el primer recorrido de esta ruta que salió a las 4:40 A.M. de la calle 7 con carrera 3 en Bucarica, hasta el último recorrido que salió a las 9:59 P.M. en este mismo lugar, en total para los estudios primarios se analizaron 142 recorridos.

Desafortunadamente el sector Bucarica es una zona con alta arborización lo que afecta en la lectura de los datos GPS, es por esto que no se tiene información de las siguientes paradas: Calle 7 con Carrera 3, Carrera 6 con Calle 5, Sector 18, Sector 19, Mercomfenalco, Sector 10-10, Cancha Bucarica y el Sector 3-3. En la figura 7 se muestra la arborización en Bucarica y la ruta en esta zona.

Figura 10. Arborización en Bucarica.



Tomado de Google Earth, modificado por el autor.

Al igual que en Bucarica hubo otras zonas en Bucaramanga que no se pudieron analizar por falta de datos suministrados por el GPS, muy posiblemente por las mismas razones que en Bucarica, aunque lo más probable es que en Bucaramanga la interferencia también la ocasionen edificios. Sin embargo la información disponible permitió tramificar la ruta en 26 tramos, lo cual permite un alto nivel de detalle en su análisis. En resumen, la tabla 4 muestra las secciones de ruta que se pudieron analizar.

Tabla 5. Secciones con información GPS disponible, para su análisis.

LOCALIZACION Y TIPO DE CORREDOR	SECCIONES CON INFORMACIÓN GPS DISPONIBLE
Bucarica - Mixto	Colegio Vicente Azuero - Calle 41 con Carrera 4
	Calle 41 con Carrera 4 - Plaza colmena
Autopista - Exclusivo	Cañaveral - molinos
	molinos - hormigueros
	Hormigueros - payador
	payador - Provenza
	Provenza - diamante
	diamante - Antonia santos
Carrera 27 - Mixto	Parque Turbay - Carrera 27 con Calle 37
	Carrera 27 con Calle 37 - Cafesalud
	Cafesalud - Parque de los niños
	Parque de los niños - Carrera 27 con Calle 19
	Carrera 27 con Calle 19 - SENA
	SENA - Carrera 27 con Calle 19
	Carrera 27 con Calle 19 - Parque de los niños
	Parque de los niños - Cafesalud
	Cafesalud - Carrera 27 con Calle 37
	Carrera 27 con Calle 37 - Parque Turbay
	Parque Turbay - Carrera 27 con Calle 52
Autopista - Exclusivo	Antonia santos - Diamante
	Diamante - Provenza
	Provenza - Payador
	Payador - hormigueros
	Hormigueros - molinos

	Molinos - cañaveral
Bucarica - Mixto	Plaza colmena - calle 41 con carrera 4

Tabla 6. Información duración de recorridos a través de las paradas disponibles.

PARADA	RECORRIDOS				
	1	2	3	4	5
Calle 7 carrera 3	04:40	04:54	05:07	05:18	05:28
Colegio Vicente Azuero	04:47	05:01	05:18	05:26	05:37
Calle 41 carrera 4	04:48	05:02	05:20	05:28	05:38
Plaza colmena	04:48	05:03	05:21	05:29	05:38
Cañaveral	04:50	05:06	05:25	05:32	05:42
Molinos	04:52	05:08	05:26	05:33	05:43
Hormigueros	04:53	05:09	05:27	05:35	05:44
Payador	04:54	05:10	05:29	05:36	05:46
Estación Provenza	04:55	05:11	05:30	05:38	05:47
Diamante	04:57	05:13	05:31	05:39	05:49
Antonia santos	04:58	05:14	05:33	05:41	05:50
Parque Turbay	05:02	05:19	05:37	05:46	05:58
Carrera 27 calle 37	05:04	05:20	05:39	05:49	06:00
Cafesalud	05:05	05:22	05:40	05:50	06:01
Parque de los niños	05:07	05:23	05:41	05:52	06:02
Carrera 27 calle 19	05:08	05:25	05:43	05:53	06:04
Sena	05:10	05:26	05:44	05:55	06:05
Sena	05:19	05:36	05:54	06:03	06:15
Carrera 27 calle 19	05:20	05:37	05:55	06:04	06:16
Parque de los niños	05:22	05:39	05:57	06:07	06:19
Cafesalud	05:24	05:40	05:58	06:08	06:20
Carrera 27 calle 37	05:25	05:41	06:00	06:10	06:21
Parque Turbay	05:27	05:43	06:01	06:11	06:23
Carrera 27 calle 52	05:27	05:44	06:02	06:12	06:24
Antonia santos	05:31	05:47	06:06	06:15	06:27
Diamante	05:32	05:48	06:07	06:16	06:28
Estación Provenza	05:34	05:50	06:08	06:18	06:30
Payador	05:35	05:51	06:09	06:19	06:31
Hormigueros	05:36	05:52	06:11	06:21	06:32
Molinos	05:37	05:54	06:12	06:22	06:33
Cañaveral	05:38	05:55	06:13	06:24	06:34

Plaza colmena	05:43	06:00	06:17	06:28	06:37
Calle 41 carrera 4	05:43	06:00	06:18	06:29	06:38
Colegio Vicente Azuero	05:44	06:01	06:19	06:30	06:39

En la tabla 6 se muestra un ejemplo de los datos que arroja el GPS, aquí ya se quitaron las paradas en las cuales los datos eran nulos por las razones que se expusieron anteriormente. Debido a lo extenso de la información solo se muestra el ejemplo para 5 recorridos aunque para todos los cálculos se tomaron en cuenta los 142 recorridos que hizo la ruta ese día.

6.1 VELOCIDADES DE OPERACIÓN

Se hizo un análisis inicial de las velocidades de operación del Sistema Metrolinea, de esta forma se pudo identificar que tan uniforme se distribuyen estas velocidades entre recorridos. Lo más óptimo es que cada uno de los 142 recorridos hubiese tenido la misma velocidad de operación, si esto no ocurre se deben buscar estrategias para corregir los errores que se pudieron haber presentado.

Lo que se buscaba era graficar la distancia recorrida por el bus contra el tiempo que necesitaba para hacerlo, en el anexo A se aprecia este comportamiento. Al observar esta gráfica se concluye que después del kilómetro 14 (SENA), se presentó un descontrol general en los recorridos, lo que al final podría significar una variabilidad en las velocidades. Lo situación óptima sería que al haber analizado los 142 recorridos que se hicieron, la gráfica espacio-tiempo hubiese presentado líneas superpuestas con igual pendiente, lo que significaría que cada uno de recorridos se hubiese llevado a cabo en el mismo lapso de tiempo.

Como se sabe la velocidad es una relación entre la distancia y el tiempo que se necesita para recorrerla, lo que significa que la pendiente de las gráficas distancia-tiempo es la misma velocidad. Es por esto que se hizo un análisis (cada 2 horas

aproximadamente) de las velocidades de operación que presentó el Sistema en ese día. Los resultados se muestran a continuación:

Figura 11. Velocidad para la primera fracción de día.

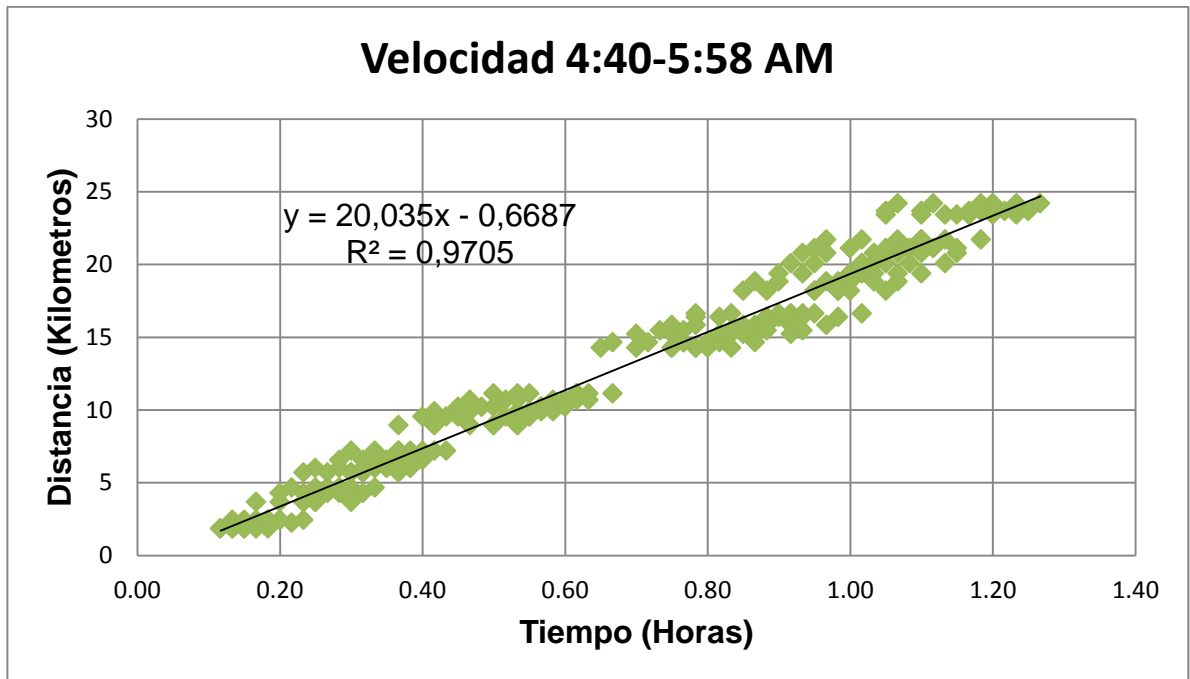


Figura 12. Velocidad para la segunda fracción de día.

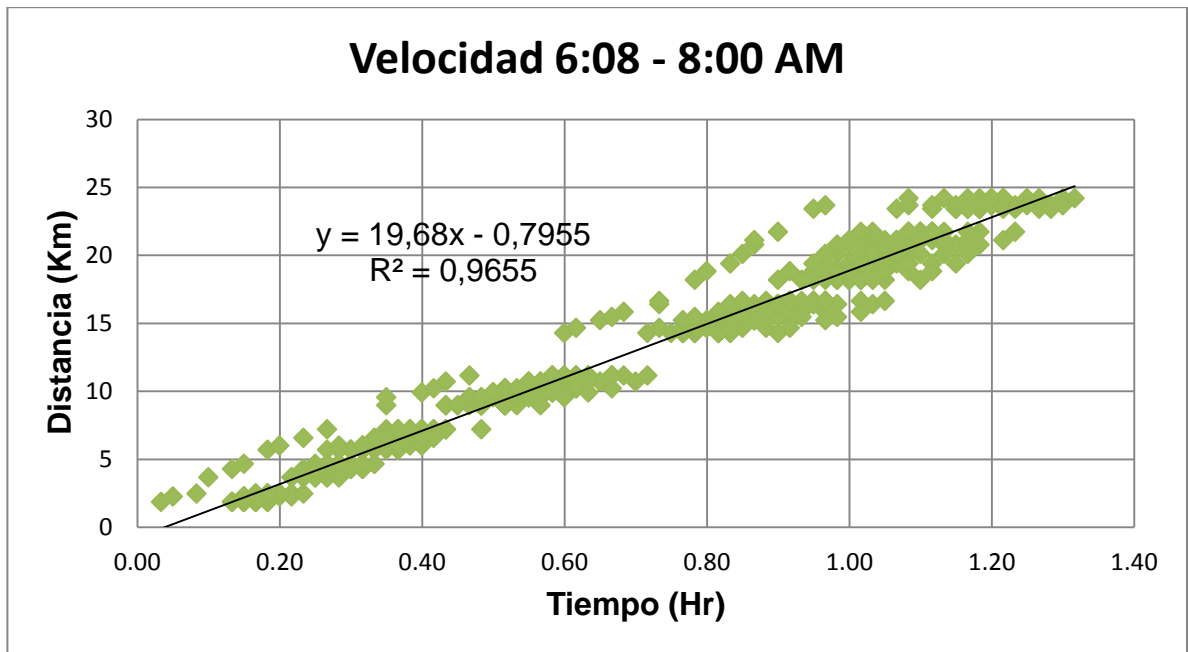


Figura 13. Velocidad para la tercera fracción de día.

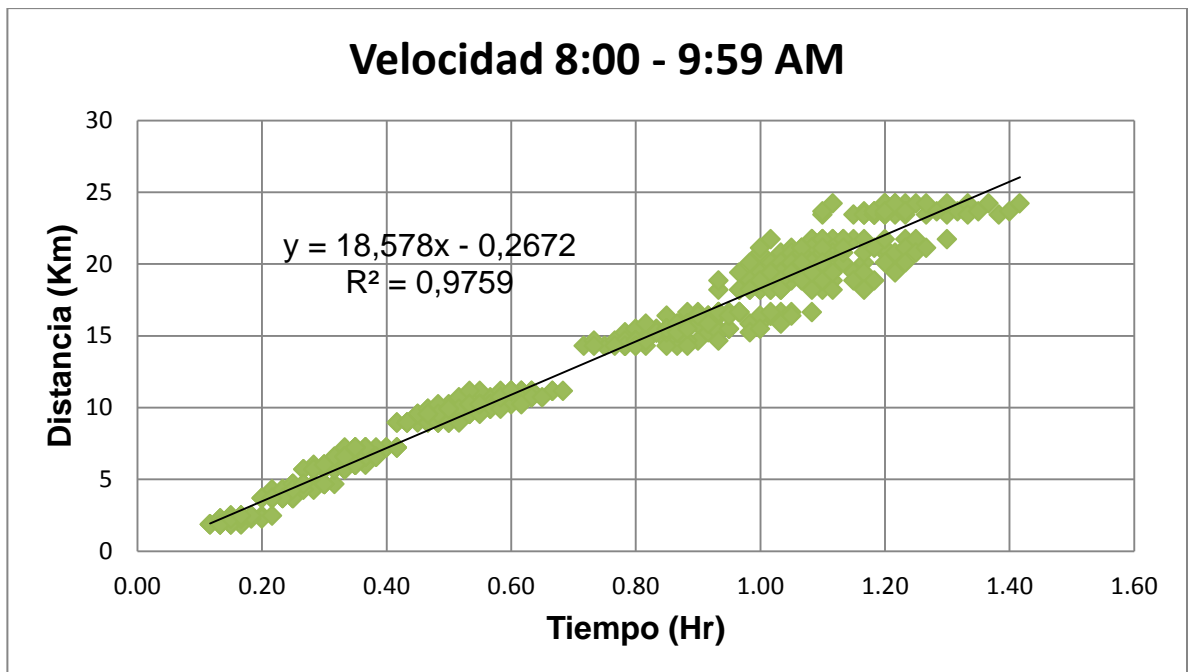


Figura 14. Velocidad para la cuarta fracción de día.

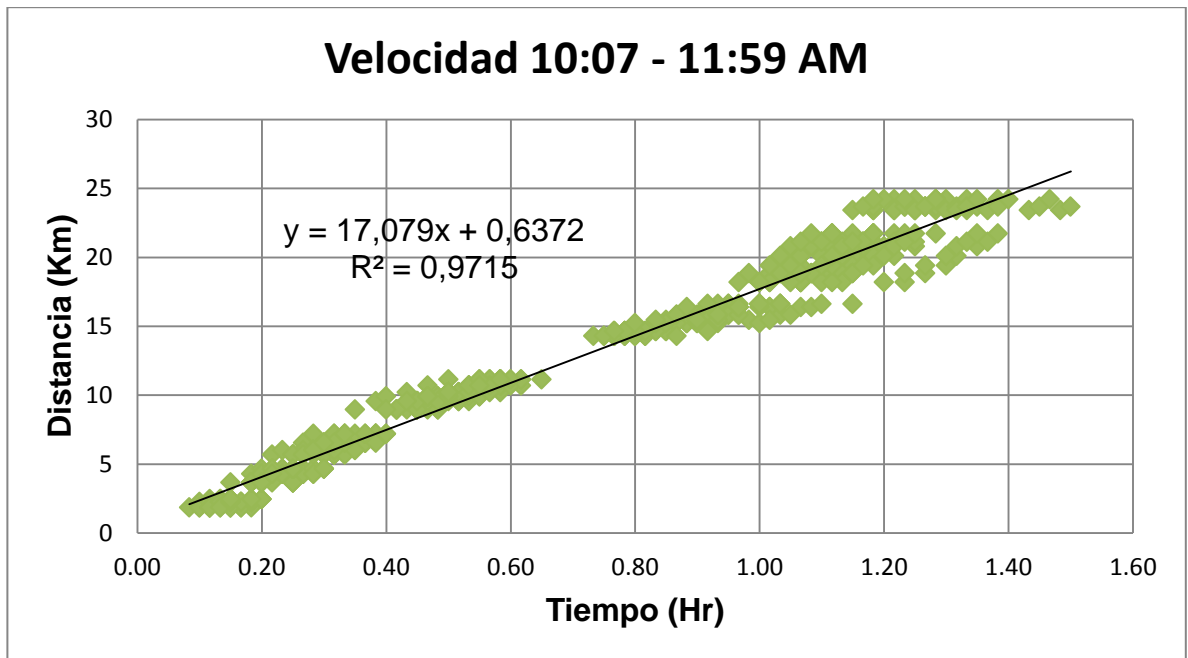


Figura 15. Velocidad para la quinta fracción de día.

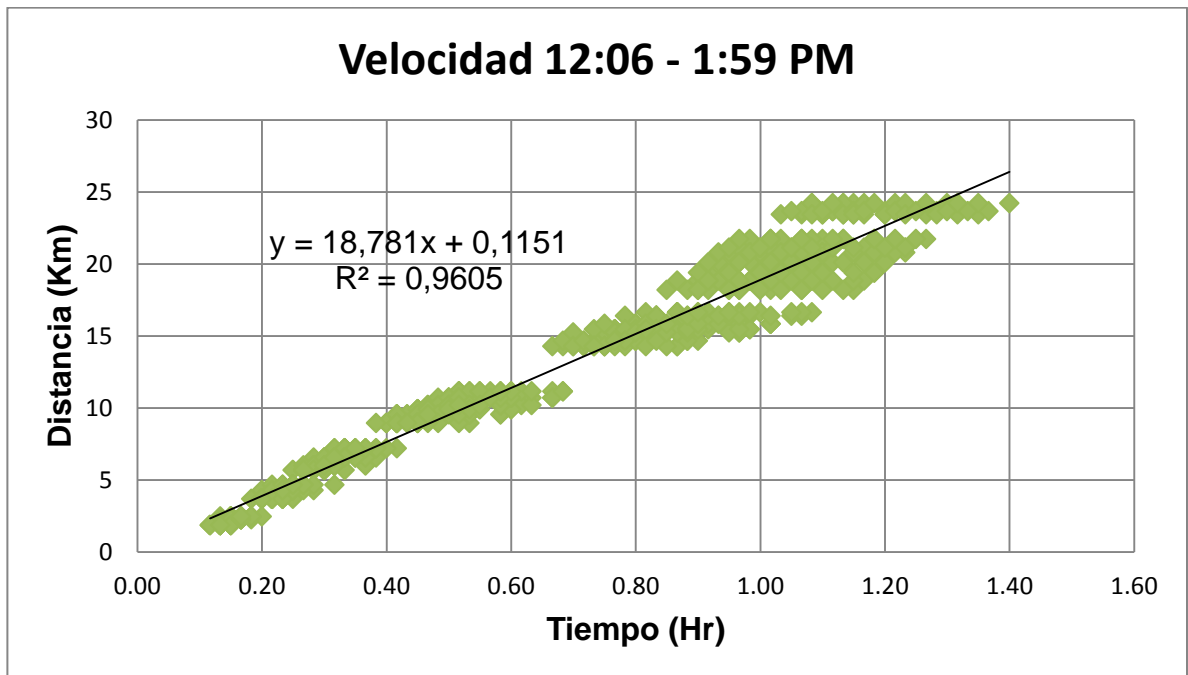


Figura 16. Velocidad para la sexta fracción de día.

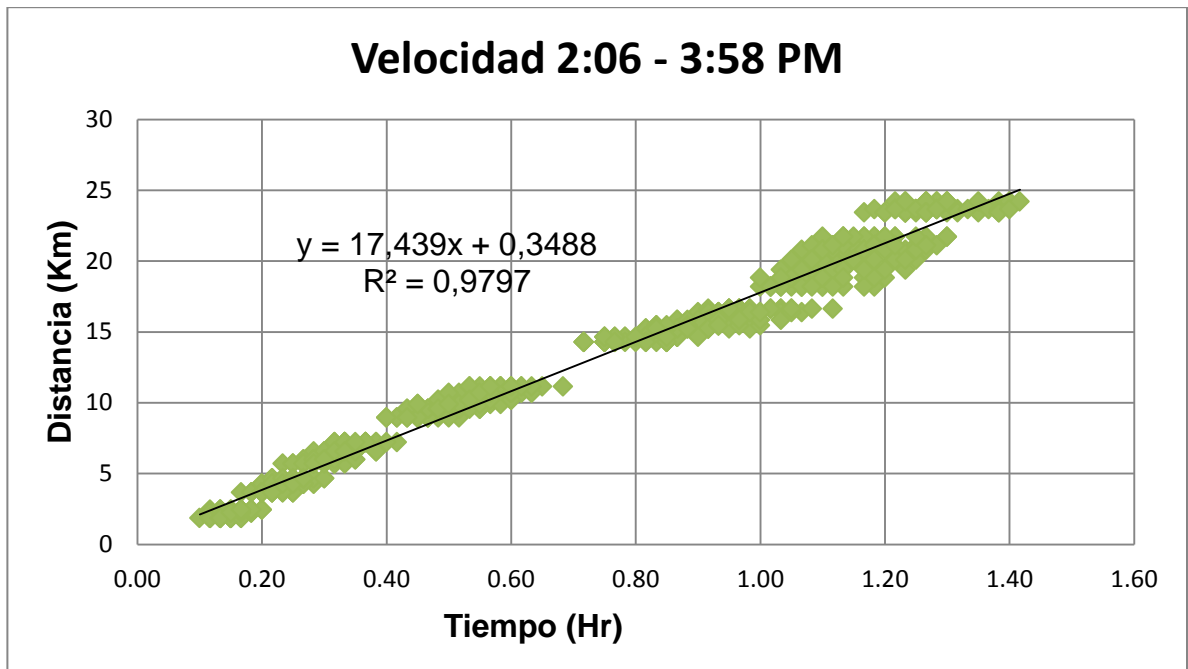


Figura 17. Velocidad para la séptima fracción de día.

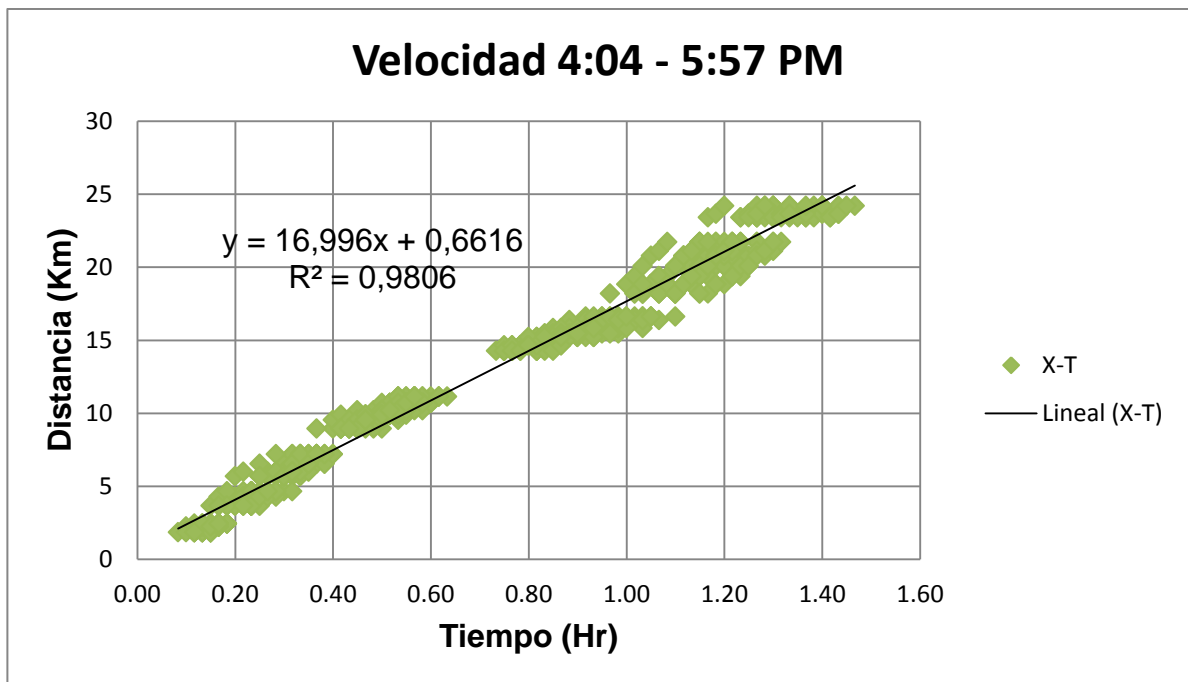


Figura 18. Velocidad para la octava fracción de día.

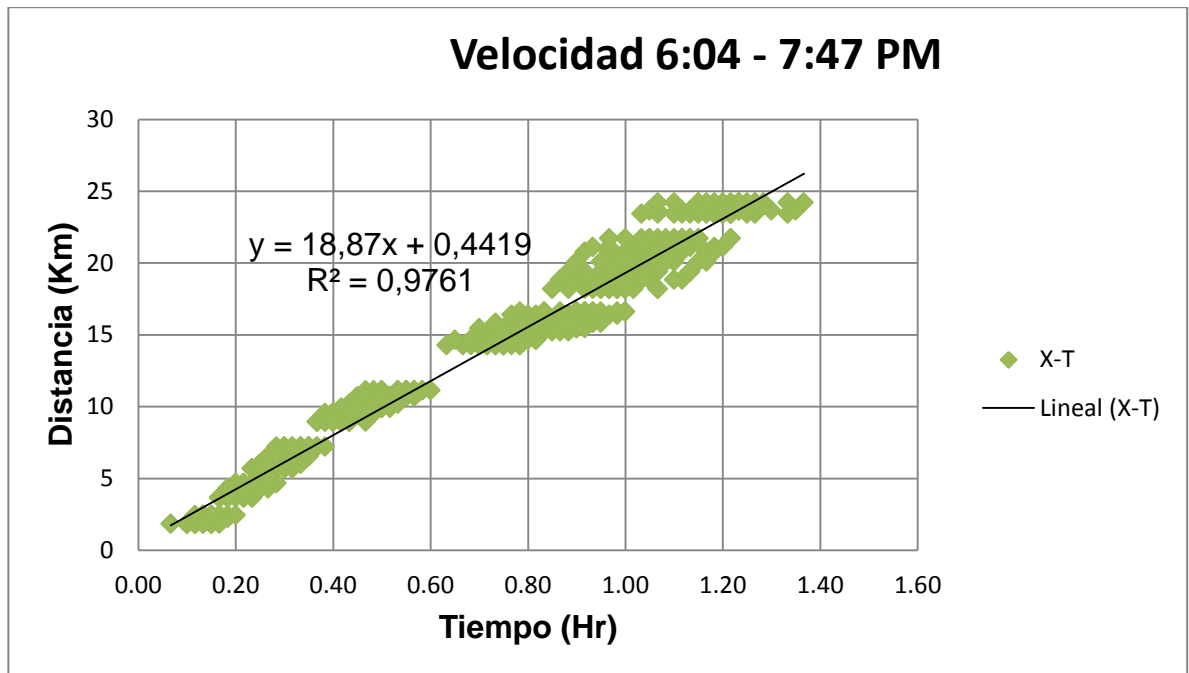
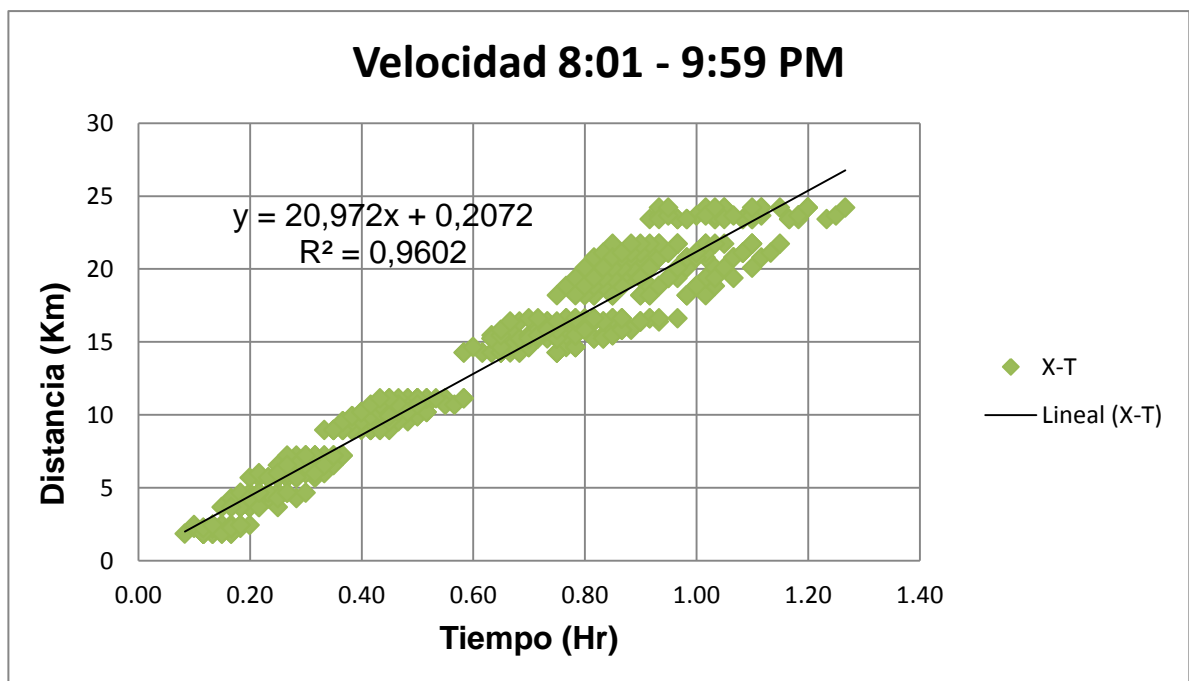


Figura 19. Velocidad para la novena fracción de día.



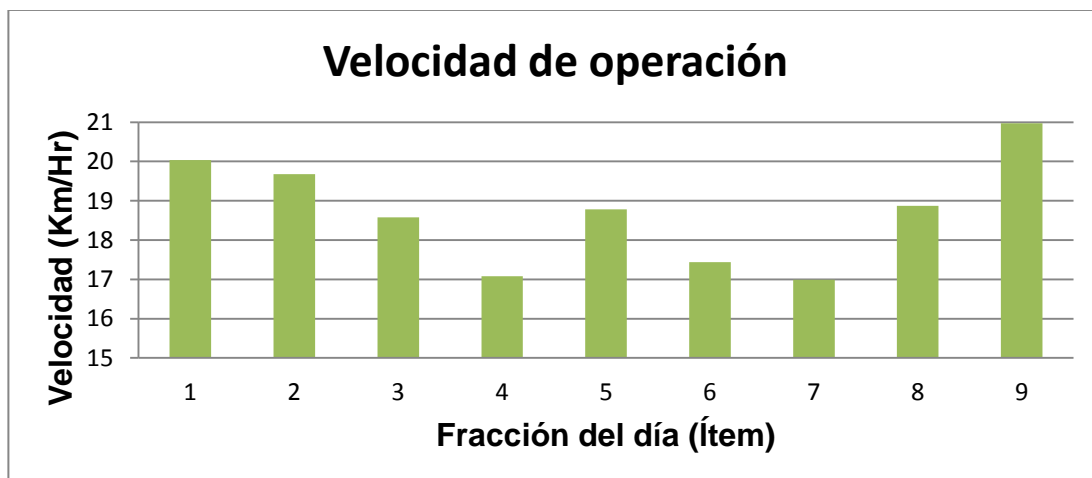
Desde la figura 11 hasta la figura 19 se observa una variabilidad en la pendiente de las rectas es decir en la velocidad, esta variabilidad se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7: Variabilidad en las velocidades de operación.

Item	Intervalo	Velocidad Km/Hr	r ²
1	4:40 - 5:58 AM	20,04	0,97
2	6:08 - 8:00 AM	19,68	0,97
3	8:00 - 9:59 AM	18,58	0,98
4	10:07 - 11:59 AM	17,08	0,97
5	12:06 - 1:59 PM	18,78	0,96
6	2:06 - 3:58 PM	17,44	0,98
7	4:04 - 5:57 PM	16,99	0,98
8	6:04 - 7:47 PM	18,87	0,98
9	8:01 - 9:59 PM	20,97	0,96

Se puede notar que las regresiones están muy próximas a 1, lo que indica una buena confiabilidad en los datos analizados. La figura 20 representa estos datos en forma gráfica:

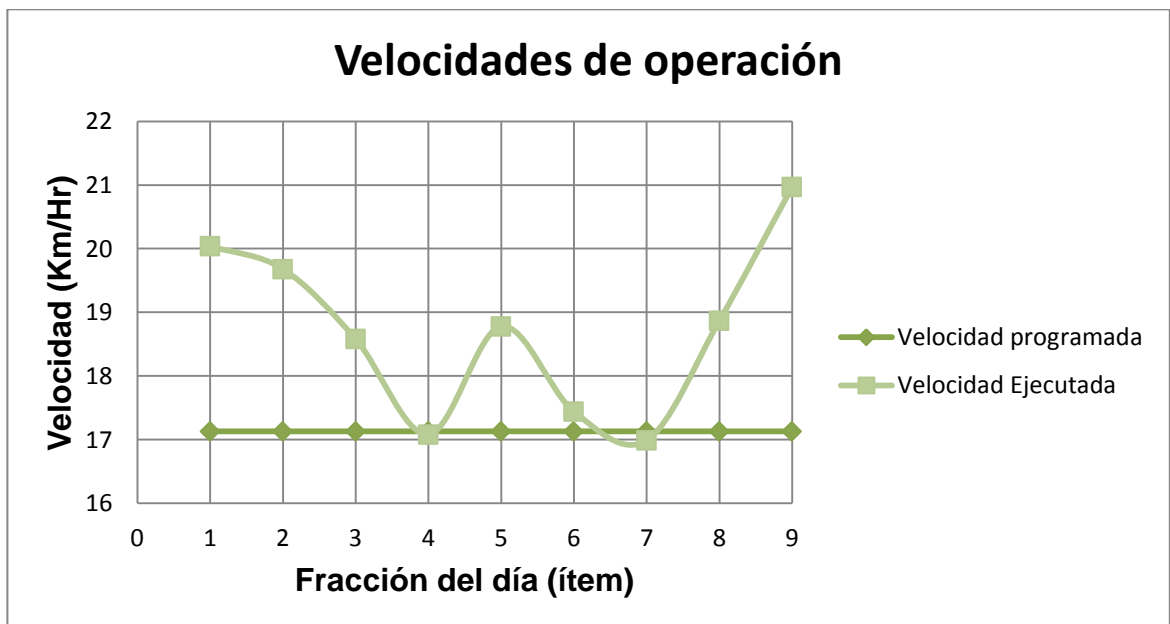
Figura 20. Variabilidad en las velocidades de operación.



Se observa como las velocidades varían a lo largo del día, muy posiblemente debido a factores externos como la condición del tráfico o las condiciones climáticas. Como se dijo anteriormente lo que se busca es que todos los recorridos se ejecuten en la misma cantidad de tiempo a lo largo de todo el día, es decir, que las barras de la figura 20 presenten la misma altura.

Un itinerario de programación para el 15 de febrero de 2011, suministrado por el Sistema Metrolínea, muestra que el tiempo de ciclo programado es de 1 hora y 30 minutos, a pesar que las velocidades de operación que se muestran en la figura 20 son del 19 de enero, esta programación sirve para comparar las velocidades ejecutadas contra las velocidades programadas de operación, ya que según funcionarios del Sistema Metrolínea se ha mantenido igual. Entonces, según lo programado, cada uno de los 142 buses deben recorrer la totalidad de la ruta (25,7 Kilómetros) en 1 hora y 30 minutos, esto nos da una velocidad de operación programada de 17,13 Km/Hr.

Figura 21. Velocidades de operación ejecutadas y velocidad de operación programada



Al observar la figura 21, se podría errar al pensar que la velocidad ejecutada está muy bien comparada con la programada, pues, lo que realmente importa es la regularidad de la velocidad, mas no que tan alta es a lo largo del día; es decir, si la velocidad varía a lo largo del día o a lo largo de la longitud de la ruta, puede ocasionar variaciones en los tiempos de viaje que a su vez ocasiona variaciones en los intervalos entre buses y que finalmente lleva a que los usuarios que están en los paraderos esperen más tiempo que el programado para subirse al siguiente bus, disminuyendo así la conformidad del usuario hacia el Sistema Metrolínea. Mientras que si se mantienen regulares los servicios, es decir, las velocidades, los usuarios podrían programarse para llegar a una hora determinada al paradero, confiados en que muy aproximadamente a esa hora el bus va a estar allí, sin importar que esto admita o no, intervalos entre viajes un poco más largos.

Paralelamente a esto también se llevó a cabo un análisis de velocidades entre paraderos, los resultados se muestran en el anexo B. Las velocidades que se encuentran dentro de los recuadros rojos, son las velocidades en los corredores mixtos, se puede apreciar como las velocidades disminuyen apreciablemente en estos corredores, debido muy posiblemente a la influencia que otros vehículos ejercen sobre los buses.

6.2 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE VIAJE

Esta confiabilidad se midió en cada una de las secciones (longitud entre paradas) que se muestran en la tabla 5. La tabla 8 muestra un ejemplo de los datos necesarios para hallar la confiabilidad de cada una de las secciones de la ruta.

Tabla 8. Tiempos de viaje para 20 recorridos.

Colegio Vicente Azuero - calle 41 con carrera 4				
Recorrido	Hi	Hf	Tiempo de viaje	Minutos
1	04:47	04:48	00:01	1
2	05:01	05:02	00:01	1
3	05:18	05:20	00:02	2
4	05:26	05:28	00:02	2
5	05:37	05:38	00:01	1
6	05:49	05:50	00:01	1
7	05:57	05:59	00:02	2
8	06:06	06:07	00:01	1
9	06:18	06:19	00:01	1
10	06:26	06:27	00:01	1
11	06:30	06:31	00:01	1
12	06:37	06:38	00:01	1
13	06:45	06:45	00:00	0
14	06:53	06:54	00:01	1
15	06:58	06:59	00:01	1
16	07:05	07:06	00:01	1
17	07:15	07:16	00:01	1
19	07:25	07:26	00:01	1
20	07:36	07:38	00:02	2

En esta tabla la columna (Hi) determina la hora en la que el bus llega a la primera parada (colegio Vicente Azuero) y la columna (Hf) indica la hora en la que el bus llega a la siguiente parada (Calle 41 con Carrera 4), por lo tanto su diferencia será el tiempo de viaje del bus en esa sección.

De esta tabla necesitamos conocer tanto la media como desviación estándar de los 142 recorridos que se hicieron, para esto aplicamos las ecuaciones (1) y (2) respectivamente, obteniendo de esta forma los siguientes resultados:

$$\mu = 1,07 \text{ min.}$$

$$\sigma = 0,42 \text{ min.}$$

Y aplicando la ecuación (3) de confiabilidad, obtenemos:

$$CT = \frac{1,07 \text{ min}}{0,42 \text{ min}} = 2,52$$

Este procedimiento para hallar la confiabilidad en los tiempos de viaje se debe repetir para cada una de las secciones, obteniendo la tabla 9, donde se resume estos resultados.

Tabla 9. Confiabilidad en los tiempos de viaje para cada una de las secciones.

SECCIONES CON INFORMACIÓN GPS DISPONIBLE	μ MIN.	σ MIN.	CONFIABILIDAD
Colegio Vicente Azuero - Calle 41 con Carrera 4	1,07	0,42	2,52
Calle 41 con Carrera 4 - Plaza colmena	0,72	0,54	1,35
Cañaveral – molinos	1,60	0,50	3,16
molinos – hormigueros	1,16	0,42	2,77
Hormigueros – payador	1,40	0,50	2,78
payador – Provenza	1,27	0,48	2,67
Provenza – Diamante	1,56	0,60	2,61
Diamante - Antonia santos	1,59	0,62	2,57
Parque Turbay - Carrera 27 con Calle 37	1,97	0,72	2,73
Carrera 27 con Calle 37 - Cafesalud	1,45	0,55	2,63
Cafesalud - Parque de los niños	1,55	0,55	2,81
Parque de los niños - Carrera 27 con Calle 19	1,77	0,69	2,59
Carrera 27 con Calle 19 - SENA	1,55	0,53	2,95
SENA - Carrera 27 con Calle 19	1,44	0,63	2,28
Carrera 27 con Calle 19 - Parque de los niños	3,07	1,05	2,94
Parque de los niños - Cafesalud	1,37	0,68	2,03
Cafesalud - Carrera 27 con Calle 37	1,77	0,60	2,94
Carrera 27 con Calle 37 - Parque Turbay	1,90	0,75	2,52
Parque Turbay - Carrera 27 con Calle 52	1,54	0,68	2,28
Antonia santos - Diamante	1,20	0,46	2,58
Diamante – Provenza	1,54	0,56	2,72

Provenza – Payador	1,31	0,48	2,74
Payador – hormigueros	1,18	0,39	3,06
Hormigueros – molinos	0,85	0,43	1,95
Molinos – cañaveral	1,32	0,47	2,83
Plaza colmena - calle 41 con carrera 4	0,77	0,43	1,78

Según la tabla 9 hay bajos valores de confiabilidad para las secciones *Calle 41 con Carrera 4 – Plaza Colmena; Hormigueros – Molinos y Plaza Colmena – Calle 41 con Carrera 4*. Vemos como esta medida de confiabilidad nos representa las secciones con mayores problemas. Para mayor entendimiento en el anexo C se puede observar de una forma gráfica estas confiabilidades.

6.3 CONFIABILIDAD DE LOS INTERVALOS

Esta confiabilidad fue medida en cada una de las paradas de las que se tiene información, en la tabla 10 se muestra un ejemplo de los datos necesarios para obtener esta confiabilidad, a diferencia de la tabla 9 aquí solo se necesitan datos de cada uno de los paraderos por separado, para el ejemplo se tomó la estación de cañaveral.

Tabla 10. Intervalo para 20 recorridos en la estación cañaveral.

Cañaveral			
Recorrido	Hi	Interv.	Minutos
1	04:50		
2	05:06	00:16	16
3	05:25	00:19	19
4	05:32	00:07	7
5	05:42	00:10	10
6	05:54	00:12	12
7	06:03	00:09	9
8	06:12	00:09	9
9	06:24	00:12	12
10	06:31	00:07	7

11	06:35	00:04	4
12	06:42	00:07	7
13	06:49	00:07	7
14	06:58	00:09	9
15	07:04	00:06	6
16	07:11	00:07	7
17	07:22	00:11	11
18	07:26	00:04	4
19	07:30	00:04	4
20	07:42	00:12	12

La columna (Hi) determina la hora en que el bus llega a la estación y la columna (interv.) es la diferencia de horas de llegada de cada uno de los recorridos, por lo tanto, indica los intervalos en esta estación.

De esta tabla necesitamos conocer tanto la media como desviación estándar de los 142 recorridos que se hicieron, para esto aplicamos las ecuaciones (1) y (2) respectivamente, obteniendo de esta forma los siguientes resultados:

$$\mu = 7,42 \text{ min.}$$

$$\sigma = 3,05 \text{ min.}$$

Y aplicando la ecuación (4) de confiabilidad, obtenemos:

$$CI = \frac{3,05}{7,42} = 0,41$$

Este procedimiento para hallar la confiabilidad de los intervalos se debe repetir para cada una de las paradas, obteniendo la tabla 11, donde se resumen estos resultados.

Tabla 11. Confiabilidad de los intervalos para cada una de las paradas.

PARADA	MEDIA	DESVIACIÓN	VARIABILIDAD
Colegio Vicente Azuero	7,45	2,67	0,36
Calle 41 con Carrera 4	7,44	2,79	0,38
Cañaveral	7,42	3,05	0,41
Molinos	7,42	3,08	0,42
Hormigueros	7,42	3,12	0,42
Payador	7,42	3,20	0,43
Provenza	7,42	3,23	0,44
Diamante	7,42	3,45	0,46
Parque Turbay	7,42	3,09	0,42
Carrera 27 con Calle 37	7,40	3,53	0,48
Cafesalud	7,40	3,59	0,48
Parque de los niños	7,41	3,52	0,48
Carrera 27 con Calle 19	7,40	3,65	0,49
SENA	7,34	4,02	0,55
Carrera 27 con Calle 19	7,34	4,19	0,57
Parque de los niños	7,34	4,32	0,59
Cafesalud	7,33	4,33	0,59
Carrera 27 con Calle 37	7,33	4,46	0,61
Parque Turbay	7,32	4,31	0,59
Antonia santos	7,34	4,60	0,63
Diamante	7,34	4,64	0,63
Provenza	7,33	4,80	0,65
Payador	7,33	4,84	0,66
Hormigueros	7,33	4,86	0,66
Molinos	7,33	4,94	0,67
Plaza colmena	7,32	5,15	0,70
Calle 41 con carrera 4	7,33	5,19	0,71

Como se observa en la ecuación (4) y como ya se ha expresado anteriormente a menores valores de CI mayor será su confiabilidad. Ya muchos investigadores, entre ellos James G. Strathman, Thomas J. Kimpel¹⁰ han coincidido en afirmar que a mayor longitud de la ruta menor será su confiabilidad; cuestión que se confirma con la tabla 11, aunque para mayor entendimiento en el anexo D se aprecia muy

¹⁰ Strathman, James G y Kimpel, Thomas J Headway deviation effects on bus passenger loads: analysis of Tri-Met's archived AVL-APC data. Portlanqued. Portland state University. 2003.

bien, como a medida que se avanza en la longitud de la ruta la variabilidad en los intervalos incrementa.

6.4 PROBABILIDAD DE LLEGADA DE LOS PASAJEROS A LOS PARADEROS

Inicialmente, siguiendo recomendaciones de ingenieros del Sistema Metrolinea, se aforó en el paradero del parque de los niños. Lo que se buscaba principalmente era encontrar la hora pico más crítica (medio día o noche); es por esto, que se aforó minuciosamente, haciéndolo durante 6 días (15, 17, 18, 23, 24, 25 de febrero) tanto en la hora pico del medio día como en la hora pico de la noche.

Los datos se recolectaron siguiendo el formato que se mostró anteriormente en la tabla 2. A continuación se muestra una tabla tipo, tomando como ejemplo un aforo que se realizó el 24 de febrero. Todos los aforos que se hicieron en las diferentes paradas y en diferentes días se encuentran en el anexo H.

Tabla 12. Aforo de pasajeros – Tasa de llegada al paradero.

Nombre del paradero: Parque de los niños.					
Fecha del aforo: 24 de febrero de 2011.					
Fracción pico de estudio: 12:00-2:00 PM. (Medio día)					
Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
12:15		9			
12:17		1			
12:19		1			
12:21		6			
12:23	P3	6	7	16	E
12:25	P6	8	24	0	D
12:26		1			
12:28		1			
12:32	P3	3	5	1	C
12:33		4			
12:34		3			
12:35		2			

12:36	P3	15	9	26	C
12:36	P6		21	5	C
12:39		2			
12:40		2			
12:41	P3	5	14	0	C
12:42		5			
12:43		1			
12:44	P3	4	10	0	C
12:45		3			
12:48		9			
12:49		6			
12:50	P6	6	15	9	C
12:52		2			
12:55		2			
12:57	P3	10	20	3	C
12:59	P3	7	6	4	C
01:00		3			
01:02		1			
01:04	P6	6	9	5	B
01:06	P3	2	7	0	B
01:07		3			
01:08		1			
01:09		4			
01:10	P3	1	9	0	B
01:14		2			
01:16	P6	2	4	0	A
01:19	P3	0	0	0	A
01:21		1			
01:22	P3	1	2	0	B
01:23		2			
01:24		1			
01:25		1			
01:26		1			
01:27		3			
01:29	P3	2	10	0	B
01:32		1			
01:33		1			
01:35		2			
01:36		4			
01:37	P3	6	14	0	C
01:38		1			

01:40		1			
01:41		1			
01:44		1			
01:48		1			
01:49		1			
01:50		1			
01:52		2			
01:55	P3	2	11	0	C

6.4.1 Procesamiento de los datos recogidos.

- Se agrupó cada 5 minutos el número de pasajeros que iba llegando al paradero, por ejemplo en el intervalo [1:40; 1:45) de la tabla 12, llegaron 3 personas, y así sucesivamente. Se hizo así ya que a pesar que se aforó durante 6 días, hubo minutos en que nunca llegaron pasajeros al paradero, entonces, haciendo este agrupamiento se tenían intervalos comunes y constantes de estudio.
- Después de tener los datos agrupados se observó que existen tendencias de llegada en diferentes fracciones de la hora pico, pero estas tendencias dependen de la parada, así que no todas las paradas van a tener la misma tendencia de llegada en las mismas fracciones pico. Es por esto, que a criterio del autor, se escogieron las fracciones de hora pico para estudiar su probabilidad de llegada. Por ejemplo: la parada del parque de los niños tuvo las siguientes fracciones de hora pico:

Medio día: 12:10 – 12:30 P.M; 12:35 – 1:05 P.M; 1:10 – 2:00 P.M

Noche: 6:00 – 6:35 P.M; 6:40 – 7:00 P.M; 7:00 – 7:35 P.M; 7:40 – 8:00 P.M

Estas fracciones se escogieron ya que presentan más llegada de pasajeros unas que otras.

- Teniendo identificadas las fracciones pico objeto de estudio, se procedió a promediar el número de personas que llegan en cada una de esas fracciones, pues, como se explicó anteriormente el ajuste de Poisson necesita un parámetro llamado λ (landa) que es la misma media de los datos. Por ejemplo para la fracción 12:10 – 12:30 P.M se encontró una media de 6 pasajeros cada 5 minutos, mientras que para la fracción 12:35 – 1:05 P.M se encontró una media de 14 pasajeros cada 5 minutos.
- Con λ (landa) plenamente identificado se comenzó con el ajuste a la distribución de Poisson, aplicando la ecuación (8); tomaremos como ejemplo el ajuste de la fracción pico de 12:10 – 12:30 P.M que tuvo una media de 6 pasajeros cada 5 minutos, los resultados fueron los siguientes:

$$f(k; \lambda) = \frac{2.718^{-5} 5^6}{6!} = 0,146$$

Con el ejercicio anterior se quiso mostrar que la probabilidad que 5 pasajeros lleguen en 5 minutos (en 5 minutos porque fue el intervalo de agrupación) fue de 0,146. En la tabla 13 se resume la probabilidad para cada una de las ocurrencias.

Tabla 13. Probabilidad 12:10 – 12:30 P.M. Parque de los niños.

Personas que llegan	Probabilidad que ocurra
1	0,000510944
2	0,012029803
3	0,050409407
4	0,104195635
5	0,146222808
6	0,160623141
7	0,14900278
8	0,122138215

9	0,091090319
10	0,063055458
11	0,041094558
12	0,025481277
13	0,015153025
14	0,008695869
15	0,00483947
16	0,00262226
17	0,001387889
18	0,000719452
19	0,000366095
20	0,000183214
21	9,03232E-05
22	4,39263E-05
23	2,1099E-05
24	1,002E-05
25	4,70918E-06
26	2,19205E-06
27	1,01134E-06
28	4,62775E-07
29	2,10143E-07
30	9,47459E-08
31	4,24335E-08
32	1,88862E-08
33	8,35667E-09
34	3,6773E-09
35	1,60979E-09
Σ	1,00

Vemos que la probabilidad crece a medida que nos acercamos al valor de λ , es decir, de la media. La sumatoria de todas las probabilidades debe ser 1, como se aprecia en la tabla anterior. Este procedimiento se repite para todas las fracciones de hora pico, tanto del medio día como de la noche. A continuación se muestran estas gráficas de probabilidad

Figura 22. Probabilidad pico del medio día 12:10 - 12:30 P.M

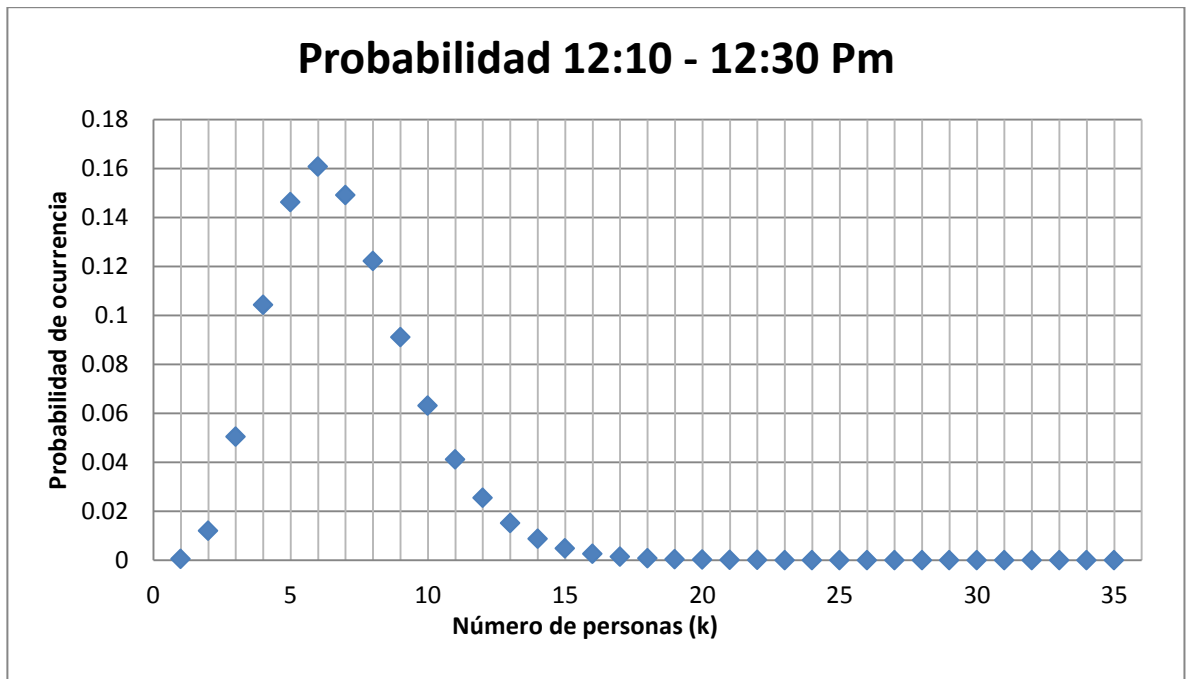


Figura 23. Probabilidad pico del medio día 12:35 - 1:05 P.M

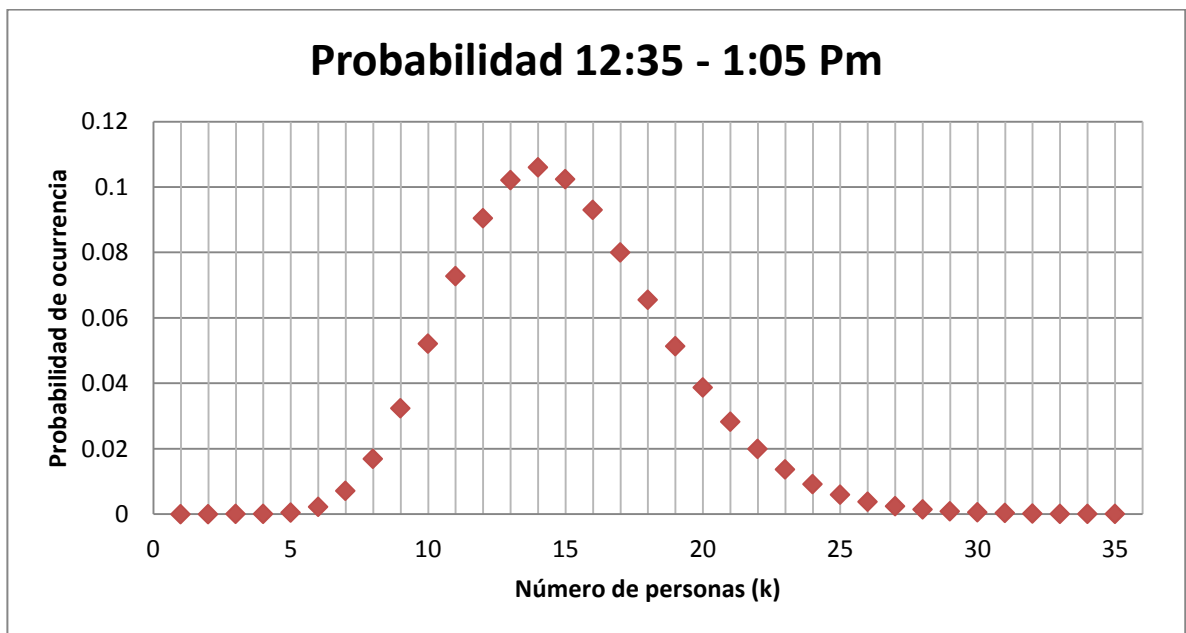


Figura 24. Probabilidad pico del medio día 1:10 - 2:00 P.M

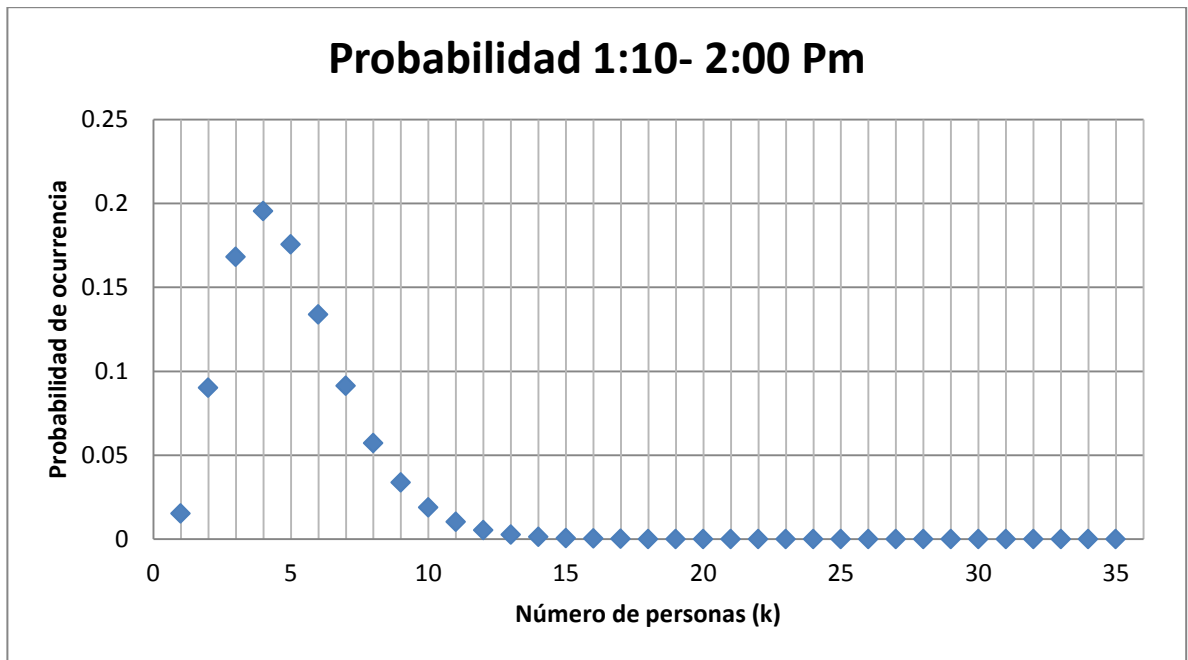


Figura 25. Probabilidad pico de la noche: 6:00 - 6:35 P.M

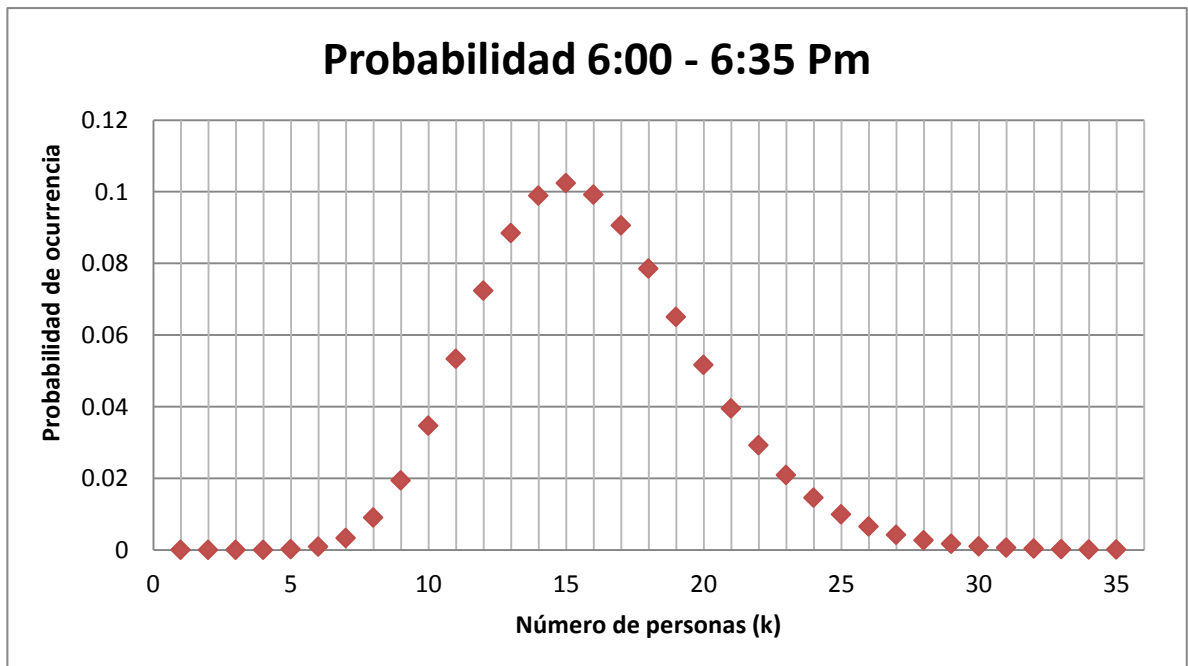


Figura 26. Probabilidad pico de la noche: 6:40 - 6:55 P.M

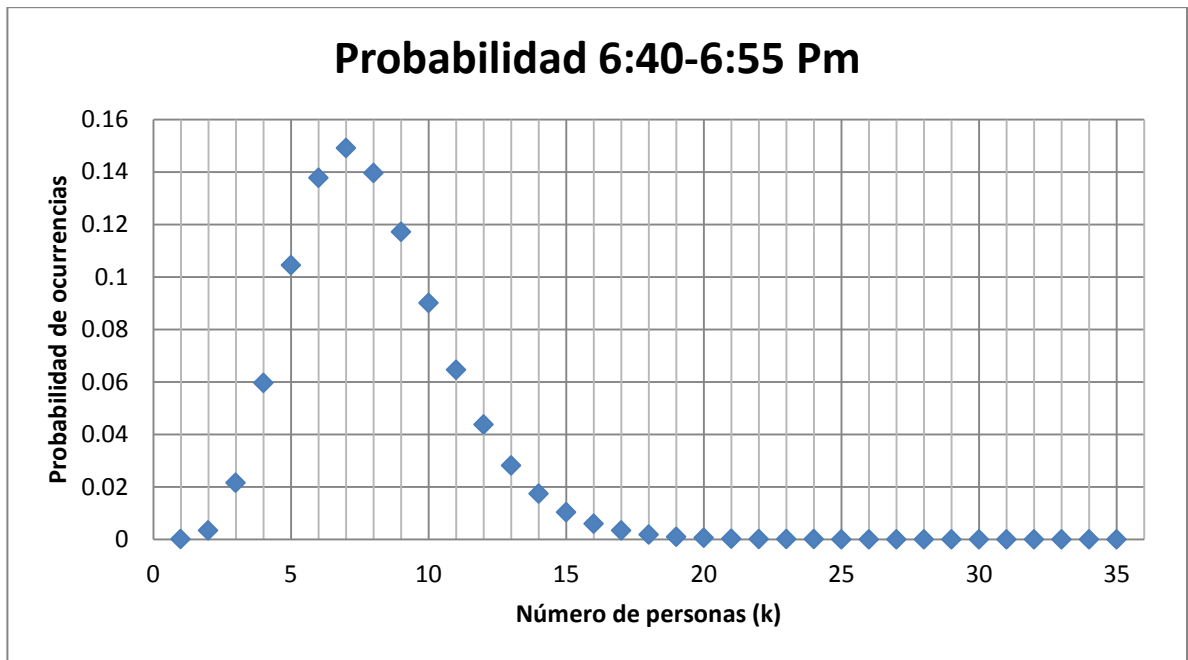


Figura 27. Probabilidad pico de la noche: 7:00 - 7:35 P.M

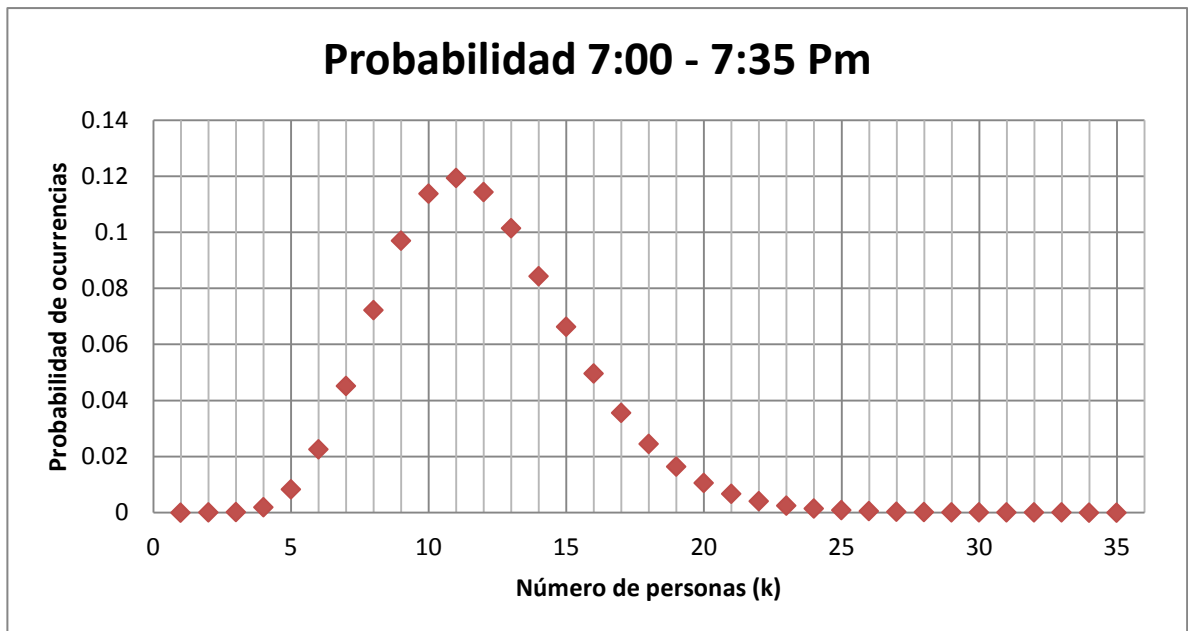
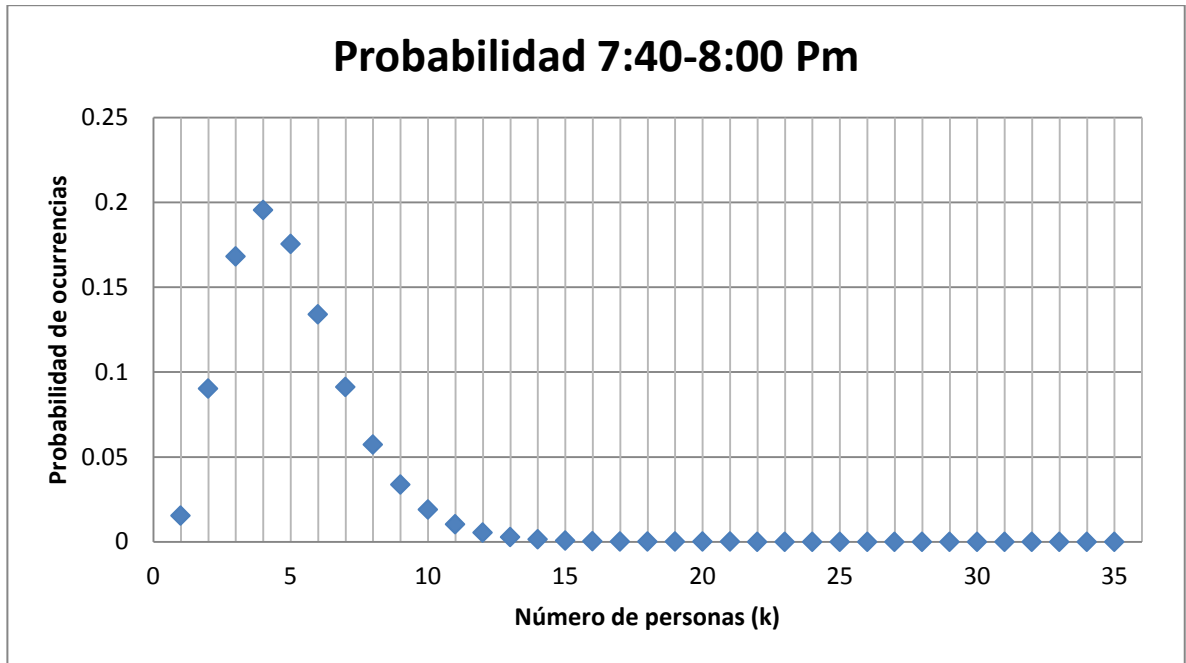


Figura 28. Probabilidad pico de la noche: 7:40 – 8:00 P.M



Después de analizar esta parada se concluye que la hora pico de la noche es más crítica que la del medio día, al hablar de parada crítica se refiere a la gran demanda de pasajeros que se presenta en los paraderos. Esto es confirmado por las curvas de demanda y por funcionarios del Sistema Metrolínea quienes afirman que en la hora pico de la noche es cuando más problemas se presentan.

Desde la figura 22 hasta la figura 28 se muestra el comportamiento probabilístico de la tasa de llegada de pasajeros al paradero del Parque de los niños, las graficas de color rojo son las que presentan mayor media en la llegada de pasajeros, el anexo E y el anexo F son gráficas que superponen las probabilidades para apreciar la variación a lo largo de la hora pico del medio día y de la noche.

Es por esto que los aforos en las otras paradas solo se hicieron para la hora pico de la noche, en la figura 29 se muestran geográficamente estos paraderos.

- Paradero Calle 11 Carrera 26 UIS.
- Paradero SENA.
- Paraderos Parque de los niños.
- Paradero Mercomfenalco.

Los paraderos que se escogieron para el aforo, fueron sugeridos por ingenieros vinculados al Sistema Metrolínea, quienes afirman que aquellos paraderos son representativos, además de presentar grandes demandas de pasajeros.

Como se aprecia en la figura 29 los paraderos aforados se encuentran en corredores mixtos, el paradero de Mercomfenalco fue aforado en el intervalo de 6:00 – 8:00 de la mañana, debido a que se encuentra en la parte inicial del recorrido y es en estas horas donde presenta mayor demanda de pasajeros; mientras que en los paraderos UIS, SENA y Parque de los niños, es en las noches, cuando todo el mundo sale de sus trabajos, universidades o colegios.

Teniendo plenamente identificado las horas de mayor demanda de pasajeros en cada uno de los paraderos, se hizo el aforo en el resto de paradas: Mercomfenalco, UIS, SENA. Los resultados de probabilidad de llegada de pasajeros se muestran de la figura 30 a la figura 34. En la parada de Mercomfenalco no hubo necesidad de fraccionar la hora pico, ya que durante las 2 horas de aforo presentó la misma tendencia, mostrando una media de 7 pasajeros cada 5 minutos.

Figura 29. Paraderos aforados para la tasa de llegada de pasajeros.

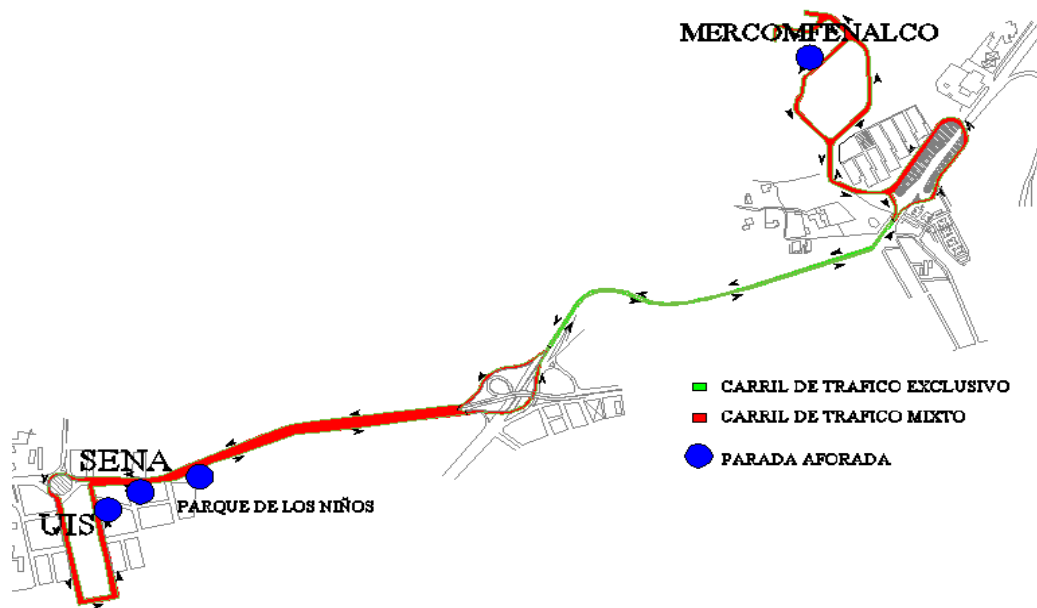


Figura 30. Probabilidad paradero UIS 6:00 – 6:55 P.M

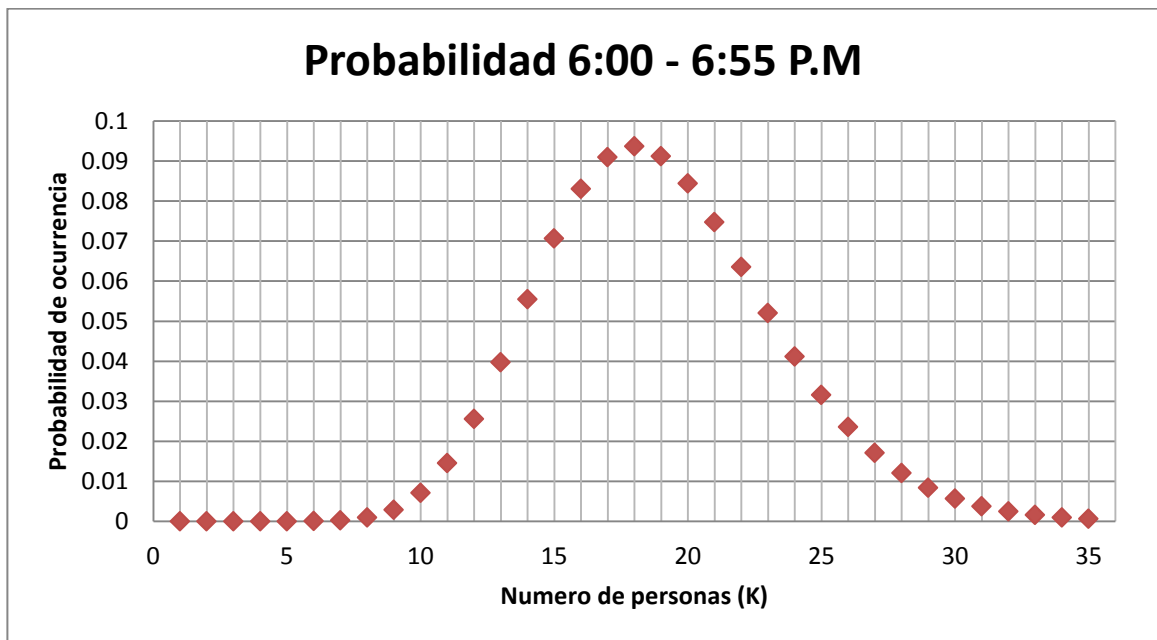


Figura 31. Probabilidad paradero UIS 7:00 – 7:50 P.M

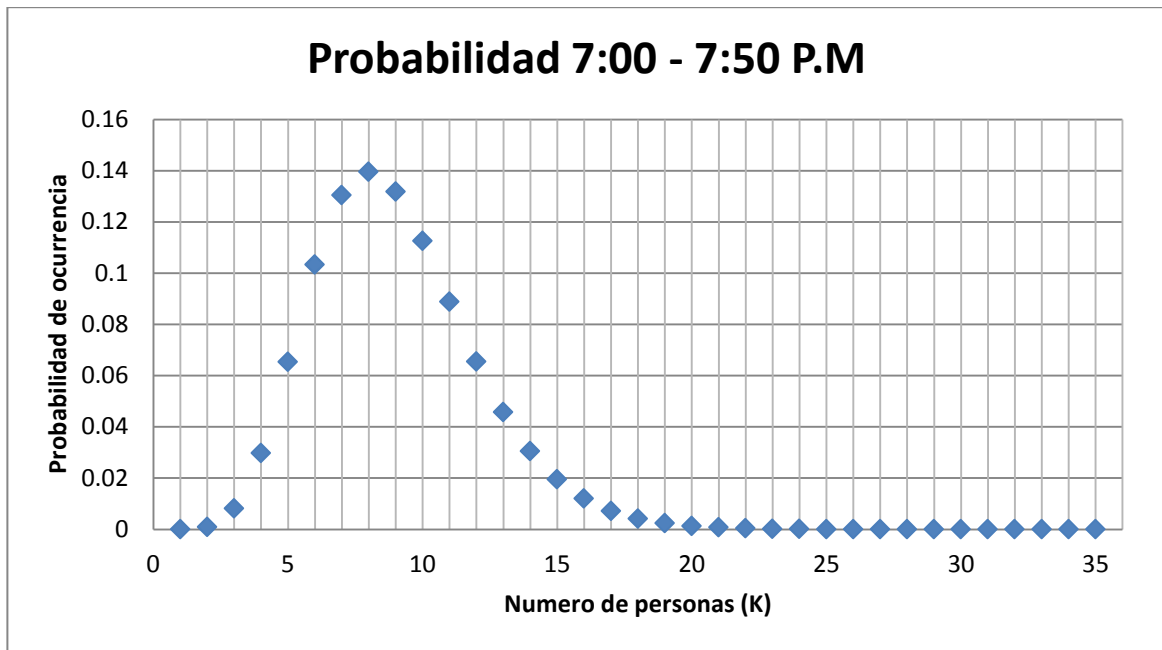


Figura 32. Probabilidad paradero SENA 6:00 – 6:40 P.M

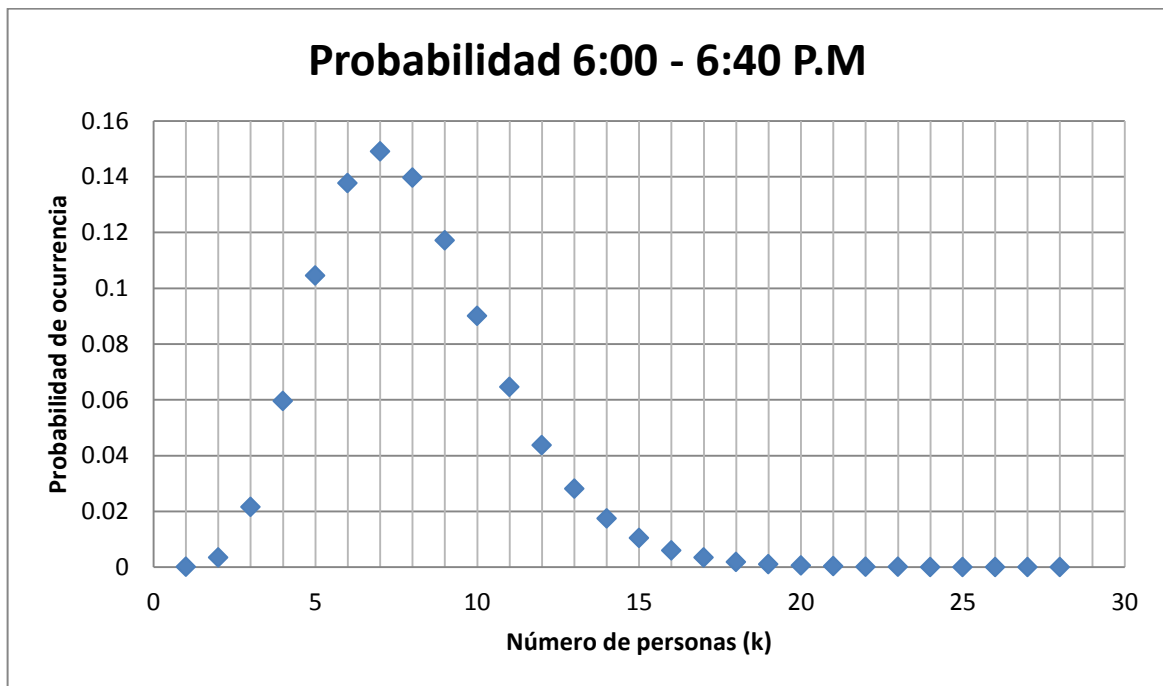


Figura 33. Probabilidad paradero SENA 6:45 – 7:55 P.M

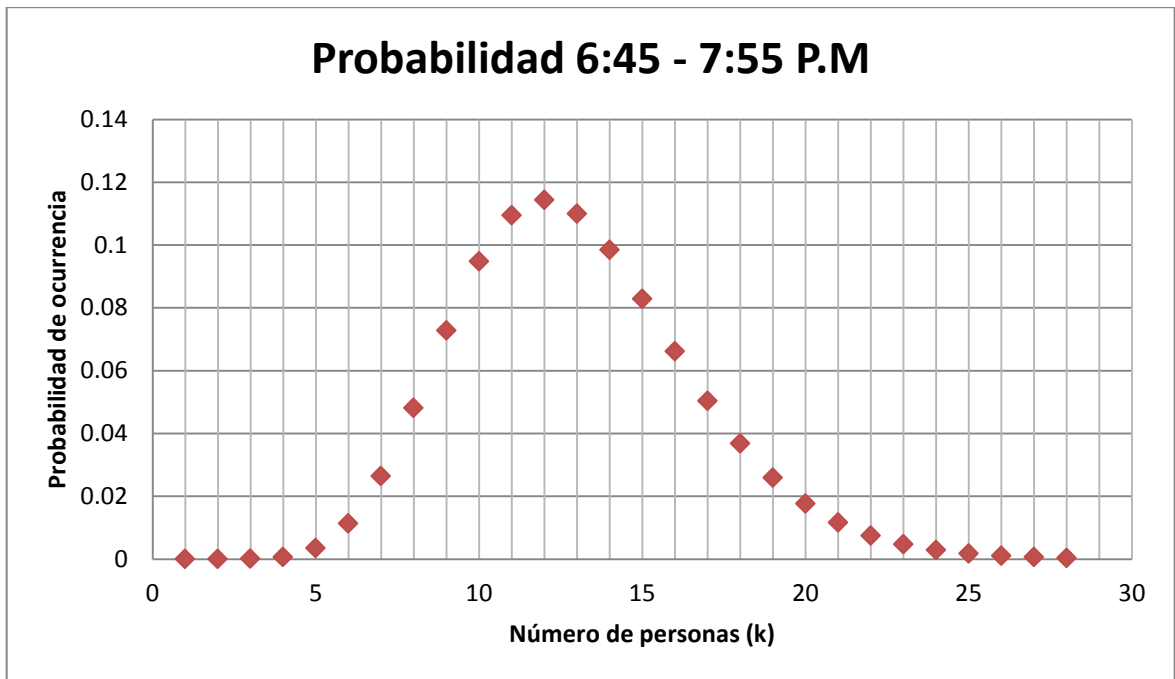
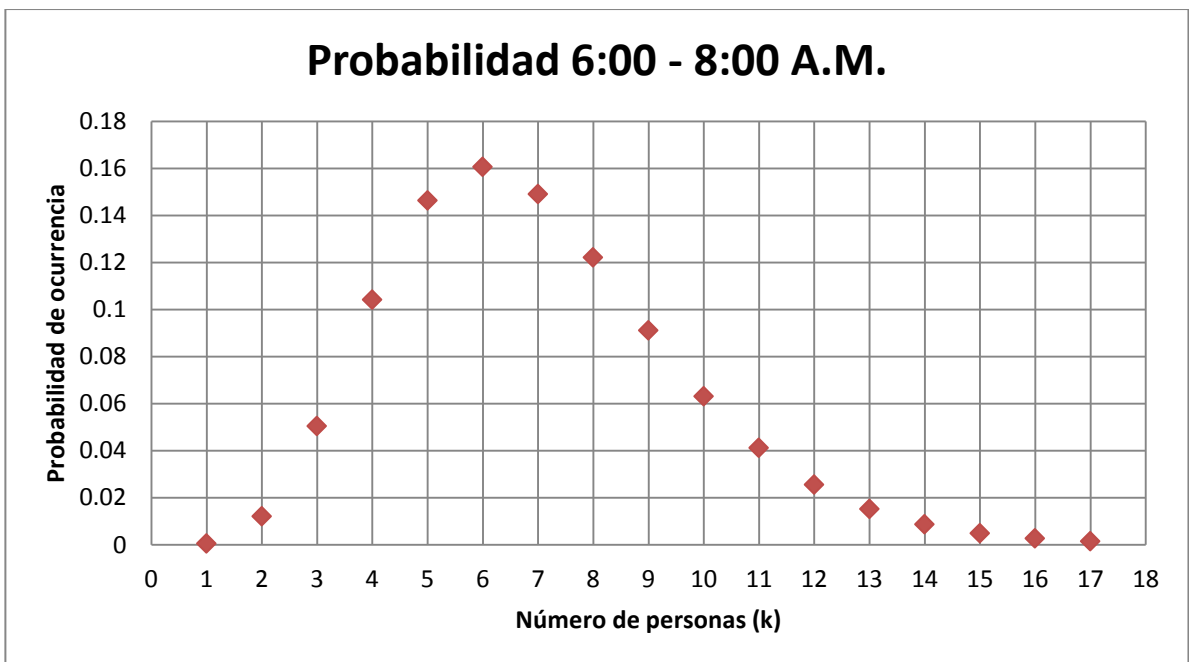


Figura 34. Probabilidad paradero Mercomfenalco 6:00 – 8:00 A.M



La siguiente tabla muestra en resumen el promedio (λ) de pasajeros que llega a cada uno de los paraderos cada 5 minutos, se aclara que el paradero del parque de los niños presenta mayor cantidad de intervalos debido a que en este paradero también se midió al medio día para comparar las 2 franjas (día y noche) y encontrar la mas critica.

Tabla 14. Resumen, promedio de llegada de pasajeros cada 5 minutos.

PROMEDIO DE LLEGADA DE PASAJEROS CADA 5 MINUTOS				
Fracción	Parque de los niños	UIS	SENA	Mercomfenalco
6:00 - 8:00 A.M				7
12:10 - 12:30 P.M	6			
12:35 - 1:05 P.M	14			
1:10 - 2:00 P.M	4			
6:00 - 6:35 P.M	16			
6:40 - 6:55 P.M	7			
7:00 - 7:35 P.M	12			
7:40 - 8:00 P.M	4			
6:00 - 6:55 P.M		19		
7:00 - 7:50 P.M		9		
6:00 - 6:40 P.M			7	
6:45 - 7:55 P.M			12	

En la tabla 14 se aprecian tasas importantes en la llegada de pasajeros para algunas fracciones de hora pico lo cual implica que desviaciones de tiempo en los intervalos del orden de 5 minutos podrían ocasionar acumulaciones de entre 8 y 38 personas en los paraderos analizados, lo cual deja ver que el desempeño de la ruta es bastante sensible a este parámetro. Esto puesto que si el bus llega retrasado podría no tener la capacidad para recoger a los pasajeros acumulados, aumentando aún más el número de pasajeros esperando el bus y por ende sus tiempos de espera.

6.5 CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE ESPERA DE LOS PASAJEROS

Para este análisis, se aprovechó la información que ya se había tomado para la tasa de llegada de pasajeros, pues allí también se registró la hora en que cada bus P3 pasaba por los paraderos. Así como en el subcapítulo anterior, la figura 29 muestra las paradas objeto de estudio. La hora crítica de La parada de Mercomfenalco es en la mañana, así que la confiabilidad se midió en esta franja de tiempo.

Tal como se expuso en el sub capítulo 5.4, el parámetro AWT_{ip} representa lo que los pasajeros deben esperar en un paradero específico para subirse al siguiente bus (en promedio). En la tabla 12 se observa la hora de llegada de cada bus P3 y la hora de llegada de cada uno de los pasajeros al paradero, entonces AWT_{ip} será la diferencia entre estas horas. Se espera que con un ejemplo se entienda mejor esta definición, entonces, en la tabla 15 se observa la secuencia de llegada de pasajeros a un paradero específico.

Tabla 15. Ejemplo, cálculo de la confiabilidad en el tiempo de espera de los pasajeros.

Hora	Bus	Llegan
12:15		9
12:17		1
12:19		1
12:21		6
12:23	P3	6

Por consiguiente, los tiempos de espera de los pasajeros se determinan de la siguiente forma: $12:23 - 12:15 = 00:08$ min; $12:23 - 12:17 = 00:06$ min; $12:23 - 12:19 = 00:04$ min; $12:23 - 12:21 = 00:02$ min; $12:23 - 12:23 = 00:00$ min. Como se observa, esta confiabilidad solo depende de la hora de llegada de pasajeros,

más no de la cantidad de personas que llegan a esa hora, pues cualquiera diría que a las 12:15 llegaron muchas más personas, lo que implica una mayor influencia en la confiabilidad; pero esto no es cierto, ya que la inconformidad de los usuarios es unipersonal no se acumula, es decir, las 9 personas que llegaron a las 12:15 presentan un mismo nivel de inconformidad entre sí, pero mucho mayor que el nivel de inconformidad que presentan las 6 personas que llegaron a las 12:21. Entre más tiempo se encuentre un pasajero en el paradero mayor será su inconformidad. Luego de tener todos los tiempos de espera, se promedian para obtener AWT_{ip} para el paradero.

A pesar que el ejemplo que se utilizó corresponde a datos tomados en la franja del medio día, los cálculos de confiabilidad reales se hicieron para las franjas de la noche y de la mañana, por las razones que ya se expusieron anteriormente.

En general la tabla 16 muestra la confiabilidad en los tiempos de espera para los diferentes paraderos, en los diferentes días de aforos.

Tabla 16. Confiabilidad en los tiempos de espera de pasajeros en los paraderos.

Hora	PARADERO	Día Aforo	SW	AW	CW	Promedio CW
6:00 - 8:00 A.M	Mercomfenalco	16-mar	03:30	02:37	Negativo	Negativo
		17-mar	03:30	02:25		
6:00 - 8:00 P.M	Calle 11 Carrera 26 UIS	14-mar	03:00	04:11	01:11	01:09
		15-mar	03:00	04:07	01:07	
6:00 - 8:00 P.M	SENA	15-mar	03:00	04:16	01:16	00:38
		16-mar	03:00	03:00	00:00	
6:00 - 8:00 P.M	Parque de los niños	15-feb	03:00	03:38	00:38	00:22
		17-feb	03:00	03:21	00:21	
		18-feb	03:00	03:15	00:15	
		23-feb	03:00	03:25	00:25	
		24-feb	03:00	03:28	00:28	
		25-feb	03:00	03:05	00:05	

Aplicando la ecuación (7), para el paradero del parque de los niños el día 15 de febrero, la confiabilidad se obtuvo de la siguiente forma:

$$CW_{ip} = 03:38 - 03:00 = 00:38$$

Donde los 3 minutos representan SWT_{ip} , es decir la mitad del tiempo programado (ver sub capítulo 5.4). Para la hora pico de la noche el intervalo de tiempo que programó el Sistema Metrolinea fue de 6 minutos, información que fue suministrada por ellos mismos; mientras que para la hora pico de la mañana fue de 7 minutos.

Como se dijo en el sub capítulo 5.4 la variabilidad en los intervalos es directamente proporcional al tiempo de espera de los pasajeros en los paraderos; en el anexo D se observa como incrementa la variabilidad de los intervalos a medida que los buses van avanzando en su recorrido. Según esto entre más alejado este el paradero del inicio de la ruta, menor será la confiabilidad de los tiempos de espera de los pasajeros, o dicho en otras palabras, tendrán que esperar más tiempo para subirse al siguiente bus.

Lo ideal es aforar en todos los paraderos de la ruta al mismo tiempo, para mirar como varia esta confiabilidad. Desafortunadamente por cuestiones logísticas solo el autor se encargó de estos aforos, a excepción del 15 de marzo, donde, según se muestra en la tabla 16, el exceso de tiempo de espera para el paradero de la Calle 11 con Carrera 26 UIS fue de 1 minuto y 7 segundos, mientras que un paradero más adelante, en el SENA, fue de 1 minuto y 16 segundos, aumentó.

También se aprecia que el 16 de marzo, en el aforo que se hizo a las 6 de la mañana en el paradero de Mercomfenalco, a pesar que no hubo exceso de tiempo de espera de los pasajeros, ya que este fue negativo, el promedio de los tiempos de espera de los pasajeros fue menor que el que se presentó ese mismo día en el

paradero del SENA, donde tampoco hubo un exceso de tiempo de espera de los pasajeros.

Como ya se ha mencionado anteriormente en este documento, el paradero del parque de los niños fue el que más días aforados tuvo, pues este paradero, fue el que se escogió, (siguiendo recomendaciones de ingenieros del Sistema Metrolinea) para conocer cual franja era más crítica, al medio día o en la noche. La diferencia de fechas en los aforos también da fe de eso.

Aunque los datos obtenidos para febrero, en el paradero del parque de los niños, no sean útiles para correlacionar la variabilidad en los excesos de tiempos de espera de los pasajeros, si expresa que existió un exceso de tiempo de espera, debido a la lejanía del paradero con el inicio de la ruta, esto ocurre de igual forma para el paradero de la UIS el 14 de marzo.

6.6 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD MEDIA ESPACIAL Y LA DENSIDAD DE TRÁFICO.

Como se vio en la ecuación (6) se necesitaron 2 parámetros (V_i, K_c) para construir la gráfica Velocidad – densidad de tráfico. Estos parámetros son polos opuestos, puesto que, como ya se definió anteriormente, V_i representa la velocidad cuando un conductor conduce sin que haya obstáculos como otros carros que interfieran en su camino, es decir, flujo libre; mientras que K_c siendo una densidad de congestionamiento, de alguna forma representa la velocidad cuando esta es nula, ya que cuando la densidad es máxima los vehículos están casi o totalmente detenidos.

6.6.1 Obtención de la velocidad media espacial a flujo libre. V_i . El manual de estudios en ingeniería de tránsito en su tomo XII, recomienda que las medidas de

velocidad tomadas en campo deben ser aleatorias y representativas de las condiciones de flujo libre y para esto se debe:

- Observar siempre el primer vehículo en un pelotón o columna, ya que los vehículos que siguen pueden estar viajando a la velocidad del primero.
- Seleccionar vehículos pesados en la misma proporción de su presencia en el flujo de tránsito.
- Evitar el muestreo de una proporción muy alta de vehículos que viajan a altas velocidades.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de este manual para la obtención de las velocidades, el muestreo se hizo de la siguiente manera:

Para esto se tomaron los tiempos de recorrido de los vehículos en un tramo de la carrera 27, más exactamente en la puerta del sol, entre la calle 56 y el intercambiador. Estos datos se tomaron para vehículos en sentido Sur – Norte, pues en esta posición se puede vigilar que los bombillos traseros del vehículo, también llamados “Stops”, no sean accionados, ya que con un leve freno del conductor ocasionado por un agente externo (otro vehículo o algún semáforo en rojo), se pierde la condición de flujo libre, además siempre se tuvo en cuenta el primer vehículo de un pelotón de vehículos, pues este viaja sin interferencias externas. También se evitó el muestreo de una alta proporción de vehículos que viajan a muy altas velocidades, pues además de superar las velocidades máximas permitidas no representan la tendencia general de los conductores.

6.6.1.1 Tamaño de la muestra. El tamaño de la muestra se determina según la ecuación (7)¹¹:

$$N = \left(\frac{S * K}{E}\right)^2 \quad (7)$$

Donde:

N = Tamaño de la muestra.

K = Constante que depende de la confiabilidad con la que se esta trabajando.

S = Desviación estándar.

E = Error admisible.

El parámetro *K* depende de la confiabilidad con la que se esté trabajando, aunque generalmente se trabaja con un $K=2$, existen otras estimaciones para los valores de esta constante, esto se aprecia en la tabla 17:

El parámetro *S* depende del tipo de vía en estudio; cuando no se ha hecho un estudio previo de desviaciones estándar, existe un estimado razonable dependiendo del tipo de vía y del área de tránsito, este estimado se muestra en la tabla 18:

¹¹ Secretaría de desarrollo social. Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades mexicanas. Manual de estudios en ingeniería de tránsito. Ciudad de México. Tomo XII.

Tabla 17. Constantes correspondientes al nivel de confianza.

Constante, K	Nivel de Confianza (%)
1,00	68,3
1,50	86,6
1,64	90,0
1,96	95,0
2,00	95,5
2,50	98,8
2,58	99,0
3,00	99,7

Manual de ingeniería de tránsito, secretaría de desarrollo social, México.

Tabla 18. Desviación estándar para el tamaño de la muestra.

Área de Tránsito	Tipo de Carretera	Desviación Estándar Media (kph)
Rural	2 carriles	8,5
Rural	4 carriles	6,8
Intermedio	2 carriles	8,5
Intermedio	4 carriles	8,5
Urbana	2 carriles	7,7
Urbana	4 carriles	7,9
Valor Redondeado		8,0

Manual de ingeniería de tránsito, secretaría de desarrollo social, México.

El parámetro A es un error admisible, que depende más que todo del criterio del diseñador, en este manual se recomienda que para análisis de tendencia y evaluaciones económicas se escoja un error entre 3,5 y 6,5 KPH.

Entonces los datos que se usarán para la determinación de la muestra, serán los siguientes:

$$K = 3$$

$$S = 8 \text{ KPH}$$

$$A = 3,5 \text{ KPH}$$

Reemplazando estos datos en la ecuación 7 se determinó el tamaño de la muestra:

$$N = \left(\frac{3 * 8}{3,5}\right)^2 = 47$$

Teniendo en cuenta estas condiciones iniciales, se procedió a aforar y estos fueron los resultados que se obtuvieron:

Tabla 19. Aforo para la obtención de la velocidad media a flujo libre (V_i).

Datos iniciales				
	Distancia m	Tiempo (s)	V (m/s)	V(Km/Hr)
1	164,3	10	16,43	59,15
2	164,3	12	13,69	49,29
3	164,3	12	13,69	49,29
4	164,3	11,4	14,41	51,88
5	164,3	11,9	13,81	49,70
6	164,3	11,5	14,29	51,43
7	164,3	9,5	17,29	62,26
8	164,3	12,3	13,36	48,09
9	164,3	11	14,94	53,77
10	164,3	12,6	13,04	46,94
11	164,3	12,2	13,47	48,48
12	164,3	9	18,26	65,72
13	164,3	16,8	9,78	35,21
14	164,3	11,8	13,92	50,13
15	164,3	10,7	15,36	55,28
16	164,3	11,3	14,54	52,34
17	164,3	11,4	14,41	51,88
18	164,3	13	12,64	45,50

19	164,3	9,5	17,29	62,26
20	164,3	13,3	12,35	44,47
21	164,3	9,37	17,53	63,12
22	164,3	11,9	13,81	49,70
23	79,8	5,7	14,00	50,40
24	164,3	10,4	15,80	56,87
25	164,3	12,6	13,04	46,94
26	79,8	6,3	12,67	45,60
27	79,8	6,9	11,57	41,63
28	79,8	6,2	12,87	46,34
29	164,3	11,09	14,82	53,33
30	79,8	6,9	11,57	41,63
31	164,3	15	10,95	39,43
32	164,3	11,3	14,54	52,34
33	164,3	12	13,69	49,29
34	79,8	6,2	12,87	46,34
35	86,77	7,45	11,65	41,93
36	86,77	7,42	11,69	42,10
37	86,77	6,47	13,41	48,28
38	86,77	6,52	13,31	47,91
39	86,77	6,66	13,03	46,90
40	86,77	5,57	15,58	56,08
41	86,77	7,34	11,82	42,56
42	86,77	5,63	15,41	55,48
43	86,77	7,7	11,27	40,57
44	86,77	5,87	14,78	53,21
45	86,77	5,5	15,78	56,79
46	86,77	6,2	14,00	50,38
47	86,77	6,12	14,18	51,04
Velocidad a flujo libre				50,0

Como vemos en la tabla 19, la velocidad media espacial promedio a flujo libre para este segmento de carretera es de 50,0 Km/Hr. Debido a que la carrera 27 presenta las mismas características geométricas en toda su longitud, se puede tomar esta velocidad como representativa para todo el tramo.

6.6.2 Obtención de la densidad de congestionamiento, (K_c). Para la obtención de este dato se necesitó un aforo de flujo vehicular que se llevó a cabo el día 30 de marzo, entre la parada de la carrera 27 con calle 37 y la parada del parque Turbay, como ejemplo se mostrarán los datos recogidos durante 15 minutos, esto se muestra a continuación:

Tabla 20. Aforo vehicular 30 de marzo.

Hora	Autos	Taxis	Camiones	Cam. Eq.	Motos	Mot. Eq.	suma	Por carril	Por hora
06:10	55	23	0	0	27	5,13	83,13	28	841,18
06:12	46	26	3	5,802	49	9,31	87,112	29	
06:14	45	22	3	5,802	49	9,31	82,112	27	
06:16	44	21	4	7,736	54	10,26	82,996	28	822,22
06:18	43	23	3	5,802	52	9,88	81,682	27	
06:20	48	21	2	3,868	48	9,12	81,988	27	
06:32	47	26	4	7,736	26	4,94	85,676	29	813,28
06:34	42	25	1	1,934	37	7,03	75,964	25	
06:36	44	29	1	1,934	39	7,41	82,344	27	

Como se aprecia en la tabla, el aforo se hizo cada 2 minutos, esto debido a que los semáforos tienen luz verde durante este intervalo de tiempo.

Las columnas de “Camiones equivalentes” y “motos equivalentes” se crearon, ya que es necesario obtener un valor de flujo vehicular, sobre un vehículo tipo, en este caso un auto de 5 metros de longitud. La longitud de este auto se tomó del Manual de diseño geométrico de carreteras¹².

6.6.2.1 Factor de equivalencia para camiones. En el aforo que se hizo se contaron diferentes tipos de camiones, C2P, C2G y C3. Las longitudes promedio de estos vehículos se muestran a continuación:

¹² Ministerio de transporte. Instituto nacional de vías, subdirección de apoyo técnico. Manual de diseño geométrico de carreteras. Colombia. Pag 50. 2008.

Tabla 21. Longitudes de camiones C2P, C2G y C3

Tipo de camión	Long.
Camiones C2P	6,00
Camiones C2G	11,00
Camiones C3	12,00

Estas longitudes fueron tomadas de diferentes proveedores de vehículos así como del manual de diseño geométrico de carreteras (2008). El promedio de estas longitudes es de 9,67 metros, con esto su factor de equivalencia será de:

$$FE = \frac{9,67}{5} = 1,93$$

Entonces como se ve en la tabla 20 el conteo de 3 camiones realmente equivale a $3 * 1,93 = 5,8$ Vehículos equivalentes.

Las motos se deben afectar por un factor de equivalencia tanto a lo ancho como a lo largo.

6.6.2.2 Factor de equivalencia para el ancho de la moto. Para esto se tomara que 2 motos equivalen a 1 carro (a lo ancho), por lo que el factor de equivalencia en esta longitud será de 0,5.

6.6.2.3 Factor de equivalencia para el largo de la moto. El manual de diseño geométrico de carreteras no habla sobre una longitud estándar para las motos, por lo que se hizo una consulta a los diferentes tipos de proveedores de motocicletas en Bucaramanga, llegando a la conclusión que una moto en promedio tiene una longitud de 1, 9 metros, con esto su factor de equivalencia será de:

$$FE = \frac{1,9}{5} = 0,38$$

Entonces como se ve en la tabla 20 el conteo de 27 motos realmente equivale a $27 * 0,5 * 0,38 = 5,13$ Vehículos equivalentes.

Ahora, el Sistema Metrolínea permitió obtener información del paso de los vehículos sobre ese tramo de carretera para el mismo día en que se hizo el aforo de flujo vehicular, lo que permitió conocer las velocidades en ese segmento de ruta.

Sabemos por la teoría de Greenshields (1934) que la velocidad de un vehículo está muy relacionada a la densidad de congestionamiento y por ende al flujo vehicular, es por esto que al observar los 3 diferentes flujos en 3 diferentes tiempos que se tienen en la tabla 19 podríamos pensar que están relacionados a 3 diferentes velocidades del bus. La tabla 22 muestra la relación entre las velocidades de los vehículos y los flujos aforados.

Tabla 22. Relación flujo aforado y velocidades del sistema en 3 diferentes momentos.

Hora (P.M.)	Flujo Aforado (Veh/hr/carril)	Velocidad Sistema AVL (Km/Hr.)
6:10 - 6:15	841,18	27,6
6:15 - 6:20	822,2	14
6:35 - 6:40	813,28	13,44

En la Gráfica de Greenshields (Figura 9), se observa que para cualquier par de datos (velocidad – densidad) corresponde un flujo vehicular diferente (área cuadrada); entonces, aplicando la ecuación fundamental del flujo vehicular (ecuación 6), obtenemos las diferentes densidades de tráfico para cada tipo de velocidad y flujo aforados.

$$Q = V * K$$

$$841,18 \text{ (Veh/Hr/carr)} = 27,6 \text{ (Km/Hr)} * K_1$$

$$K_1 = 30,59 \text{ (Veh/Km/carr)}$$

$$822,2 \text{ (Veh/Hr/carr)} = 14 \text{ (Km/Hr)} * K_2$$

$$K_2 = 58,73 \text{ (Veh/Km/carr)}$$

$$813,28 \text{ (Veh/Hr/carr)} = 13,44 \text{ (Km/Hr)} * K_3$$

$$K_3 = 60,51 \text{ (Veh/Km/carr)}$$

De esta forma se tienen las densidades de congestionamiento para las diferentes velocidades obtenidas por el sistema AVL.

Tabla 23. Relación velocidades del sistema y densidad de tráfico en 3 diferentes momentos.

Hora (P.M.)	Velocidad Sistema AVL (Km/Hr.)	K (Veh/Km/Carr)
6:10 - 6:15	27,5	30,59
6:15 - 6:20	14	58,73
6:35 - 6:40	13,44	60,51
	50	0,00

El último dato pertenece a la velocidad que se aforó a flujo libre y que previamente se explicó en el subcapítulo 6.6.1, lógicamente cuando los carros corren a flujo libre indica que la vía se encuentra con un nivel muy bajo de congestionamiento, es decir que su congestionamiento tiende a ser cero.

Este procedimiento se realiza para flujos vehiculares a lo largo de todo un día, de tal manera que se pueda aforar en diferentes condiciones de tránsito, para así obtener flujos cuando las densidades vehiculares sean tanto mínimas como máximas.

Al final se obtiene muchos pares de datos (K, V) , los cuales se grafican por dispersión; y haciendo una regresión lineal se obtiene finalmente la densidad de congestiónamiento K_c , es decir donde la regresión corte con el eje x.

Esta regresión muestra que la densidad de congestiónamiento para la carrera 27 es de 82 Veh/Km/carr.

Por lo tanto, después de todos estos cálculos se tiene que:

$$V_i = 50 \text{ Km/hr.}$$

$$K_c = 82 \text{ Veh/km/carr.}$$

Habiendo encontrado estos 2 factores, se construyó la gráfica que se muestra en el anexo G haciendo uso de la ecuación (5), esta gráfica caracteriza la relación entre la velocidad y la densidad vehicular de la carrera 27, con ella también se puede conocer el flujo vehicular dependiendo de la velocidad y de la densidad, como se explicó anteriormente.

En el capítulo 5.3 se vio que el flujo máximo se da cuando la velocidad del vehículo es $V_i/2$, lo que significa que la densidad vehicular en ese momento sea $K_c/2$, es decir según los cálculos que se hicieron para caracterizar el tramo de la carrera 27, se tiene que:

$$\frac{V_i}{2} = 25 \text{ (Km/hr)}$$

$$K_c/2 = 41 \text{ (Veh/Km/carr)}$$

Por lo tanto e flujo máximo para la carrera 27 será de:

$$Q_{max} = V_i/2 * K_c/2 = 25 \left(\frac{Km}{hr} \right) * 41 \text{ (veh/km/carr)}$$

$$Q_{max} = 1025 \text{ (Veh/hr/carr)}$$

Es lógico que al analizar la gráfica resultante de Greenshields, los valores de flujo vehicular aforados estén cercanos a los valores que arroja la gráfica, ya que esta fue ajustada con el flujo vehicular aforado, sin embargo la siguiente tabla compara los valores obtenidos.

Tabla 24. Comparación Greenshields y flujo vehicular aforado.

Flujo Vehicular Q (Veh/Hr/Carr)			
Velocidad	Greenshields	Aforo	Error %
27,6	993,6	841,2	15,34
14	826	822,2	0,46
13,4	806,4	813,3	0,86

Errores entre el 0,5 y el 15% son aceptables, si se piensa en el tiempo y en el dinero que se ahorra el Sistema Metrolínea a la hora de medir los flujos vehiculares de la carrera 27, pues haciendo uso de las velocidades arrojadas por el Sistema AVL y de la gráfica de Greenshields, estos datos son muy fáciles de obtener. Se debe tener en cuenta que estas velocidades no deben ser de operación, es decir, se debe cerciorar que el vehículo haga un recorrido continuo

desde la Carrera 27 con Calle 37 hasta la siguiente parada en el Parque Turbay, de tal forma que su velocidad no esté influenciada por semáforos que interfieran la libre movilidad del vehículo sobre este segmento de ruta.

Entonces, la figura del anexo G representa con buena aproximación la tendencia vehicular que presenta la carrera 27, corredor mixto que presta el servicio a la ruta P3 y otras rutas más del Sistema Metrolínea.

7. METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS TIEMPOS DE VIAJE

Después de estudiar todos los parámetros que afectan a un sistema de transporte masivo se ha construido una metodología que permite evaluar el grado de confiabilidad de una ruta, para su entendimiento es necesario saber que:

R = *Se refiere a cualquier recorrido que se realice durante el día.*

P_n = *Se refiere a un paradero n que se encuentra de la ruta P3.*

H_i = *Se refiere a una hora de referencia inicial.*

H_{i+1} = *Se refiere a una hora de referencia final.*

μ = *Se refiere a la media de un grupo de datos.*

σ = *Se refiere a la desviación de un grupo de datos.*

El siguiente mapa conceptual muestra por pasos la medición y el análisis de los parámetros de confiabilidad, además, en el se resumen sugerencias sobre el mejoramiento, las cuales se explican más adelante en el capítulo 8.

Las operaciones matemáticas que se desarrollan en este mapa conceptual, se muestran mediante convenciones aritméticas (-, /). Las flechas que se muestran alrededor de estas operaciones indican la secuencia de operación de dichas convenciones.

Esta metodología se puede apreciar como anexo incluido dentro del CD de tesis.

8. SUGERENCIAS DE MEJORAMIENTO

8.1 REESTRUCTURACIÓN DEL RECORRIDO

Por experiencia se conoce que cuando el vehículo se encuentra de regreso (en sentido Bucaramanga – Floridablanca), llena su capacidad total en el paradero del parque de los niños o un paradero más adelante en Cafesalud, pero a pesar de esto sigue haciendo paradas en siguientes paraderos, donde además de presentar demandas de pasajeros más bajas, es poco probable que los pasajeros que ya están dentro del bus se bajen. Entonces, si por ejemplo se pone en servicio un expreso al diamante los usuarios en paraderos los cuales sus destinos van a estar después del diamante, van a estar más conformes en usar este servicio, ya que su tiempo de recorrido se acortaría en gran medida. Esta medida también optimiza los gastos operacionales del Sistema, pues, menos buses paran en menos paradas lo que representa un ahorro de gasolina, llantas, etc.

8.2 CONTROL EN EXTREMOS DE RUTA

Esta medida ayudaría a controlar la variabilidad en los intervalos entre buses, ya que, como se vio en el anexo D, esta variabilidad aumenta a medida que la longitud del recorrido también lo hace. Por lo tanto, al poner un punto de control aproximadamente en la mitad del recorrido, es decir, en el paradero de la Calle 11 con Carrera 26 o en el paradero del colegio bethlemitas, se estaría de igual forma reduciendo a la mitad, esta variabilidad en los intervalos, ya que la longitud total del recorrido disminuiría a la mitad. ¿En qué consiste este punto de control? Si por ejemplo el recorrido 50 de la ruta P3 viene adelantado 2 minutos en su tiempo programado de viaje, no se le permitiría salir de este punto hasta que no cumpliera con lo programado, de esta forma comenzaría de cero el conteo para la medida de la confiabilidad en los intervalos de viaje para todos los recorridos.

8.3 FORTALECIMIENTO CENTRO DE CONTROL

Esta sugerencia se refiere al contrato de más operadores para el centro de control, de tal forma que menos buses sean controlados por el mismo operador, para que su supervisión sea más rigurosa al momento de medir el desempeño de la ruta durante un recorrido y así poder mejorar confiabilidades como los tiempos de viaje.

8.4 ROTACIÓN DE CONDUCTORES

Muy posiblemente los tiempos de viaje más bajos con respecto a lo programado o las velocidades más irregulares estén ligados siempre al mismo conductor, esta sugerencia lleva a que si se detecta este problema se proceda con la rotación de este conductor para que sus recorridos los haga en fracciones de día que no sean críticos, por ejemplo, en horas no pico ya sea temprano en la mañana o tarde en la noche.

8.5 MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS

Al igual que el sub – capítulo 7.4 es posible que los tiempos de viaje más bajos con respecto a lo programado o las velocidades más irregulares estén ligados siempre al mismo vehículo, en este caso se debe cerciorar que está pasando con este carro, si son problemas mecánicos o algún problema de otro tipo, es por esto que se sugiere este tipo de mantenimientos.

8.6 DESPACHOS EXTRAS DESDE PUNTOS DE ALTA DEMANDA

Al analizar el anexo F se observa que las probabilidades de llegada de pasajeros para el paradero del parque de los niños son altas en la primera media hora de la fracción pico de la noche, es decir entre las 6:00 y las 6:30 de la noche y paralelamente a esto se encontró que en esa misma franja horaria varios buses

llegaban al paradero con un nivel de ocupación E, lo que imposibilita la subida de pasajeros en ese paradero, haciendo que se acumulen y su inconformidad por el Sistema aumente. Es por esto que se recomienda este tipo de despachos, por ejemplo que salgan desde la Quebradaseca con carrera 27, de esta forma, los usuarios que no pueden subirse a un bus con itinerario de programación normal, si podrán hacerlo en estos vehículos con despachos extras.

8.7 OPTIMIZACIÓN DE FRECUENCIAS

Actualmente el Sistema Metrolínea tiene un itinerario excelente de programación de frecuencias, ya que sus frecuencias más cortas las tiene en las horas pico de la noche, donde según este estudio muestra mayor demanda de pasajeros; pero no sobraría recomendar que sus frecuencias desde un segundo punto de control (recomendado en sub – capítulo 8.2) sean aún más cortas, de tal forma que se disminuya los tiempos de espera de los pasajeros (medidos en el sub – capítulo 6.5). Además, que mas usuarios puedan hacer uso a tiempo de los servicios del Sistema.

8.8 OPTIMIZACIÓN DE LOS TIEMPOS DE CICLO

En el sub – capítulo 6.1 se vio que el tiempo programado de ciclo es de 1 hora 30 minutos. No sobra recomendar que estos tiempos de ciclo cambien a lo largo del día, dependiendo de las condiciones de tráfico como se vio en el sub – capítulo 6.6. Por ejemplo un tiempo de ciclo más largo o más corto, de manera tal que su velocidad de operación se asemeje a la velocidad de operación de la flota vehicular privada en las horas pico sumado con la recomendación del sub – capítulo 7.6, optimizaría velocidades al mismo tiempo que supliría la demanda de pasajeros.

8.9 SENSIBILIZAR A LOS USUARIOS DEL BUEN USO DE LOS VEHÍCULOS

Haciendo la recolección de datos para esta investigación, se pudo ver que en las horas pico de mayor demanda, las personas dentro del bus tendían a ocupar las puertas de acceso y dejaban con espacios vacíos apreciables las partes centrales del vehículo, imposibilitando a otros usuarios a que tomaran el servicio existiendo aún un espacio para ellos, esto disminuye la capacidad efectiva de los vehículos, al mismo tiempo que aumenta la inconformidad de las personas que no pueden tomar el servicio a tiempo. Para esto se pensó en recomendar grabaciones dentro de los buses que estén recalcando lo más seguido que se pueda la acomodación uniforme de todos los usuarios dentro del vehículo, permitiendo así que más personas tomen el servicio.

8.10 REDEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD OPERACIONAL DE LA FLOTA

Si definitivamente el ítem 7.9 no da resultados, se recomienda redefinir la capacidad efectiva del vehículo para que el diseño de su programación de frecuencias también sea rediseñado, ya que si por ejemplo, las frecuencias de los buses se están diseñando suponiendo una capacidad de los vehículos de 90 personas, el diseño estaría mal cuando realmente esta capacidad es de 70 personas debido a su mala distribución.

8.11 SINCRONIZACIÓN SEMAFÓRICA

Sería muy interesante ver como se armoniza el paso de los vehículos del Sistema Metrolínea con la luz verde de los semáforos en los corredores mixtos, esto disminuiría los tiempos de viaje aumentando al mismo tiempo la velocidad operacional de los vehículos, lo que finalmente significaría un aumento en la conformidad de los usuarios y una optimización del Sistema Metrolínea en general.

8.12 COBERTURA GPS

Es muy importante que el Sistema Metrolínea obtenga información de todas las paradas en cada una de sus rutas, en este estudio se vio que hay paradas en el sector de Bucarica y el sector de la carrera 27 que no tienen cobertura GPS, lo cual imposibilita sus análisis de velocidades, tiempos de viaje y confiabilidades en general. Como dijo Jhon Jairo Padilla, la cobertura de un sistema AVL es tan amplia como la red de comunicaciones que lo soporta. Por esto se sugiere ampliar esta cobertura, para perfeccionar los estudios posteriores.

9. CONCLUSIONES

- El análisis de las velocidades de operación a lo largo de todo el día en estudio, mostró que las fracciones (hora de despacho) entre las 10 A.M – 12 A.M y las 4 P.M – 6 P.M fueron las que presentaron menor velocidad de operación, muy posiblemente debido a que gran parte de los recorridos despachados a esas horas, pasan por el sector crítico (carrera 27) durante las horas pico tanto de la noche como del medio día; además de la influencia que se presenta al momento de recoger pasajeros en los paraderos de andén de este sector ya que al existir altas demandas de pasajeros (por ser horas pico) los buses tendrán mayores tiempos de detención.
- A pesar que la franja de la mañana de 6:00 – 8:00 A.M es una franja pico sus velocidades de operación no son tan bajas, debido muy posiblemente a que la ruta P3 recoge la mayor parte de pasajeros en estaciones, lo que acelera el proceso de abordaje y disminuye los tiempos de detención, manteniendo las velocidades de operación relativamente altas; sumado a esto el pico y placa disminuye la densidad de la flota privada permitiendo un flujo de los buses mas libre.
- En este mismo análisis se observa que se presentan altas velocidades de operación en la primera franja de la mañana y lo mismo ocurre para la última franja de la noche, debido muy posiblemente a la poca influencia de tráfico vehicular privado en los corredores mixtos, que se presenta a estas horas del día.
- Al comparar las velocidades programadas con las velocidades ejecutadas en la figura 18, se nota que la diferencia promedio máxima de estas 2 velocidades es de aproximadamente 2,5 Km/Hr.

- Al observar la figura 21, se podría errar al pensar que la velocidad ejecutada está muy bien comparada con la programada (debido a que la ejecutada presenta mayores velocidades), ya que, lo que realmente importa es la regularidad de la velocidad, mas no que tan alta es a lo largo del día; es decir, si la velocidad varía a lo largo del día o a lo largo de la longitud de la ruta, puede ocasionar variaciones en los tiempos de viaje que a su vez ocasiona variaciones en los intervalos entre buses y que finalmente lleva a que los usuarios que están en los paraderos esperen más tiempo que el programado para subirse al siguiente bus, disminuyendo así la conformidad del usuario hacia el Sistema Metrolínea. Mientras que si se mantienen regulares los servicios, es decir, las velocidades, los usuarios podrían programarse para llegar a una hora determinada al paradero, confiados en que muy aproximadamente a esa hora el bus va a estar allí, sin importar que esto admita o no, intervalos entre viajes un poco más largos.
- La regularidad de la velocidad está directamente relacionado con los tiempos de espera de los pasajeros en los paraderos, ya que a mayor irregularidad en la velocidad mayor será el descontrol de los intervalos entre recorridos, lo que finalmente se podría traducir como un exceso de tiempos de espera de pasajeros.
- Al observar las velocidades de operación entre paraderos consecutivos (anexo B), se observa que las velocidades más bajas se presentan en los corredores de tráfico mixto, en cambio las velocidades más altas de operación se presentan en corredores exclusivos.
- Hubo 2 segmentos de corredor exclusivo que presentaron bajas velocidades de operación, tanto de ida como de regreso: Molinos – Hormigueros; Hormigueros – Molinos; Estación de transferencia de Provenza – Diamante; Diamante – Estación de transferencia de Provenza. Para el primero se puede

explicar que al tratarse del segmento de ruta con mayor pendiente de todo el recorrido (alrededor del 9%) exige mucha potencia a los vehículos en el sentido sur – norte, limitando sus velocidades; igual pasa en el sentido norte – sur donde los conductores de los vehículos bajan a pocas velocidades debido al nivel de ocupación del bus y a esta alta pendiente que se presenta. Para el segundo caso la estación Provenza, es la estación que mayor demanda de pasajeros tiene de todo el Sistema Metrolínea, al tratarse de una estación de transferencia, lo que genera altos tiempos de detención para el embarco y desembarco de pasajeros, lo cual afecta la velocidades de operación, disminuyéndolas considerablemente.

- Existen parámetros, que permiten medir los problemas de una ruta y mejorar sus velocidades de operación, estos son: Confiabilidad en los tiempos de viaje; confiabilidad de los intervalos entre recorridos y confiabilidad en los tiempos de espera de los pasajeros.
- La confiabilidad en los tiempos de viaje, mide que tan regulares son los recorridos, relacionando su media con la desviación estándar. En este estudio se encontró que un mismo segmento de carretera, presentó las confiabilidades más bajas: Calle 41 con Carrera 4 – plaza colmena; Plaza colmena – Calle 41 con Carrera 4. Debido muy posiblemente a que este segmento se encuentra en corredor de tráfico mixto, sumando a esto las características geométricas y las precarias condiciones viales que presenta el sector de Bucarica.
- Tal cual lo afirma Strathman (1999), el tiempo de recorrido es afectado por la longitud de la ruta, o dicho en otras palabras a mayor longitud de ruta menor será su confiabilidad. Esto es confirmado por el anexo D, donde se puede apreciar que mientras aumenta la longitud de la ruta, también lo hace la variabilidad de los intervalos entre buses, es decir se vuelve más inconfiable la ruta P3.

- La variabilidad en los intervalos entre recorridos es directamente proporcional al exceso de tiempo que los pasajeros debe esperar en el paradero para subirse al siguiente bus.
- En la tabla 16 se aprecia que el exceso de tiempo de espera de los pasajeros es nulo (negativo) en el paradero de Mercomfenalco, lo que explica que a menor distancia del inicio del recorrido, mayor será su confiabilidad, cabe recordar que este es el paradero número 5 desde el inicio del recorrido de un total de 65 paraderos.
- A pesar que los aforos de tasa de llegada de pasajeros no se midieron el mismo día, al mismo tiempo en todas las paradas de estudio para de esta forma comprobar su relación directa con la variabilidad de los intervalos; sí hubo 2 días en que se midió en 2 paraderos consecutivos, gracias a que esos días hubo capacidad logística para hacerlo. Aquí se encontró que el 15 de marzo hubo un exceso de tiempo de espera en el paradero de la UIS, este fue de 1 minuto y 7 segundos, mientras que un paradero más adelante el del SENA este exceso fue de 1 minuto 16 segundos; lo mismo pasó el 16 de marzo donde se mostró que en el paradero de Mercomfenalco el exceso fue negativo con un valor de -00:23 segundos mientras que en el SENA se presentó un exceso nulo 00:00.
- En general los excesos de tiempos de espera dieron positivos para paraderos relativamente alejados del inicio de los recorridos, mientras que estos excesos dieron nulos (negativos) para paraderos cerca al inicio de los recorridos.
- Aforos de tasa de llegada de pasajeros mostraron que hay mayor demanda de pasajeros en la hora pico de la noche en comparación de la hora pico del medio día.

- La máxima probabilidad de llegada de pasajeros para el paradero del Parque de los niños se presentó entre las 6:00 P.M y las 6:35 P.M; sin embargo, en esta misma franja de tiempo pasaron varios vehículos con nivel de ocupación E, imposibilitando el servicio para estos usuarios.
- Greenshields estableció una relación lineal entre la velocidad media espacial de un vehículo y la densidad vehicular que se presenta en ese momento. Esta relación describe que a menor velocidad espacial mayor será la densidad vehicular.
- Los cálculos presentaron que el flujo máximo de la carrera 27, es decir, cuando la velocidad media espacial a flujo libre es la mitad; y la densidad de congestiónamiento también lo es, se aproxima a los 1000 Veh/hora/carril.
- Finalmente la metodología desarrollada busca señalar los tramos de mayor conflicto a lo largo de una ruta, a pesar que se desarrolló para rutas en corredores mixtos, su aplicación se podría extender a rutas con corredores exclusivos, las graficas y análisis que se mostraron en este documento muestran concordancias entre si y dejan ver un claro panorama del estado de confiabilidad de la ruta P3; siguiendo las sugerencias también propuestas se podrían encontrar posibles métodos de soluciones a estos problemas.
- FUTURAS INVESTIGACIONES: se podrían estudiar variables de análisis, utilizando micro simulaciones de tránsito como herramienta adicional, para la evaluación de las medidas propuestas en la metodología.

10. BIBLIOGRAFÍA

CEA, Joaquín; Fernández, Enrique. Calibración de funciones flujo-costo para un modelo de asignación de transporte público con restricción de capacidad. Santiago de Chile. Universidad Católica de Chile. Departamento de ingeniería de transporte. 1998.

CHOWDHURY, Md. Shoaib, Ph.D. Dynamic vehicle dispatching at intermodal transfer station. Transportation Engineer Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc. New York.

COMINETTI, Roberto; CORREA, José. Common-Lines and passenger assignment in congested transit networks. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Departamento de ingeniería matemática y Centro de modelamiento matemático. 2001.

DING, Yuqing. CHIEN, Steven I. Improving transit service quality and headway regularity with real-time control. Washington. Department of Civil and Environmental Engineering. 2001.

EL-GENEIDY, Ahmed M. HORNING, Jessica. And KRIZEK, Kevin J. Analyzing transit service reliability using detailed data from automatic vehicular locator systems. Montreal. Mc.Gill University. 2010.

EL-GENEIDY, Ahmed M and KIMPEL, Thomas J. Understanding the Demand for Bus Transit Service: A New Approach. Annual Conference of the Association of Collegiate Schools of Planning. Portland, Oregon. 2004.

EL-GENEIDY, Ahmed M. STRATHMAN, James G. KIMPEL, Thomas J. CROUT, David T. The effects of bus stop consolidation on passenger activity and transit operations. Portland. University of Minnesota. Department of Civil Engineering and Humphrey Institute of Public Affairs. 2005.

FAN, Wei and MACHEMEHL, Randy B. Characterizing bus transit passenger waiting times. Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, USA. Montréal, Québec, Canada. 2002.

KUHNE, Reinhart D. Foundations of traffic flow theory 1: Greenshields' legacy – Highway traffic. Berlin. German aerospace Center. Transportation studies. 2008.

LI, Huan and BERTINI, Robert L. Optimal Bus Stop Spacing for Minimizing Transit Operation Cost. Department of Civil & Environmental Engineering, Portland State University, P.O.

LITMAN, Todd. Evaluating Accessibility for Transportation Planning. Victoria Transport Policy Institute. 2011.

NAKANISHI, Yuko J. Bus Performance Indicators On-Time Performance and Service Regularity. University Transportation Research Center City College of New York. 1997.

Ministerio de transporte. Instituto nacional de vías, subdirección de apoyo técnico. Manual de diseño geométrico de carreteras. Colombia. Pag 50. 2008.

PADILLA, Jhon Jairo. Localización automática de vehículos con GPS. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana.

PANGILINAN, Christopher. CHAN, Wai-Sinn. MOORE, Angela. WILSON, Nigel. Bus supervision deployment strategies and the use of real-time AVL for improved bus service reliability. Massachusetts Institute of Technology.

POLUS, A. Modelling and measurements of bus service reliability. Transportation Research 12. 1978. P 253-256.

RONGHUI, Liu. Modelling urban bus service and passenger reliability. The third international symposium on transportation passenger reliability. York. University of Leeds. 2007.

RUAN, Minyan and LIN, Jie. An Investigation of Bus Headway Regularity and Service Performance in Chicago Bus Transit System. Chicago. University of Illinois. 2006

Secretaría de desarrollo social. Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades mexicanas. Manual de estudios en ingeniería de tránsito. Ciudad de México. Tomo XII.

STRATHMAN, James G. Automated bus dispatching, operations control, and service reliability: the initial Tri-Met- experience. Portland. Portland state University. 1999.

STRATHMAN, James G. KIMPEL, Thomas J. DUEKER, Kenneth J. GERHART, Richard L and CALLAS, Steve. Evaluation of transit operations: data applications of Tri-Met's automated Bus Dispatching System. Center for Urban Studies, College of Urban and Public Affairs, Portland State University, Portland, OR 97207, USA. 2002.

STRATHMAN, James G and KIMPEL, Thomas J Headway. deviation effects on bus passenger loads: analysis of Tri-Met's archived AVL-APC data. Portland. Portland state University. 2003.

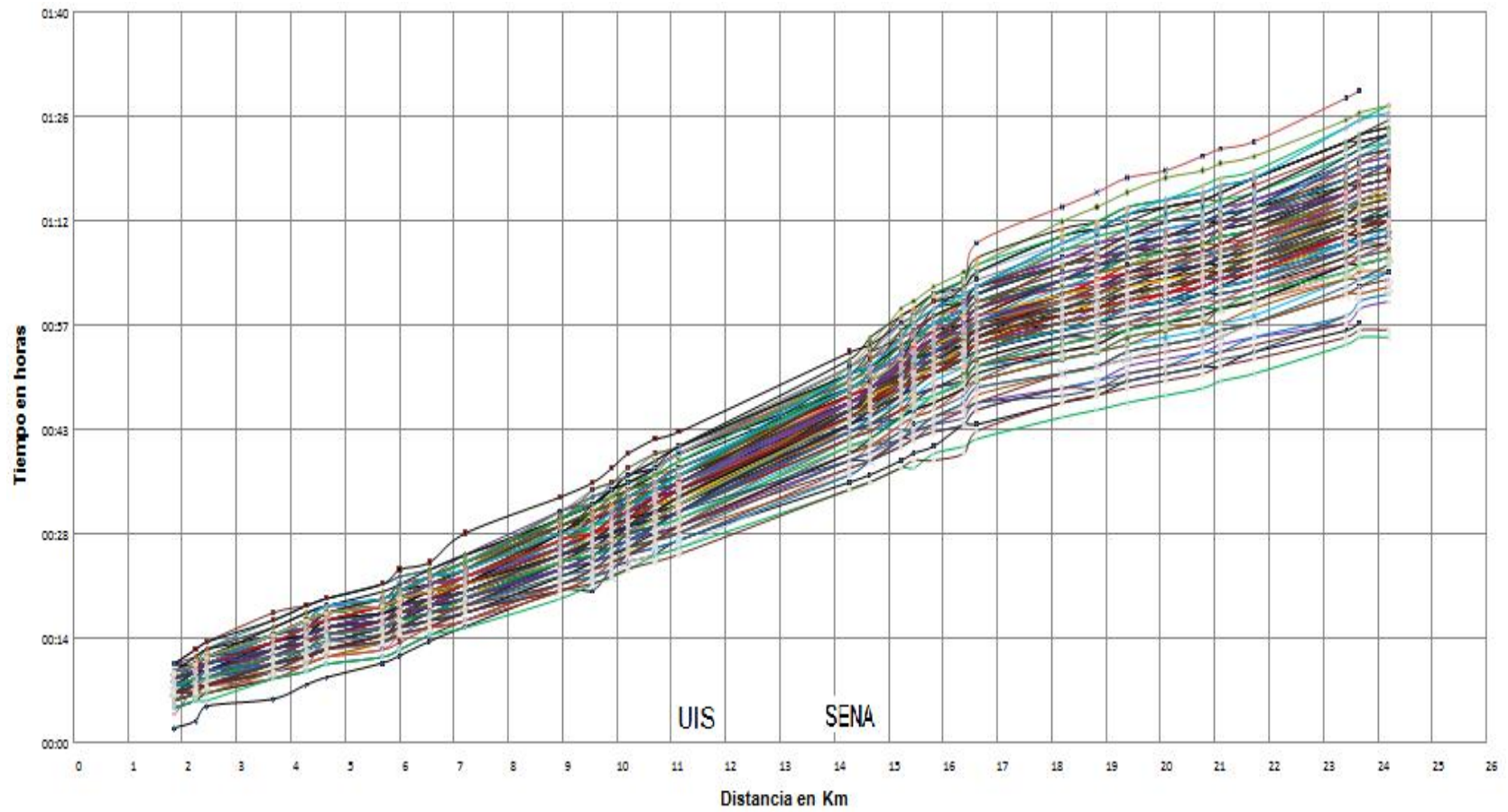
STRATHMAN, James G. Tri-Met's Experience With Automatic Passenger Counter and Automatic Vehicle Location Systems. School of Urban Studies and Planning Portland State University. 2002.

SUWARDO. NAPIAH, Madzlan B and KAMARUDDIN, Ibrahim B. On-Time Performance and Service Regularity of Stage Buses in Mixed Traffic. International Journal of Human and Social Sciences. 2009.

XUMEI, Chen. Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels part A. Beijing. Beijing Jiaotong University. School of traffic and transportation. 2009. 729 P.

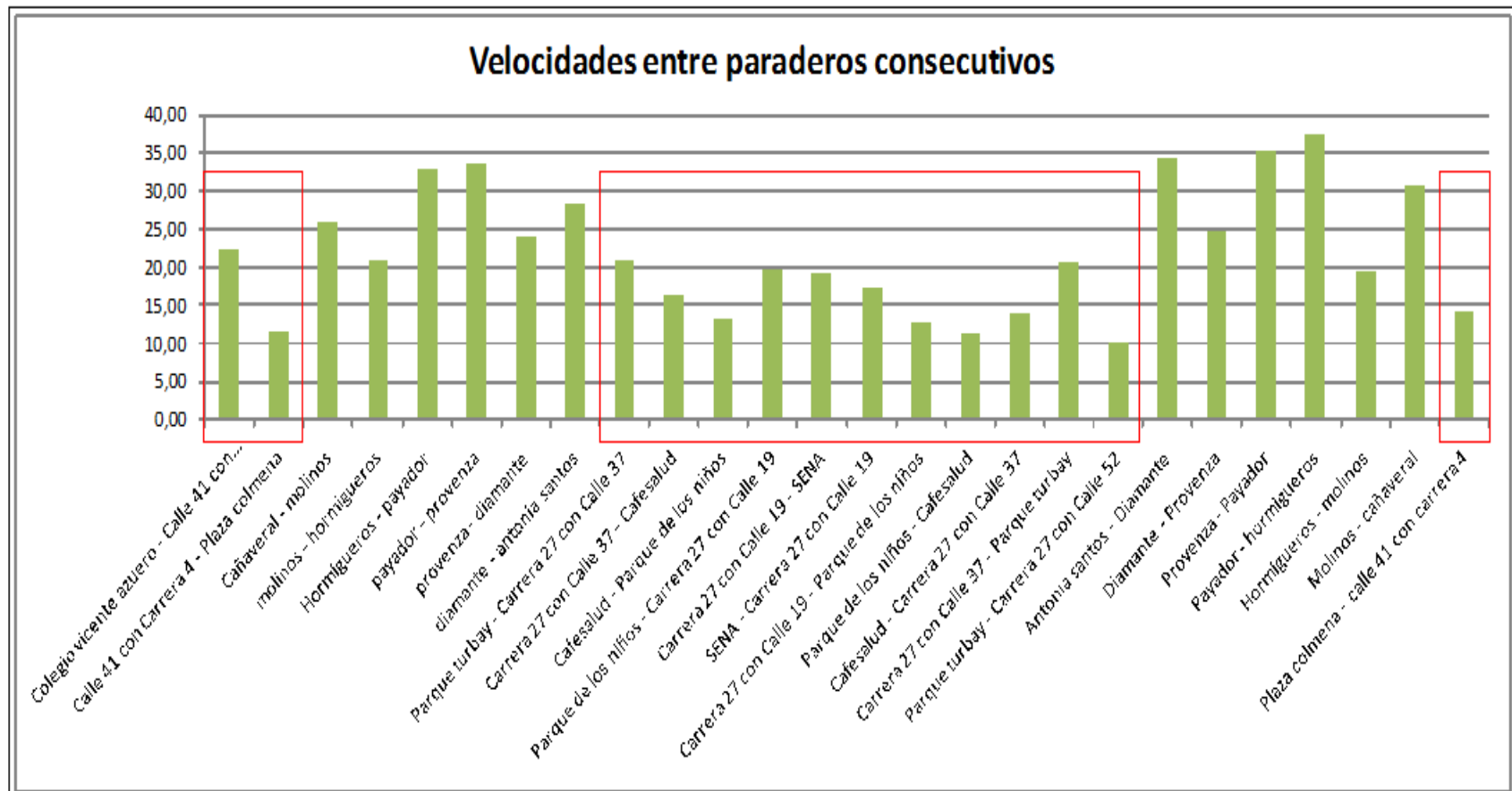
ANEXO A

RELACIÓN DISTANCIA-TIEMPO PARA TODOS LOS RECORRIDOS



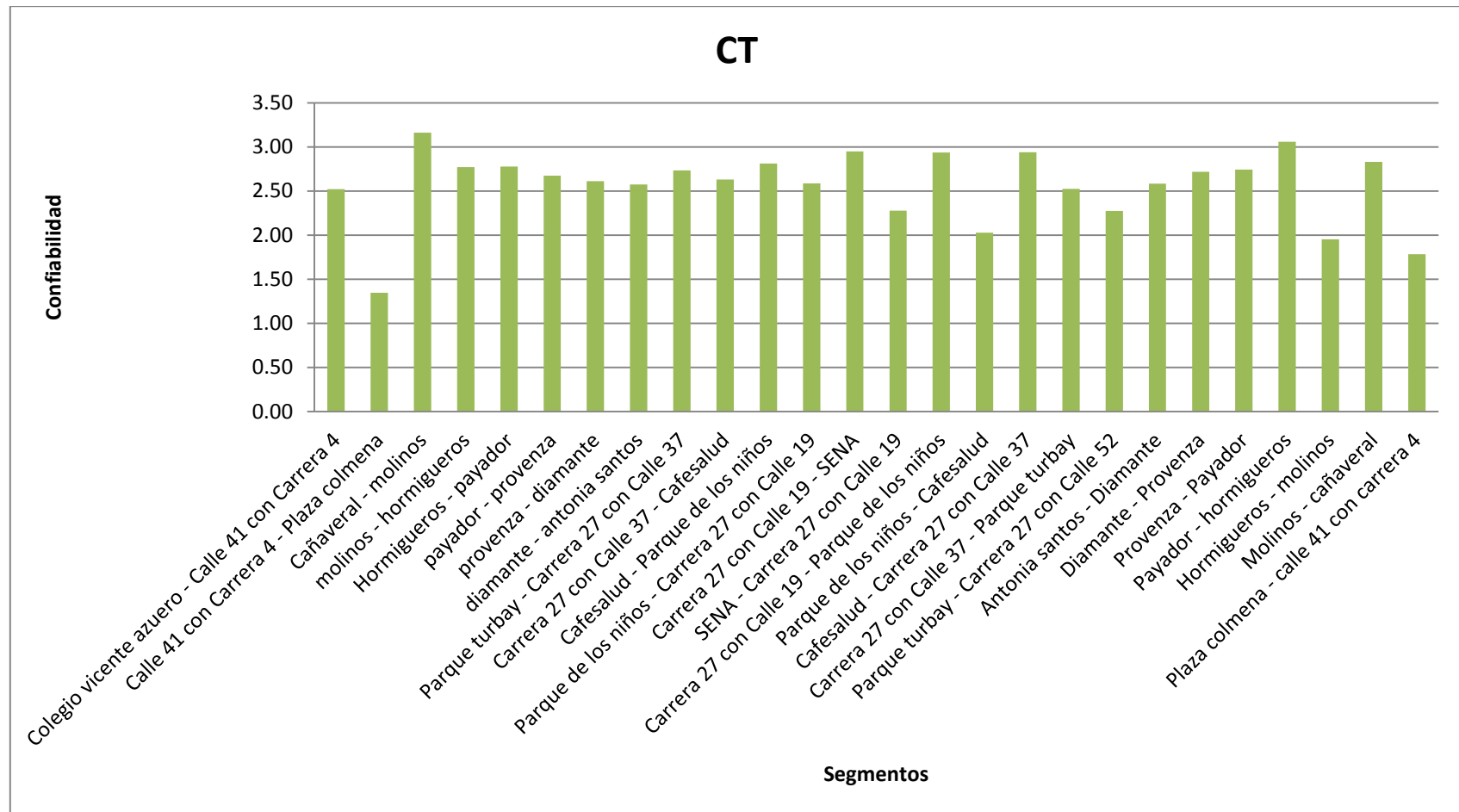
ANEXO B

VELOCIDADES ENTRE PARADEROS CONSECUTIVOS 19 DE ENERO DE 2011



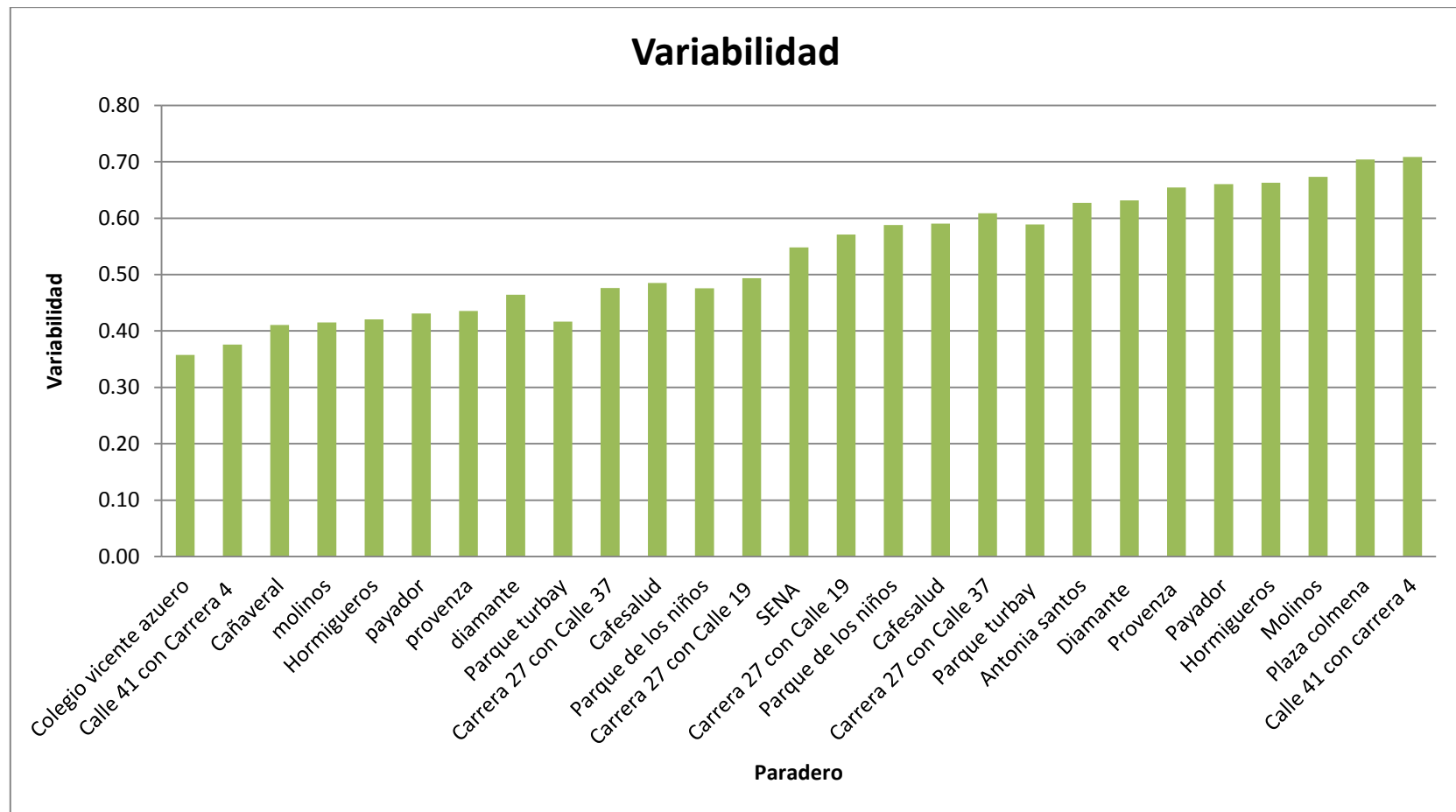
ANEXO C

CONFIABILIDAD EN LOS TIEMPOS DE VIAJE



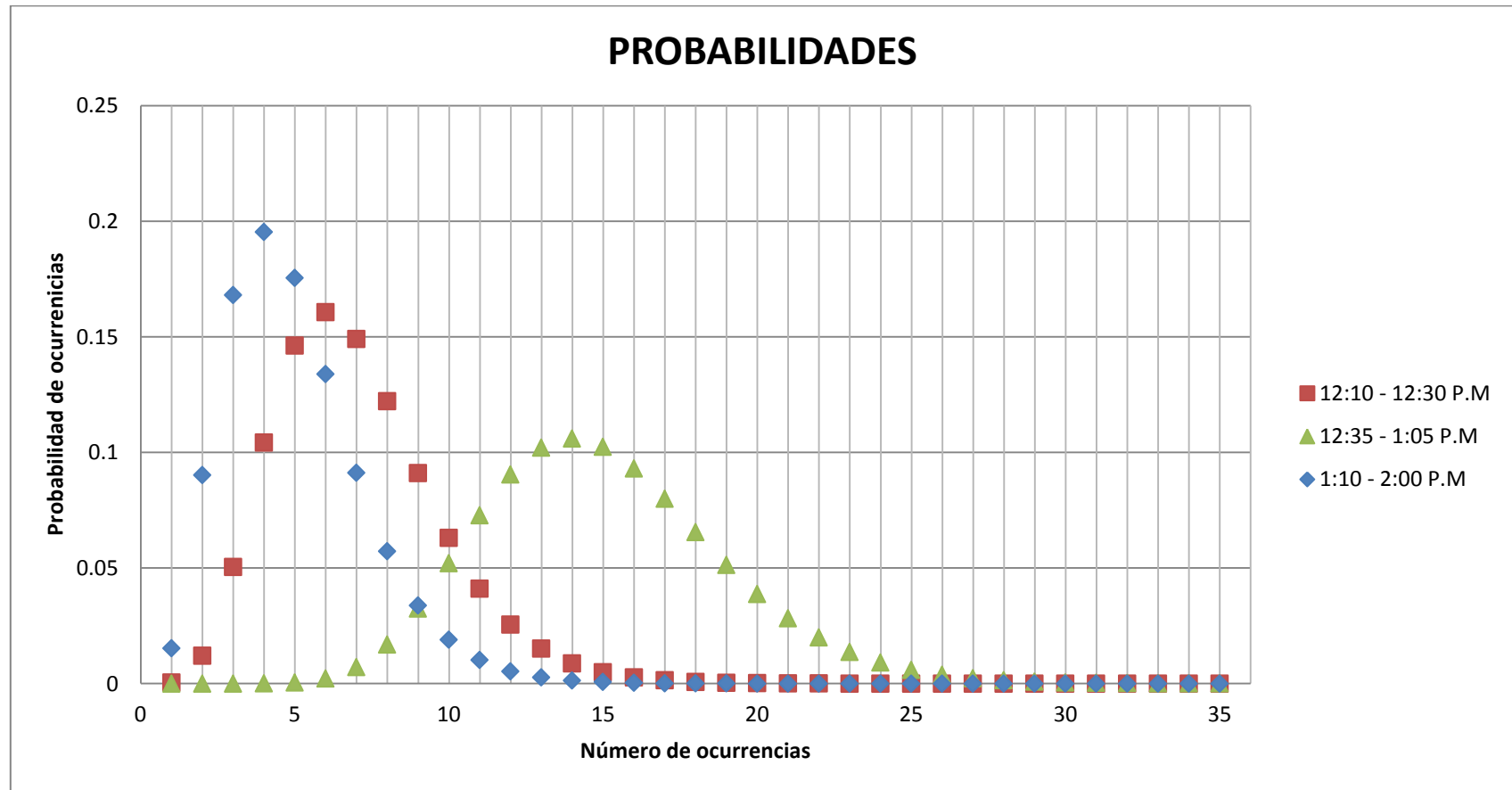
ANEXO D

CONFIABILIDAD DE LOS INTERVALOS



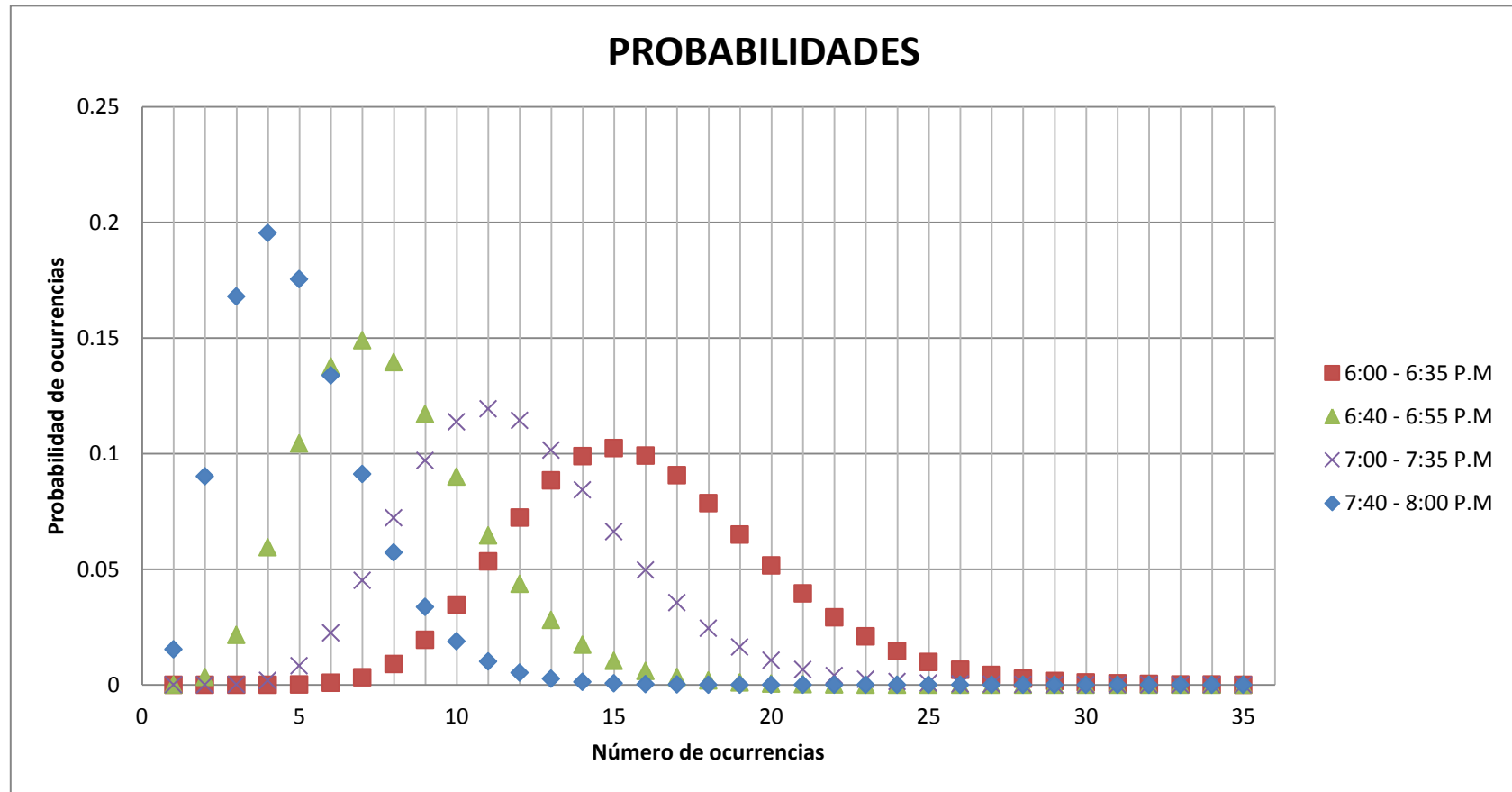
ANEXO E

PROBABILIDAD TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS EN EL PARADERO DEL PARQUE DE LOS NIÑOS, HORA
PICO DEL MEDIO DIA



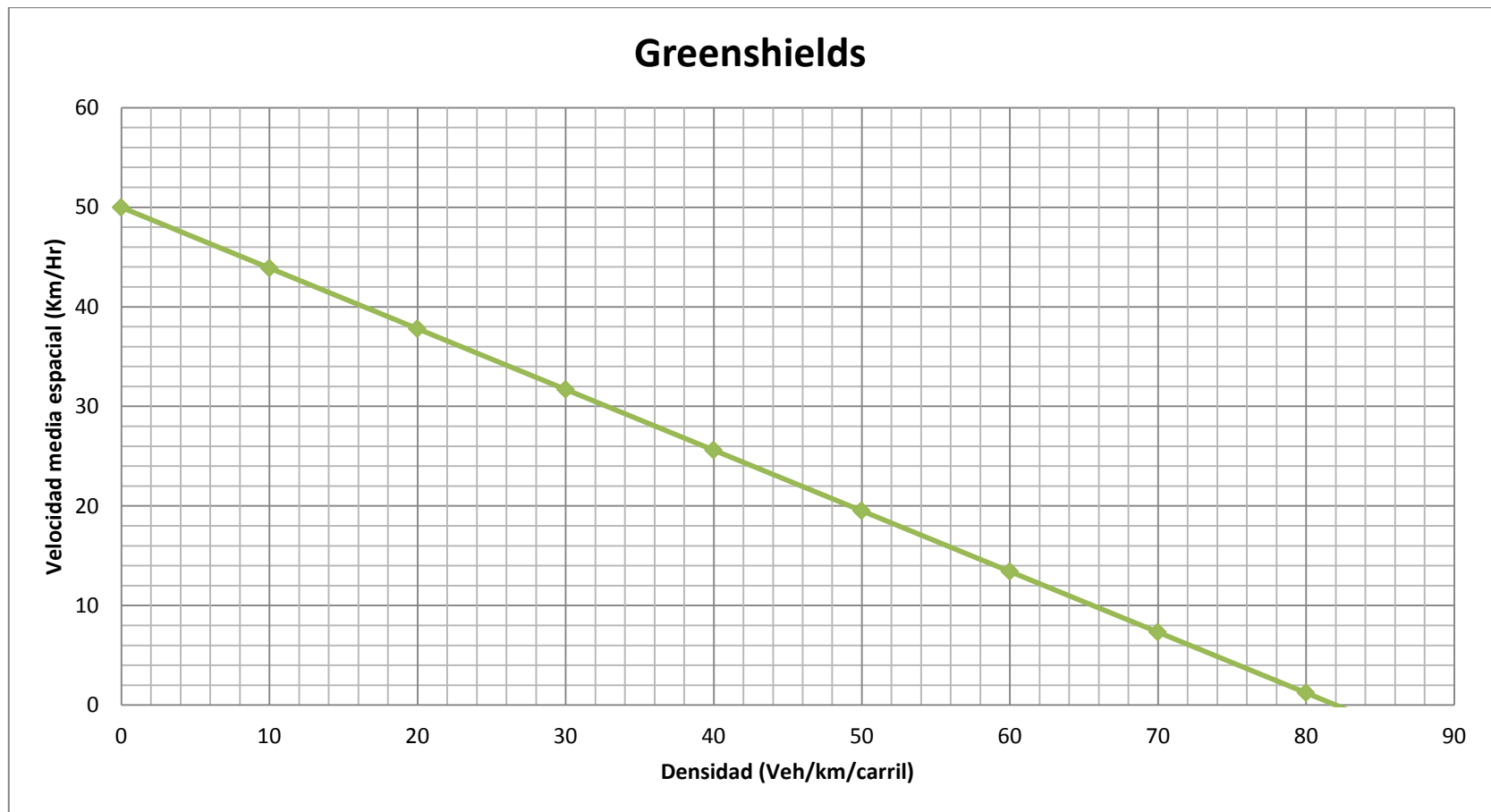
ANEXO F

PROBABILIDAD TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS EN EL PARADERO DEL PARQUE DE LOS NIÑOS, HORA
PICO DE LA NOCHE



ANEXO G

RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD Y LA DENSIDAD VEHÍCULAR PARA LA CARRERA 27



ANEXO H

TASA DE LLEGADA DE PASAJEROS Y TASA DE LLEGADA DE BUSES PARA LAS DIFERENTES PARADAS AFORADAS

Nombre del paradero: Parque de los niños					
Fecha de aforo: 15 de brero de 2011					
Fracción pico de estudio: 6:00 P.M - 8:00 P.M					
Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
05:55		10			
05:55		1			
05:56		1			
05:56		2			
05:57		1			
05:58		2			
05:58	P3		5	12	D
06:00		2			
06:02		1			
06:04		2			
06:05		2			
06:06		4			
06:06	P3	7	17	13	E
06:08	P4	19	20	12	E
06:10	P3	8	19	1	D
06:12		3			
06:13		2			
06:14		5			
06:15		7			
06:16		3			
06:18		2			
06:19		8			
06:20		2			
06:21		2			
06:22		9			
06:24	P4	4	17	31	D
06:24	P3	3	14	20	E
06:26	P3		11	7	D
06:28		1			
06:29		3			

06:30		7			
06:31		2			
06:32		4			
06:33		1			
06:34		1			
06:36		1			
06:37		4			
06:38		1			
06:38	P4		19	13	D
06:38	P3	3	7	9	E
06:42		1			
06:42	P3	2	3	9	E
06:46		1			
06:47	P3		NO PARA		D
06:48		4			
06:50		5			
06:51		1			
06:52		3			
06:54		2			
06:54	P4		14	11	E
06:55		5			
06:56	P3	1	5	12	D
06:58	P3		NO PARA		E
07:00		6			
07:01		2			
07:02		1			
07:04		4			
07:05		7			
07:06	P3	3	3	32	E
07:06	P4	3	18		D
07:07			HAY 17 EN LA PARADA		
07:08	P3	8	13	12	D
07:10		3			
07:10	P3	9	6	18	D
07:12		6			
07:14		14			
07:16		8			
07:17		5			
07:19		1			
07:20		1			
07:21		1			

07:22		4			
07:24		4			
07:24	P4		24	38	D
07:24	P3	2	18	22	D
07:27	P3	5	13	14	D
07:28		2			
07:30		3			
07:31		7			
07:32		1			
07:32	P3	1	22	6	D
07:34		2			
07:35		1			
07:36	P4		3	6	C
07:37	P3	6	6	2	C
07:38		2			
07:41		4			
07:42		1			
07:42	P3		5	0	C
07:44		2			
07:45		2			
07:46		3			
07:47		3			
07:49	P3		9	1	C
07:50	P4		0	0	B
07:51		3			

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 15 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 12:00 P.M - 2:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
12:05		2			
12:05		1			
12:05		1			
12:06		1			
12:07		1			
12:09		3			
12:10	P3		9	0	D
12:12		9			
12:16		2			

12:17		1			
12:18		2			
12:19		4			
12:20		3			
12:20		4			
12:20		3			
12:22	P3		NO ABRE		E
12:24	P4		22	6	C
12:28		3			
12:30		2			
12:30	P3		NO ABRE		D
12:32		3			
12:32		1			
12:32	P4	4	13	0	D
12:34		4			
12:35		7			
12:35		2			
12:36		2			
12:36	P3	6	21	0	D
12:38	P3	25	25	0	C
12:40		4			
12:41		3			
12:42		5			
12:43		2			
12:44		3			
12:45		12			
12:46		4			
12:46	P3		32	1	D
12:49		15			
12:50		5			
12:51		1			
12:53		3			
12:54	P3		18	6	D
12:56		4			
12:57		1			
12:59		1			
12:59		3			
01:00	P3	4	19	0	C
01:02		4			
01:03		2			
01:04		1			

01:04		2			
01:05	P3	1	10	0	C
01:05		2			
01:08		1			
01:10	P3		3	0	B
01:12		2			
01:14		1			
01:17		1			
01:17	P3		4	0	A
01:20	P3	2	2	0	A
01:22		1			
01:24		1			
01:25		1			
01:29		2			
01:29	P3		4	1	C
01:31		2			
01:31		1			
01:33	P3	2	5	0	C
01:34		1			
01:35		1			
01:36		1			
01:40		1			
01:41		1			
01:42		2			
01:42		2			
01:44		2			
01:45		5			
01:47		3			
01:48		1			
01:49		2			
01:49	P3		16	6	D

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 17 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 P.M - 8:00 P.M

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
05:57	P3	14	5	9	E
06:00		1			
06:02		9			

06:03		6			
06:04	P3	5	22	8	E
06:05		5			
06:06	P6	6	16	3	D
06:07		10			
06:08		1			
06:09	P3	5	15	4	E
06:10		2			
06:11		8			
06:12		1			
06:14		4			
06:15	P3	6	14	11	D
06:17		4			
06:18		5			
06:19		6			
06:20		3			
06:21	P3	1	15	15	D
06:21	P6	6	21	0	D
06:24		2			
06:27	P3	2	3	1	D
06:29		2			
06:30		3			
06:31	P3	4	10	0	C
06:33		4			
06:34		10			
06:35	P6	3	16	1	C
06:37		4			
06:38		1			
06:39		1			
06:40		3			
06:41		4			
06:45	P3	4		NO PARA	D
06:46	P3		8	10	C
06:48		1			
06:49	P3		3	8	D
06:50	P3	1	5	4	D
06:51		3			
06:52		2			
06:53	P6	2	4	7	C
06:55		2			
06:56		2			

06:57		1			
06:59		2			
07:01		3			
07:03		2			
07:04	P3		12	7	D
07:04	P6		6	1	D
07:05		4			
07:06	P3	3	7	1	C
07:08		4			
07:09		3			
07:10		7			
07:11		7			
07:12		5			
07:13		5			
07:14	P3	2	11	23	D
07:16		4			
07:17		1			
07:18		2			
07:19	P3		17	13	C
07:20	P6	6	19	0	C
07:22		4			
07:23	P3	10	1	13	D
07:24		2			
07:26		4			
07:27		1			
07:29	P3	5	15	10	D
07:30		2			
07:34	P6		11	1	C
07:35		1			
07:36		2			
07:37		1			
07:38		2			
07:39	P3	7	14	0	D
07:40		2			
07:41		4			
07:43		1			
07:44	P3	2	7	2	D
07:46		3			
07:47	P3	2	7	0	C

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 18 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 P.M - 8:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
06:00	P3	22	11	11	E
06:01		1			
06:03		3			
06:04	P3	5	16	4	E
06:05		2			
06:06	P6	5	11	0	C
06:07		2			
06:08		3			
06:09		3			
06:10		3			
06:11		3			
06:12	P3	7	16	3	E
06:15		3			
06:16	P3	3	6	3	E
06:17		2			
06:18		2			
06:19		7			
06:21		1			
06:22	P6		13	2	C
06:24	P3	3	2	3	C
06:25		1			
06:26		2			
06:27		7			
06:28		1			
06:29		1			
06:30	P3		NO PARA		E
06:31		1			
06:32		1			
06:34		2			
06:35	P3	1	10	9	D
06:36	P6	2	11	0	C
06:37		1			
06:38		3			
06:39		1			
06:40	P3		3	2	D
06:41		1			
06:42		1			

06:43		3			
06:44	P3	1	7	1	D
06:46		1			
06:47		3			
06:48		4			
06:49		1			
06:50		1			
06:51	P6	2	10	3	D
06:52	P3		3	0	D
06:53		4			
06:54		2			
06:55		2			
06:58		3			
06:59		2			
07:00	P3	4	7	10	E
07:02	P6		7	3	C
07:02	P3	1	4	0	C
07:03		3			
07:05		5			
07:06	P3	4	11	1	C
07:07		2			
07:08		2			
07:11		2			
07:14		2			
07:15		4			
07:16		6			
07:17		1			
07:18	P3	1	8	13	E
07:19		1			
07:20	P3		9	5	D
07:22	P6		5	0	B
07:23		1			
07:24	P3		1		C
07:25		1			
07:26		1			
07:27		3			
07:28		2			
07:29		1			
07:30		3			
07:31		2			
07:33	P6	1	13	1	C

07:38	P3		0	1	D
07:41		3			
07:43		2			
07:44	P3	2	3	5	D
07:45		2			
07:47	P3		5	2	C
07:48		4			
07:49		1			
07:52		1			
07:53		4			
07:54		2			
07:56	P3	1	7	10	D

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 18 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 12:00 P.M - 2:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
12:10	P6	0	0	0	B
12:13		2			
12:15		3			
12:16	P3	2	7	0	C
12:20		2			
12:21		1			
12:22	P6		3	0	C
12:24		3			
12:25		2			
12:26	P3		5	0	C
12:27		2			
12:28		3			
12:29		2			
12:30	P3	4	11	0	C
12:31		2			
12:33		4			
12:34		6			
12:35		6			
12:36		5			
12:27		10			
12:38	P3		21		D
12:38	P6		12	0	D

12:39		8			
12:41		2			
12:42	P3	11	16	5	D
12:43		1			
12:44		1			
12:45		1			
12:46		7			
12:47		1			
12:48	P6	4	20	0	B
12:49		2			
12:50	P3	1	3	0	C
12:51		2			
12:52	P3	1	3	0	E
12:54		1			
12:55		1			
12:56	P3	13	15	0	C
12:58		5			
01:00		6			
01:01		6			
01:02	P6	2	16	3	C
01:03		1			
01:05	P3	2	6	0	B
01:07		1			
01:09		1			
01:11		2			
01:12		1			
01:14	P3	1	6	0	C
01:18	P6	0	0	0	A
01:18	P3	0	0	0	B
01:26	P3	3	3	0	C
01:27		2			
01:29		1			
01:33		2			
01:34		1			
01:36	P3	2	8	0	C
01:40		3			
01:42	P3	2	5	0	B
01:45		2			
01:46		2			
01:47		2			
01:48		1			

01:49		1			
01:50		1			
01:51		2			
01:53		1			
01:55		3			
01:56	P3	1	16	0	D

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 23 de febrero de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 P.M - 8:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
05:59		11			
06:00		3			
06:01	P3	1	13	2	D
06:02		2			
06:03		7			
06:04		4			
06:05		5			
06:06		9			
06:07	P6	10	38	1	D
06:09	P3	5	6	0	D
06:12		7			
06:13		2			
06:14		6			
06:15		9			
06:16		2			
06:17		2			
06:17	P3	14	20	22	D
06:19	P3	8	26	4	D
06:21	P6		1	3	B
06:22		3			
06:23		3			
06:24		7			
06:25	P3	3	11	8	D
06:26		5			
06:27		2			
06:28		4			
06:29		1			
06:30		5			

06:31		4			
06:32		3			
06:33	P3	11	9	34	E
06:36		2			
06:37	P3		14	22	D
06:37	P6		21	1	D
06:40		1			
06:41	P3		1	1	C
06:43		1			
06:44		4			
06:45		4			
06:46		5			
06:49	P3	2	17	0	D
06:51		3			
06:52		5			
06:53	P6	2	8	2	D
06:54		6			
06:56		2			
06:57	P3		2	8	E
06:58		1			
06:59	P3	2	8	3	D
07:00		1			
07:03		2			
07:04		2			
07:06		3			
07:07	P6	17	27	1	C
07:09		1			
07:11	P3	7	4	5	D
07:12		7			
07:13		2			
07:15		9			
07:16		1			
07:18		5			
07:20		4			
07:21	P6	6	22	17	E
07:22	P3		3	14	D
07:22	P3	9	23	0	C
07:23	P3	11	10	1	B
07:25		1			
07:27		1			
07:28		1			

07:30		1			
07:31	P3		3	2	D
07:32		2			
07:33		2			
07:34		3			
07:36	P6		3	6	C
07:36	P3	6	10	2	C
07:40		2			
07:41		3			
07:47	P3		6	1	C
07:48		2			

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 24 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 P.M - 8:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
05:55		4			
05:56		4			
05:57		5			
05:59		3			
06:00		3			
06:01	P3	6	15	10	D
06:02		2			
06:03		4			
06:04		2			
06:05	P3	7	24	1	D
06:07	P6	4	5	0	B
06:08		12			
06:10		12			
06:11		2			
06:13		4			
06:15		5			
06:16		5			
06:17	P3		NO PARA		E
06:18		3			
06:19		2			
06:20		1			
06:21	P3		20	26	E
06:21	P6	5	31	0	C

06:23		1			
06:24		3			
06:25		2			
06:27		1			
06:28	P3	13	15	5	D
06:30		2			
06:31	P3		4	3	D
06:32		1			
06:33		1			
06:36		1			
06:37	P6	1	7	0	C
06:38		2			
06:40	P3	4	4	2	C
06:43	P3	2	1	3	D
06:45		1			
06:47	P3	2	5	1	D
06:48		2			
06:49		4			
06:50		1			
06:51		1			
06:53	P6	5	7	6	D
06:55	P3	2	3	5	C
06:57		2			
06:58		2			
06:59		1			
07:00		5			
07:01		2			
07:02		1			
07:03	P3	2	7	13	D
07:04	P6	3	14	2	C
07:07		NO PARA			C
07:08		7			
07:10		12			
07:11		7			
07:12		4			
07:13	P3	8	15	25	D
07:14		2			
07:15		10			
07:16		1			
07:17	P6	10	37	11	C
07:20	P3		11	0	D

07:22		2			
07:23	P3	5	7	0	C
07:27		2			
07:30	P3	3	5	0	C
07:31		1			
07:32		2			
07:33	P3	21	24	0	C
07:37	P6	0	0	0	A
07:38		1			
07:40		1			
07:41	P3	1	3	0	C
07:42		1			
07:43		1			
07:45		1			
07:46	P3	1	4	0	C
07:49	P3	3	3	0	B
07:50		1			

Nombre del paradero: Parque de los niños.

Fecha del aforo: 24 de febrero de 2011.

Fracción pico de estudio: 12:00-2:00 PM.

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
12:15		9			
12:17		1			
12:19		1			
12:21		6			
12:23	P3	6	7	16	E
12:25	P6	8	24	0	D
12:26		1			
12:28		1			
12:32	P3	3	5	1	C
12:33		4			
12:34		3			
12:35		2			
12:36	P3	15	9	26	C
12:36	P6		21	5	C
12:39		2			
12:40		2			
12:41	P3	5	14	0	C

12:42		5			
12:43		1			
12:44	P3	4	10	0	C
12:45		3			
12:48		9			
12:49		6			
12:50	P6	6	15	9	C
12:52		2			
12:55		2			
12:57	P3	10	20	3	C
12:59	P3	7	6	4	C
01:00		3			
01:02		1			
01:04	P6	6	9	5	B
01:06	P3	2	7	0	B
01:07		3			
01:08		1			
01:09		4			
01:10	P3	1	9	0	B
01:14		2			
01:16	P6	2	4	0	A
01:19	P3	0	0	0	A
01:21		1			
01:22	P3	1	2	0	B
01:23		2			
01:24		1			
01:25		1			
01:26		1			
01:27		3			
01:29	P3	2	10	0	B
01:32		1			
01:33		1			
01:35		2			
01:36		4			
01:37	P3	6	14	0	C
01:38		1			
01:40		1			
01:41		1			
01:44		1			
01:48		1			
01:49		1			

01:50		1			
01:52		2			
01:55	P3	2	11	0	C

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 25 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 P.M - 8:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
05:49		2			
05:50	P3	5	6	1	C
05:51		1			
05:53		1			
05:54		3			
05:56		4			
05:58		2			
05:59		2			
06:00	P3	6	10	10	D
06:02	P3	1	10	1	C
06:04		2			
06:05	P6	5	7	1	B
06:06		2			
06:07		3			
06:08	P3	11	13	4	C
06:09		1			
06:10		1			
06:11		7			
06:12		1			
06:13		3			
06:14		3			
06:17		1			
06:18	P3	9	22	8	E
06:20	P6	3	10	1	C
06:22		4			
06:23	P3	6	9	2	C
06:25		1			
06:27		1			
06:29		3			
06:31		2			
06:32	P3	4	7	6	C

06:34		11			
06:35		2			
06:36	P6	6	13	12	D
06:38	P3		6	6	C
06:40		3			
06:41		1			
06:43		1			
06:45		1			
06:46	P3	1	9	4	D
06:47		1			
06:49		1			
06:50	P3	5	9	2	D
06:51		2			
06:52		1			
06:53	P6		4	1	B
06:54		3			
06:56		1			
06:59		1			
07:00	P3		NO PARA		E
07:00	P3	1	6	1	D
07:01		4			
07:02		2			
07:03		2			
07:04	P3	2	10	1	C
07:06	P6	6	7	0	B
07:08		3			
07:09		3			
07:10		2			
07:12		3			
07:15		1			
07:16	P6	4	13	3	C
07:16	P3		3	0	D
07:18		2			
07:20	P3	3	5	0	B
07:23		5			
07:24	P3		3	2	C
07:25		2			
07:27		1			
07:28	P3	5	9	1	C
07:30		1			
07:31		3			

07:32		1			
07:33	P3	5	10	1	B
07:37	P6		1	0	C

Nombre del paradero: Parque de los niños

Fecha de aforo: 25 de brero de 2011

Fracción pico de estudio: 12:00 P.M - 2:00 P.M

Hora	Ruta	Llegan personas	Suben	No suben	Nivel del bus
12:12	P3	7	7	0	D
12:13		1			
12:14		2			
12:15		1			
12:16		4			
12:17		2			
12:18	P3	1	11	0	C
12:20		1			
12:24		1			
12:26		2			
12:28	P6	5	9	0	C
12:30		2			
12:31		1			
12:32		2			
12:33	P3	1	3	3	C
12:34		2			
12:35	P3		4	1	C
12:36	P6	1	2	0	A
12:38		3			
12:40		2			
12:41		3			
12:42	P3	7	14	1	C
12:46	P3	3	4	0	B
12:49		2			
12:50	P3	1	3	0	B
12:51		1			
12:52		1			
12:53		1			
12:55		3			
12:57		4			
12:58	P3	1	11	0	C

12:59		1			
01:00		2			
01:02	P3	2	5	0	B
01:03		2			
01:04	P6	4	4	2	B
01:06		1			
01:08		1			
01:11		2			
01:13	P3		4	2	C
01:14		1			
01:15		3			
01:16		1			
01:17		3			
01:18		2			
01:19	P3	1	13	0	C
01:22		3			
01:23		1			
01:24		1			
01:25	P3	1	6	0	B
01:27		2			
01:28		2			
01:30		2			
01:31		2			
01:33	P3	4	12	0	C
01:34		2			
01:36	P3		2	0	A
01:39		2			
01:41		1			
01:44		2			
01:45	P3	1	5	1	B
01:46		1			
01:47		2			
01:48		2			
01:51		2			
01:53		2			
01:55		1			
01:56	P3	1	12	0	D

Nombre del paradero: Calle 11 - Carrera 26

Fecha de aforo: 14 de marzo de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 - 8:00 Pm

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
05:58		13			
06:02		6			
06:03		5			
06:04		1			
06:05		2			
06:06		10			
06:07	AQ1	8	3	42	A
06:08		3			
06:09		8			
06:10		5			
06:11		4			
06:12	AQ1	1	6	57	B
06:13		12			
06:14	P3		NO ABRE		E
06:15	P6	12	51	30	D
06:16	P3	28	40	18	D
06:17	P3		NO ABRE		C
06:19	AQ1	1	0	19	A
06:20		4			
06:21		3			
06:22	P3	22	32	16	D
06:26	P6	24	31	9	C
06:29	AQ1		1	8	A
06:31	P3	7	6	9	D
06:32		2			
06:33		1			
06:34		4			
06:35		5			
06:36		7			
06:37	P3	4	12	20	D
06:37	AQ1		3	17	B
06:39		8			
06:40		1			
06:41		2			
06:42	P3	1	14	15	C
06:43	P6	9	24	0	B
06:45	P3	0	0	0	C

06:46		3			
06:47	AQ1		1	2	A
06:49		2			
06:50		6			
06:52	P3	3	9	4	C
06:54	AQ1	0	0	4	A
06:55		2			
06:56		6			
06:57		3			
06:58	P6	14	27	2	B
07:00	P3	0	0	2	A
07:01		2			
07:02		3			
07:03		3			
07:05	AQ1	3	2	11	A
07:06		3			
07:07	AQ1	1	0	15	A
07:08	P3	8	12	11	C
07:09	P3	1	11	1	B
07:13		2			
07:14	P6	1	1	3	A
07:15		1			
07:16	AQ1	0	0	4	A
07:17	P3	4	7	1	B
07:18	P3	3	3	1	A
07:21		1			
07:22	AQ1	2	2	2	A
07:23		5			
07:24		2			
07:25	P3	3	11	1	B
07:28		3			
07:29		3			
07:31	P6	5	11	1	A
07:33	P3		1	0	A
07:34	AQ1	0	0	0	A
07:35		3			
07:36		2			
07:37		2			
07:38		4			
07:39	AQ1	1	3	9	A
07:42		3			

07:43	AQ1	0	0	12	A
07:44		4			
07:47		2			
07:49	P3		10	8	B
07:49	P3		8	0	B

Nombre del paradero: Calle 11 - Carrera 26 UIS

Fecha de aforo: 15 de marzo de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 - 8:00 Pm

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
05:58		12			
06:01		14			
06:03	P3		15	11	D
06:05		4			
06:08		4			
06:09		5			
06:10		5			
06:11		5			
06:12		3			
06:13	AQ1		4	33	
06:14	P3		NO ABRE		D
06:14	P6	12	26	19	E
06:16	P3	11	30	0	D
06:17		15			
06:18		7			
06:19	AQ1	4	4	22	B
06:20		9			
06:21	P3	7	23	15	D
06:23		3			
06:24		3			
06:25		5			
06:26	P3	16	21	21	D
06:28	AQ1		6	15	A
06:28	P6	3	15	3	D
06:31		3			
06:32		5			
06:33		6			
06:35		6			
06:36	AQ1	3	4	22	A

06:37		4			
06:38		2			
06:40		2			
06:41		2			
06:42	P3	6	13	25	D
06:43	P3	4	17	12	D
06:44	P6	6	18	0	B
06:49		4			
06:50		3			
06:51		2			
06:52		2			
06:53		2			
06:54	P3	6	16	3	C
06:55	P3		1	2	B
06:57		4			
06:58		1			
07:00	P6	5	12	0	A
07:01		4			
07:02		2			
07:03		4			
07:04		2			
07:05	AQ1	2	3	11	A
07:06	P3	2	8	5	B
07:07		1			
07:08		1			
07:10		2			
07:11		5			
07:13	P6	3	17	0	B
07:15		2			
07:16		2			
07:17	P3	2	6	0	B
07:18		5			
07:19	P3	1	4	2	B
07:20	P3	2	1	3	B
07:22		1			
07:23	AQ1	3	2	5	A
07:24	P3		4	1	B
07:25		6			
07:26		1			
07:29	P6	1	7	2	A
07:32		2			

07:33	P3	1	5	0	B
07:34		2			
07:35		2			
07:37		2			
07:38		3			
07:40		2			
07:41	P3		11	0	B
07:43		2			
07:46		3			
07:48		3			
07:52	P3		8	0	A

Nombre del paradero: Sena

Fecha de aforo: 15 de marzo de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 - 8:00 Pm

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
05:55		2			
06:02		4			
06:03		1			
06:06		3			
06:07		1			
06:12		1			
06:13		1			
06:15	P3	2	12	3	D
06:18		6			
06:19	P3		8	1	D
06:20	P6		NO ABRE		C
06:21		3			
06:22		1			
06:24		3			
06:26	P3	3	10	1	D
06:28		2			
06:29	P3	1	3	1	C
06:30		3			
06:32	P6	5	6	3	D
06:34		1			
06:36		1			
06:38		2			
06:40		2			

06:41		3			
06:42		1			
06:43		4			
06:44		2			
06:45	P3	7	16	10	D
06:46	P3	3	9	4	D
06:47	P6	1	1	4	B
06:50		2			
06:51		2			
06:53		9			
06:54		11			
06:55	P3	10	32	6	D
06:56	P3		NO ABRE		C
06:58	P3	7	13	0	A
07:00		5			
07:01		10			
07:03		6			
07:04	P6	8	27	2	C
07:06		3			
07:08	P3		5	0	C
07:11		2			
07:13		8			
07:14		4			
07:15		5			
07:17	P6		NO ABRE		C
07:18	P3		19	0	C
07:20	P3	0	0	0	B
07:21		6			
07:22	P3		6	0	B
07:23		1			
07:24	P3	1	2	0	A
07:25		5			
07:27		6			
07:31	P6	5	12	4	A
07:32		10			
07:35	P3	10	24	0	C
07:36		7			
07:37		2			
07:38		1			
07:40		1			
07:43	P3	1	12	0	C

07:47		2			
07:48		3			
07:49		1			
07:53	P3	1	7	0	B

Nombre del paradero: SENA

Fecha de aforo: 16 de marzo de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 - 8:00 Pm

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
06:00		6			
06:02		4			
06:03	P3	4	9	5	C
06:04	P3	3	6	2	C
06:06		3			
06:07		3			
06:08		1			
06:09		2			
06:10		2			
06:11		1			
06:12	P3	1	15	0	D
06:15		8			
06:16	P6		NO PARA		C
06:17		2			
06:18		6			
06:19		3			
06:20	P3	3	17	5	D
06:21		3			
06:25	P3	5	10	3	D
06:27		4			
06:28		1			
06:29		4			
06:30	P3	2	8	6	D
06:32	P6	2	4	4	C
06:33		2			
06:34		2			
06:35		1			
06:36		1			
06:37	P3	2	9	3	D
06:38		3			

06:39		2			
06:40		1			
06:43	P3	5	13	1	D
06:46	P6		1	0	B
06:48	P3	2	2	0	B
06:50		2			
06:52	P3	2	4	0	C
06:53		2			
06:54		2			
06:55		12			
06:56		2			
06:58		3			
07:00		2			
07:01	P3		16	7	D
07:02	P6	2	9	0	A
07:04	P3		NO PARA		A
07:06		1			
07:08		1			
07:09		3			
07:11		3			
07:12		2			
07:14		9			
07:16	P3	4	20	3	C
07:16	P6		NO PARA		B
07:18	P3	1	4	0	C
07:20		2			
07:21	P3	1	3	0	C
07:23		4			
07:24		1			
07:26		27			
07:27		2			
07:28	P3	7	30	11	D
07:31	P3	9	11	9	B
07:31	P6		9	0	B
07:33		5			
07:34		1			
07:36		2			
07:37		1			
07:38		7			
07:39		1			
07:40		4			

07:41		1			
07:42	P3	8	30	0	D
07:45		6			
07:47		6			
07:48		4			
07:49		3			
07:50		3			
07:52	P3	1	22	1	D
07:57	P3		1	0	B

Nombre del paradero: Mercomfenalco - Bucarica

Fecha de aforo: 16 de marzo de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 - 8:00 A.m

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
06:05		6			
06:07		4			
06:13		3			
06:15		1			
06:16	P3		14	0	C
06:19		1			
06:20		1			
06:22		7			
06:23	P3	2	11	0	C
06:24		1			
06:26		2			
06:27		2			
06:28		2			
06:29	P3	5	12	0	C
06:34	P3	1	1	0	A
06:36		1			
06:37		2			
06:38		2			
06:40		4			
06:42		2			
06:43	P3	8	19	0	C
06:46		1			
06:47		1			
06:48		3			
06:49		2			

06:50		3			
06:51	P3	5	15	0	C
06:54		2			
06:56	P3	1	3	0	B
06:57		1			
06:59		2			
07:00		2			
07:01		1			
07:03		3			
07:04	P3	1	10	0	C
07:06		1			
07:07		2			
07:08		1			
07:10		4			
07:11	P3	2	10	0	C
07:13		1			
07:14		2			
07:16		1			
07:18	P3	2	6	0	B
07:21		2			
07:22		2			
07:23		1			
07:24	P3	9	14	0	C
07:28		1			
07:29		2			
07:30		4			
07:32		2			
07:33		1			
07:34	P3	7	17	0	D
07:36		2			
07:38	P3	1	3	0	B
07:40		2			
07:41		1			
07:43		2			
07:44		3			
07:45	P3	4	12	0	B
07:49		1			
07:51		3			
07:52	P3	1	5	0	B
07:58		3			
08:00	P3	2	5	0	B

Nombre del paradero: Mercomfenalco - Bucarica

Fecha de aforo: 17 de marzo de 2011

Fracción pico de estudio: 6:00 - 8:00 A.m

Hora	Ruta	Personas que llegan	Suben	No suben	Nivel
06:05		5			
06:09		4			
06:14	P3	3	12	0	B
06:17		1			
06:18		3			
06:20	P3	1	10	0	C
06:21		5			
06:23		2			
06:25		1			
06:26		5			
06:27		2			
06:29	P3	3	13	0	C
06:31		2			
06:32		1			
06:34		1			
06:35		1			
06:36	P3	7	12	0	C
06:39		3			
06:40		1			
06:41		2			
06:42		1			
06:43	P3	7	14	0	C
06:46		1			
06:48		1			
06:49		1			
06:51	P3	5	8	0	C
06:54		2			
06:55		2			
06:57	P3	3	7	0	C
07:01		2			
07:04	P3	3	5	0	B
07:07		2			
07:08		3			
07:09		2			
07:10		2			
07:11	P3	5	14	0	C
07:15		2			

07:16		3			
07:17		1			
07:19	P3	5	11	0	C
07:20		2			
07:23		3			
07:24		1			
07:25		2			
07:26	P3	5	13	0	C
07:28		2			
07:29		1			
07:30		6			
07:31		2			
07:32		1			
07:33	P3	5	16	1	C
07:35		2			
07:36		2			
07:37		1			
07:38		3			
07:39	P3	2	11	0	B
07:41		1			
07:42		3			
07:43		1			
07:44		2			
07:45	P3	3	10	0	B
07:48		4			
07:51	P3		4	0	A
07:53		1			
07:55		2			
07:58		1			
07:59	P3	2	6	0	B