

**ANÁLISIS DE LA AGLOMERACIÓN EN ESTACIONES BRT (BUS RAPID
TRANSIT)**

ROBINSON DAVID ANAYA GRANADOS

ID: 000218121

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

**ANÁLISIS DE LA AGLOMERACIÓN EN ESTACIONES BRT (BUS RAPID
TRANSIT)**

ROBINSON DAVID ANAYA GRANADOS

ID: 000218121

**Proyecto de grado para obtener el título de
INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

EMILIO GERMAN MORENO GONZALEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

Nota de proyecto

Firma del presidente jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

A mi familia y amigos, quienes fueron ficha clave para el desarrollo de este proyecto, los cuales me acompañaron y apoyaron en este desafío.

Al Profesor. Emilio Moreno por haber confiado en mí, su interés, su dedicación y dirección de este trabajo. Al Ing. Julián Arenas por su ayuda dentro de la Empresa Metrolínea.

Gracias también a mis compañeros con quienes compartí dentro y fuera del salón de clase estos cinco intensos años.

Por ultimo agradecer a mi madre y a mi padre por haberme dado la oportunidad de haber llegado hasta este punto. GRACIAS por haber confiado en mí y recuerden que esto es para ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
1.1 Descripción del problema o necesidad	9
1.2 Propuesta de solución y alcance.....	10
2 ANTECEDENTES.....	10
2.1 El concepto de Bus Rapid Transit	11
2.2 Ventajas potenciales del BRT	11
2.3 Características físicas de los sistemas BRT	11
2.3.1 Acceso al sistema	11
2.3.2 Vehículos.....	12
2.3.3 Sistemas de Validación	14
2.3.4 Sistemas de transporte inteligente (ITSs).....	15
2.3.5 Vía.....	17
2.3.6 Servicio.	18
2.3.7 Señalización y marketing.	19
2.4 Modelos de flujos peatonales.....	21
2.4.1 Modelos discretos.....	21
2.4.2 Modelos continuos	21
2.4.3 Modelos basados en agentes.....	22
2.4.4 Modelos de colas.....	22
2.4.5 Modelos híbridos.....	22
2.4.6 Modelos de fuerza social.....	23
2.5 Ancho efectivo	24
3 JUSTIFICACIÓN.....	25
4 OBJETIVOS	26
4.1 Objetivo General.....	26
4.2 Objetivos Específicos	26
5 MARCO TEÓRICO	26
5.1 Movilidad sostenible	26
5.1.1 ¿Cómo ha evolucionado la movilidad?	27
5.1.2 Medidas tecnológicas para reducir los impactos del automóvil	28

5.2	Tipos de Autobuses del Sistema Metrolínea	28
5.2.1	Bus Padrón	28
5.2.2	Bus articulado.....	29
5.2.3	Bus alimentador	30
5.3	Caracterización de la Estación del Sistema Metrolínea de Cañaveral.....	30
6	MARCO CONCEPTUAL.....	31
6.1	BRT (Bus Rapid Transit Systems)	32
6.1.1	Características de BRT.....	32
6.1.2	Infraestructura física.....	33
6.1.3	Operaciones.....	34
6.1.4	Tecnología.....	34
6.1.5	Mercado y servicio al cliente.....	34
6.2	Aglomeración	35
6.2.1	Análisis de comportamiento de las personas dentro de las estaciones BRT.....	35
7	METODOLOGÍA.....	36
7.1	Medición de tiempos individuales de acceso a rampas, taquillas, torniquetes, embarque y desembarque de pasajeros, todo esto según la densidad de personas (alta, media, baja)	36
7.1.1	Condiciones climáticas.....	36
7.1.2	Rampas.....	37
7.1.3	Taquillas.....	37
7.1.4	Torniquete	38
7.1.5	Embarque y desembarque de pasajeros	39
7.2	Caracterización de usuarios según su edad (joven, adulto, y mayores) y según su género ..	39
7.3	Obtención de modelos de comportamiento en cada caso.....	40
7.3.1	Rampas.....	41
7.3.2	Taquilla	45
7.3.3	Torniquete	47
7.3.4	Embarque y desembarque de pasajeros	49
	CONCLUSIONES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
	RECOMENDACIONES	56
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características físicas estación BRT Cañaveral.....	30
Tabla 2. Composición por vagones estación cañaveral	31
Tabla 3. Extracto de plantillas demora en rampas	37
Tabla 4. Extracto de plantilla demora en taquilla	37
Tabla 5. Extracto de plantilla demora en torniquete	38
Tabla 6 Extracto de plantilla demora en embarque/desembarque.	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ventajas potenciales de la implementación de un sistema BRT	11
Figura 2. Características físicas principales de un sistema BRT.....	20
Figura 3. Ancho efectivo.....	24
Figura 4. Autobús Padrón	29
Figura 5. Autobús Articulado	29
Figura 6. Autobús Alimentador	30
Figura 7. Infraestructura estación BRT.....	33
Figura 8. Aglomeración y hacinamiento de personas en estación BRT.....	35
Figura 9. Estudio y observación minucioso del comportamiento de las personas	36
Figura 10. Aglomeración en estación	38
Figura 13. Porcentaje Hombres-Mujeres	40
Figura 14. Porcentaje Edades.....	40
Figura 15. Análisis de caminata respecto a la densidad de las rampas.....	42
Figura 16. Análisis de caminata respecto a la temperatura.....	43
Figura 17. Análisis de caminata respecto a la temperatura.....	43
Figura 18. Análisis de caminata respecto al sexo	44
Figura 19. Análisis de caminata respecto a número de personas en cola.....	45
Figura 20. Ubicación Taquilla Norte	46
Figura 21. Ubicación de taquilla Norte.....	47
Figura 22. Obstrucción Torniquete Norte	48
Figura 23. Análisis de Tiempo vs número de personas en cola	49
Figura 24. Análisis Tiempo vs Numero de subidos/bajados.....	50
Figura 25. Análisis de Aglomeración en las puertas.....	50
Figura 26. Tiempos vs Ocupación Autobús.....	51
Figura 27. Infraestructura estación Vs Autobuses	52
Figura 28. Análisis de Ancho efectivo y Ancho de puertas.....	52
Figura 29. Tiempo acceso vs Densidad Estación.....	53
Figura 30. Permita bajar antes de subir.....	54
Figura 31. Tiempo acceso vs Densidad Bus	54

GLOSARIO

BRT: El sistema de autobús de tránsito rápido (Bus Rapid Transit en inglés, BRT), conocido en español también como sistemas de autobús expreso, sistemas de transporte rápidos en autobuses o sistemas de transporte público masivo en autobuses, es un sistema de transporte masivo basado en autobuses.

SITM: Sistema Integrado de Transporte Masivo.

PARK & RIDE: Se define como aparcamiento disuasorio a los estacionamientos para automóviles situados en la periferia de ciudades generalmente grandes, cuyo fin es alentar a los conductores a aparcar su vehículo privado y acceder al centro de las ciudades mediante el transporte público.

ITSs: Sistemas de Transporte Inteligentes.

AVL: El sistema de Rastreo Vehicular Automatizado (RVA), Localización Vehicular Automatizada, AVL (acrónimo de su denominación en inglés, *automatic vehicle location*) o Sistema de Ayuda a la Explotación, (SAE), se aplica a los sistemas de localización remota en tiempo real, basados generalmente en el uso de un GPS, GSM, Bluetooth, WiFi y un sistema de transmisión que es frecuentemente un módem inalámbrico. El sinónimo europeo es Tele-localización.

TRADE-OFF: Trade-off se refiere, generalmente, a perder un tipo de cualidad, pero ganando otro tipo de cualidad. Esto implica que una decisión es tomada teniendo bien en cuenta sus pros y contras (puntos a favor y puntos en contra).

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Análisis de la aglomeración en estaciones BRT (Bus Rapid Transit)

AUTOR(ES): Robinson David Anaya Granados

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Emilio German Moreno Gonzalez

RESUMEN

Uno de los problemas en el sistema de transporte público Metrolinea en Bucaramanga-Colombia, es la percepción de baja calidad y confort del servicio que tienen los usuarios, elevada aglomeración de personas en estaciones, lo que genera múltiples situaciones de incomodidad al subir y/o bajar del autobús, incremento del tiempo en cada proceso, baja calidad de servicio, y otros problemas por gran densidad de viajeros observada en hora pico. La misma dificultad para bajar y subir al autobús genera un elevado retraso en el flujo de personas y en la circulación adecuada de los autobuses para entrar y salir a la zona de carga en las estaciones, incidiendo este aspecto en la capacidad y seguridad. Se adoptó para la captación del parámetro tiempo planillas diseñadas especialmente en cada caso, cámara de vídeo y observación directa en campo de los tiempos de forma individual y aleatoria presentes en los distintos procesos, tales como: rampa, torniquete, taquilla de expendió del pasaje, y acceso al autobús. Asimismo, entre las variables clave estudiadas se tienen: la densidad, edad, sexo, distintas horas del día, temperatura ambiental y cualquier incidencia presentada. Los modelos de velocidad de caminado y tiempo neto por embarque y desembarque obtenidos reflejan mucha similitud a los obtenidos en otros lugares, alcanzándose una velocidad promedio de caminado alrededor de 1.3 m/s. Asimismo, se exploraron demoras en taquilla, tiempo por subidos/bajados, en torniquete y el efecto de la densidad por aglomeración en los tiempos de acceso al autobús.

PALABRAS CLAVES:

Movilidad, velocidad de caminado, aglomeración, sistema de autobús expreso

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Agglomeration analysis in BRT stations (Bus Rapid Transit)

AUTHOR(S): Robinson David Anaya Granados

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Emilio German Moreno Gonzalez

ABSTRACT

One of the problems in the transport public system Metrolinea is the perception of low quality and comfort of service powered by the agglomeration of people at their stations, which drift in multiple situations of discomfort to boarding and alighting, the time increment in each process, low quality of service, and other problems arising from the high passenger density observed in rush hour. The same difficulty to boarding and alighting generates a high delay in pedestrian flows and proper circulation of the bus in loading-area at stations, affecting the capacity and security of people. It was adopted for the parameters collection forms designed for annotation, video camera, and direct observation in field of various processes, such as random individual times in: ramp, turnstile, box office to sale of ticket, and access to the bus. Also, among the key variables studied are: density, age, sex, peak hours, environmental temperature and incidents. The speed and boarding and alighting time models are similar to those obtained in other places, reaching an average speed of walking around 1.3 m/s. Likewise, the delays found in times of box-office, boarding and alighting time, tourniquet and effect of the density by agglomeration were studied.

KEYWORDS:

Mobility, walking speed, agglomeration, bus rapid transit

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Teniendo como base lo manifestado por Herce (2009) citado por Unibazo Carrillo (2010) es de conocimiento general la importancia que ha adquirido la movilidad en el discurso urbanístico y medioambiental contemporáneo.

Debido al incremento de los usuarios en el Sistema Metrolínea es vital analizar que está pasando con los usuarios dentro de la estación, ya que se está culpando al autobús de ser el causante de las demoras o retrasos que se generan en este Sistema. Para ello en esta investigación se tomó como punto central los usuarios. Metrolínea como sistema de transporte público cumple un rol significativo en la movilidad de los ciudadanos del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Una de las situaciones incómodas que los usuarios perciben en el sistema es la denominada *aglomeración de personas*, un fenómeno que crece a la par con la necesidad de transporte y que genera gran pérdida de tiempo, lo que ocasiona quejas sobre el servicio, propicia la búsqueda de otras alternativas de transporte (el informal) y le otorga una mala imagen.

Dentro de esta investigación el objetivo principal del estudio es analizar los tiempos de viaje y velocidad del flujo de peatones que discurren bajo condiciones de aglomeración dentro y fuera de las estaciones BRT del sistema Metrolínea para la obtención de modelos específicos de comportamiento en cada parámetro.

La presente investigación se concentra en el sistema de transporte masivo Metrolínea en la ciudad de Bucaramanga específicamente en la estación de cañaveral, en la cual se analizaron los tiempos de rampas, taquilla, torniquete, embarque y desembarque pasajeros según su densidad de la estación y del autobús, de los cuales se obtuvieron modelos de análisis comparables con los diferentes sistemas BRT que existen en todo el mundo

El mecanismo empleado en la presente investigación se basó en visitas a campo, toma de videos, fotografías, panillas, etc. Los campos de aplicación que se le puede dar a esta investigación son bastante amplios debido a que todos los sistemas BRT funcionan de manera semejante. Por ejemplo, puede ser de gran uso para Metrolínea ya que se pueden tomar las mediciones y resultados obtenidos para mejorar la calidad de su servicio, atrayendo a un mayor número de usuarios y a su vez generando mayores rendimientos.

1 Definición del problema

1.1 Descripción del problema o necesidad

Una de las situaciones negativas que se encuentra en el SITM-Metrolínea es la determinada aglomeración de personas. Generando en el sistema grandes pérdidas de tiempo, las cuales se interpretan como servicio insuficiente, búsqueda de otras alternativas de transporte, mala imagen y mal servicio.

Por eso es necesario llevar a cabo un análisis exhaustivo para determinar los aspectos clave que generan retraso, además de comprender el comportamiento de las personas dentro de la estación y de ser posible a través del modelado de parámetros críticos, que están influenciado por la aglomeración y otras causas de fricción.

Los resultados deben llevar a la implementación de políticas que permitan mejorar la parte operativa del peatón dentro del sistema, quizá implique generar más cultura ciudadana y mejor comportamiento, basado en el conocimiento que se alcance sobre los usuarios y el entorno.

La percepción de la mayoría de los colombianos sobre los servicios que prestan los sistemas de transporte masivo en sus respectivas ciudades no es la mejor. Así lo revelan los más recientes datos comparativos de la Red Cómo Vamos, que da a conocer, por ejemplo, que el nivel de insatisfacción nacional en cuanto a estos modelos de transporte es del 71%, descontento que ha crecido en un 18% en relación con el año anterior (El país.com.co, 2013).

Según datos del observatorio metropolitano de Bucaramanga diariamente se movilizan 8190 personas promedio diario en transporte informal utilizando 2499 vehículos en un estudio realizado el 28 de febrero de 2014 lo cual son cifras alarmantes y reitera el descontento de la comunidad de Bucaramanga por el SITM Metrolínea (2014).

Uno de los problemas del SITM Metrolínea y que contribuye a la inconformidad del sistema, es la aglomeración de personas en las estaciones BRT y que de allí se derivan múltiples externalidades como pueden ser; incomodidad, peleas para subir al autobús, poca fiabilidad y pobre calidad de servicio, robos en estaciones cuando existe mayor densidad de personas. Asimismo, la dificultad de los usuarios para bajar del autobús genera elevado retraso que afecta la circulación de los mismos dentro del circuito del sistema.

1.2 Propuesta de solución y alcance

La propuesta es dar solución a la problemática de aglomeración de personas en SITM Metrolínea en Bucaramanga, que pase por sugerir el uso de determinados dispositivos ITS para mejorar la calidad del servicio.

Adicionalmente, permitirá a los entes encargados de gestionar y planificar el sistema tomar las medidas correctivas que implique la educación mediante campañas de cultura ciudadana, comportamientos basados en el respeto y perfecta interacción dentro del sistema.

La toma de datos y mediciones se llevó a cabo en la estación de Metrolínea de cañaveral por ser una de las que tiene mayor flujo de peatones. De acuerdo con los datos obtenidos se realizó el respectivo análisis y modelación de los datos aplicando software estadístico (MATLAB). Resultados que pueden ser de gran utilidad de aplicación en otras estaciones de sistema con operatividad similar tipo BRT.

2 Antecedentes

Se recopila información de todo lo establecido y estudiado hasta la fecha en materia de sistemas BRT y redes eficientes de transporte público colectivo.

2.1 El concepto de Bus Rapid Transit

Es un modo de transporte que generalmente se caracteriza por el desarrollo de infraestructura que da prioridad al transporte público en relación con el transporte en otros tipos de vehículos, ofrece la posibilidad de pagar la tarifa antes de tomar el autobús y permite un rápido acceso al mismo. Más de 45 ciudades de América Latina han realizado inversiones en sistemas tipo BRT, lo que representa el 63,6 por ciento del número de pasajeros en sistemas tipo BRT a nivel mundial.

(Martinez Cuart , 2009)

2.2 Ventajas potenciales del BRT

Ventajas potenciales del BRT	
Aumenta el número de usuarios	Aumenta la atracción de nuevos usuarios
	Reduce el tráfico privado
Disminuye el coste de operador	Infraestructura respecto a modos ferroviarios
	Disminuye flota necesaria con vehículos de alta capacidad
Aumenta la eficiencia operacional	Aumenta los ingresos por pasajero y hora
	Aumenta la subvención por pasajero y kilometro
Mejora la calidad ambiental	Reduce emisiones a la atmosfera
	Disminuye la emisión de ruido
	Reduce las congestiones en las vías principales de la ciudad
Desarrollo de tecnología	El desarrollo del BRT es aplicable al desarrollo de otros modos

Figura 1. Ventajas potenciales de la implementación de un sistema BRT

Fuente: (Martinez Cuart , 2009)

2.3 Características físicas de los sistemas BRT

2.3.1 Acceso al sistema

En cuanto al acceso a la línea, se distingue entre paradas, estaciones y terminales, según el nivel de desarrollo. Las paradas son simplemente puntos de la línea en los que el vehículo se detiene para permitir la entrada y salida de usuarios, con

características similares a las de las líneas de bus convencional, no ofrecen servicios ni prestaciones extras, aparte del acceso al vehículo; su uso debe restringirse únicamente a “zonas de recogida” de baja densidad con poca demanda.

El siguiente paso son las estaciones; éstas, al contrario que las paradas, deben ser cómodas, permanentes, seguras y deben proporcionar información clara y coordinada del servicio ofrecido y espacio amplio de circulación por ella, además, como no, de permitir el acceso y la bajada del vehículo. También, deben permitir un fácil acceso a peatones, discapacitados, bicicletas e incluso vehículos si se tratara de una estación de Park&Ride. Las estaciones son las que dotan de una identidad propia a la línea de BRT, y ofrecen servicios complementarios como protección frente a mal tiempo, buena iluminación, teléfono, etc.).

Por último, las terminales disponen de, como mínimo, las características de una estación, y si son intermodales, debe integrar el servicio y la información de todos los modos que confluyan en ella.

(Martínez Cuart , 2009)

2.3.2 Vehículos

En cuanto a los vehículos, su diseño y características deben estar íntimamente ligados a las necesidades de la demanda. Entre las características que harán que el diseño del vehículo sea bueno se incluyen las siguientes: debe permitir una fácil y rápida entrada y salida del vehículo, ya que así se consiguen reducir de forma importante los tiempos de demora, que es el factor más importante a la hora de

atraer usuarios; estos pueden reducirse en un 20% utilizando vehículos de piso bajo, y en un 40% si se dispone de puertas de subida y bajada diferenciadas.

Además, el vehículo debe ser cómodo durante el movimiento, tener buena apariencia estética tanto interior como exterior y, por último, debe ser respetuoso con el medio ambiente. Por otro lado, se deben tener en cuenta otros aspectos funcionales que hagan más agradable el viaje, como la iluminación (sobre todo para servicios nocturnos o días lluviosos) aire acondicionado y calefacción, ventanas amplias, etc.

La mayoría de los vehículos utilizados en sistemas de BRT son de motor diesel, tanto estándar como articulados. Sin embargo se han producido toda una serie de innovaciones en el diseño de vehículos para mejorar el servicio; entre éstas se incluye la utilización de vehículos “limpios”, esto es, diesel de bajas emisiones de sulfuros, híbridos diesel-eléctrico y de gas natural comprimido (CNG); modo dual diésel-eléctrico en operaciones a través de túneles; buses de piso bajo; vehículos con más puertas y más anchas; la utilización de vehículos bi-articulados; y por último la utilización de distintivos para distinguir los vehículos de los del bus convencional.

Ejemplos de casos con dichas innovaciones son: Los Ángeles, con vehículos pintados de rojo y blanco, de piso bajo y a CNG; Boston, con vehículos multipuertas de modo dual diesel-eléctrico y de CNG; Curitiba, con buses de doble articulación con 5 conjuntos de puertas y plataforma elevada en las estaciones; y Rouen, que es un nuevo diseño híbrido diesel-eléctrico de vehículo articulado.

En este sentido, los autobuses de piso bajo se han implantado en ciudades como Pekín (pionera en esta tecnología), Estambul, Teherán, Barquisimeto o Sao Paulo entre otras. Esta tecnología supone ventajas como un reducido tiempo de ejecución o una menor necesidad de espacio en las paradas.

Además, supone un ahorro en el coste de infraestructura al eliminar la necesidad de paradas de plataforma elevada; y al permitir una entrada y salida sin escalones, la distribución de las personas dentro del vehículo al entrar es mucho más rápida. Así la implantación de autobuses de piso bajo supone unos costes generales menores que el uso de paradas de plataforma elevada.

(Martínez Cuart , 2009)

2.3.3 Sistemas de Validación

El sistema de validación de tickets o de pago de viaje es un factor muy importante a la hora de ofrecer un buen servicio. Para que sea efectivo debe permitir un acceso rápido y eficaz al vehículo, para reducir el tiempo que se pierde en esta operación. A grandes rasgos podemos distinguir dos sistemas: validación en la estación y validación a bordo.

Los primeros son los más efectivos y recomendables, y los que permiten un acceso al vehículo más rápido. Se trata de validar o comprar el billete en la estación, antes de entrar en el vehículo, por lo que se consigue un acceso al vehículo más fluido y sin paradas ni colas que retrasen la salida del mismo, esta ventaja requiere una serie de condiciones para garantizar el funcionamiento, como pueden ser acceso cerrado y controlado, comprobante de pago (o validación) y, en

grandes terminales, sobre todo, zonas de libre circulación sin billete, como podrían ser tiendas u otros servicios.

La validación a bordo tiene como ventaja principal que el coste de paradas es mucho menor, ya que necesita menos trabas y permite paradas más sencillas. Por el contrario, se ven penalizados los costes de usuario por el aumento del tiempo de demora que supone que la cola de validación y pago del billete se realice dentro del propio vehículo, lo que retrasa la salida del bus de la parada. Dentro de este sistema podemos encontrar diferentes modos que hacen que la validación o compra sea más o menos rápida, como máquinas de validación (compras el ticket fuera, pero validas dentro) que pueden ser magnéticas (más rápido) o de introducción, o exigir para la compra el importe exacto y no dar cambio (más efectivo aún si se recuerda en la parada este hecho).

Éste sistema de validación a bordo es útil en líneas con poca demanda o baja densidad (uno o dos pasajeros por parada), pero a medida que ésta aumenta, la penalización es mucho mayor y se hace necesario un sistema de validación previa para ofrecer un buen servicio.

(Martínez Cuart , 2009)

2.3.4 Sistemas de transporte inteligente (ITSs)

Por otro lado, un empleo estudiado de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITSs) puede mejorar enormemente el funcionamiento del sistema de BRT. Se pueden distinguir los cuatro usos siguientes: Localización automática de vehículos

(AVL)¹, prioridad semafórica, contadores automáticos de pasajeros y tecnologías de guiado.

El AVL requiere un modo de determinar dónde están los buses, llevar esta información a un centro donde se procesen los datos, y la habilidad para procesar e interpretar la información. Puede utilizarse para proporcionar en tiempo real la información a los usuarios (ya sea mediante pantallas en la estación, sistema de mensajes cortos (SMS), Internet, etc.), responder de la manera más rápida y eficaz posible ante averías, mantener la regulación de los buses (los intervalos de paso) y controlar las salidas de buses en las estaciones cabecera. La utilidad de estos sistemas ha permitido reducir costes, así como aumentar el número de usuarios al mejorar el servicio ofrecido.

El sistema de prioridad semafórica, como su nombre indica, lo que hace es priorizar la circulación de los vehículos de alta ocupación (en nuestro caso los buses) frente a los vehículos de poca ocupación (vehículo privado) en las intersecciones reguladas por semáforos, permitiendo un aumento de la velocidad comercial y de la fiabilidad del sistema. Existen tres métodos básicos para conseguirlo: convertir una señal roja en verde de forma rápida y segura al aproximarse el vehículo, alargar la duración de la señal verde para el sentido de circulación del vehículo o activar una fase especial para el transporte.

Los Contadores Automáticos de Pasajeros suponen una manera eficiente de recolectar información acerca de los usuarios de la línea. Además, los datos

¹ Las siglas AVL describen Rastreo Vehicular Automatizado.

recogidos por estos pueden ser utilizados junto con los sistemas de AVL para disponer de vehículos extra a tiempo real cuando las condiciones de capacidad así lo sugieran.

Por último, la tecnología de guiado automático permite guiar el vehículo a lo largo de una vía mediante métodos ópticos, magnéticos o mecánicos de guiado, que permiten la reducción del ancho de carril necesario, un aumento de la velocidad segura de circulación y una parada más apurada en las estaciones, facilitando el acceso al vehículo, permitiendo indicar de forma precisa dónde pararan las puertas de acceso y reduciendo el espacio entre el vehículo y la plataforma de parada. Esta tecnología debe estar incorporada tanto en el vehículo como en la vía.

Sin embargo, hay que tener presente algunas consideraciones a la hora de poner esta tecnología en marcha: si el sistema es mecánico, puede ser difícil para el bus seguir el camino por un punto imprevisto; si es óptico, puede verse reducida la visibilidad de las marcas de la vía, aunque su funcionamiento es mejor del esperado frente a nieve, hojas, etc.; por lo que a los magnéticos se refiere, son los más nuevos y los que menos se han probado, así que no se dispone de datos.

(Martínez Cuart , 2009)

2.3.5 Vía

Por lo que a la vía se refiere, se pueden adoptar diferentes niveles de segregación que van desde segregación con señales pintadas como en las líneas de bus regulares a segregación mediante bordillo o con carril a diferente cota, que dotaran a la línea de peor o mejor servicio. En general, cuanto más segregado esté

el carril con respecto al vehículo privado más fiable y más velocidad alcanzará la línea, por lo que mejor será el servicio.

En este sentido, también ayudan los sistemas de AVL, un sistema de validación eficaz, vehículos que permitan rápida subida y bajada, etc. Las vías con segregación menos rígida suelen utilizarse en zonas de baja densidad y demanda, mientras que en las zonas con alta densidad de circulación y alta demanda se hace necesaria una segregación más estricta.

(Martínez Cuart , 2009)

2.3.6 Servicio.

En cuanto al servicio, éste debe ser directo, frecuente, rápido y claro. Hay que destacar que debe proporcionar frecuencias durante todo el día, pero siempre en función de la demanda a la que servirá, ya que debe adecuarse a ella tanto en frecuencia como en horas de funcionamiento.

Pero el servicio depende también de otras consideraciones: la distancia entre paradas debe ser la adecuada tanto para proporcionar una buena velocidad comercial como para no suponer tiempos de acceso del usuario demasiado altos; existe un trade-off entre el número de rutas y la frecuencia del servicio, que deben estar compensadas tendiendo habitualmente a disponer de menos rutas con una mayor frecuencia de servicio.

Por otro lado, es habitual la utilización de diferentes tipos de servicio, como local (parada en todas las paradas), exprés (paradas limitadas) y mixto (posibilidad de variar entre un servicio alimentador y otro conector), que requieren carriles en las

estaciones para dejar pasar a los vehículos que no paran en caso que haya otro parado.

Todas estas características son importantes en un sistema de BRT, pero es igual de importante que estas características sean percibidas por los ciudadanos y usuarios como ventajas respecto otros medios de transporte, puesto que el transporte en autobús, y por tanto el BRT, debe enfrentarse al handicap de la creencia que los servicios por ferrocarril (LRT o metro) son mejores, y es por ello que es necesario que resulte atractivo para la población, para ganar usuarios. Así, puede ser conveniente realizar campañas de marketing o fomentar de otros modos la utilización del BRT.

(Martinez Cuart , 2009)

2.3.7 Señalización y marketing.

Este aspecto puede parecer el menos importante de los anteriormente mencionados, pero la utilización de un logo distintivo del sistema, diferenciar el color de los vehículos de BRT de los de las líneas locales convencionales, el uso de nuevas tecnologías o vehículos con diseño innovador y atractivo ayudan a desarrollar una identidad propia al sistema. Además, una buena campaña de marketing puede convertir una inversión reacia al principio por los usuarios potenciales, bien porque les parece un atraso optar por el bus en lugar de hacerlo por los modos ferroviarios, o bien porque no ven claro que el servicio vaya a ser diferente al ya ofrecido, en una inversión atractiva que haga aumentar el uso del transporte público frente al del vehículo privado, con todas las ventajas sociales que esto comporta.(Martinez Cuart , 2009)

Características físicas básicas del BRT		
Acceso al sistema	Parada	
	Cubierta	
	Recinto cerrado	
Vehículos	Capacidad	Convencional
		Articulado
		Biarticulado
	Propulsión	Diesel de baja emisión sulfuros
		Híbridos diesel eléctrico
Gas Natural Comprimido (CNG)		
Sistema de validación	Compra	Validación
	Vehículo	Vehículo
	Estación	Veh. En un solo punto de validación
		Veh. Un punto por puerta
		Fuera
Sistema de transporte inteligente	Localización automática de vehículos	
	Prioridad semafórica	
	Contadores automáticos de pasajeros	
	Tecnologías de guiado	Mecánico
		Magnético
Óptico		
Vía	Tráfico mixto	
	Carril exterior segregado	
	Mediana segregada	
	Calzada propia	
	Carril reservado en autopista	
Servicio	Tipo de red	Corredor aislado
		Corredor principal + Alimentador
		Sistema de rutas
		Sistema de corredores + Park&Ride
	Paradas	Todas las paradas
		Algunas paradas
Señalización y Marketing	Logo característico	
	Color de vehículo diferenciado	
	Diseño de vehículos	
	Tecnologías	

Figura 2. Características físicas principales de un sistema BRT

Fuente: (Martínez Cuat, 2009)

2.4 Modelos de flujos peatonales

Los siguientes modelos a explicar dan a entender el comportamiento que los peatones toman dependiendo de las situaciones o externalidades que se les presenten.

2.4.1 Modelos discretos

Son aquellos que por lo regular son discretos tanto en el tiempo como en el espacio. Modelan al peatón como una entidad que actualiza su posición mediante una función

$$X_{t+1} = f(X_t, \beta) \quad (1)$$

Donde X_t es el vector de estado al tiempo t y β son los parámetros del modelo. La principal ventaja de estos modelos es la rapidez con la que se realizan los cálculos de actualización de posición. Sin embargo, la desventaja radica en que al tratar con una cantidad grande de peatones (miles), éstos agotan rápidamente la memoria de la computadora.

(González Arostico J. D., 2011)

2.4.2 Modelos continuos

Se caracterizan por definir la posición mediante una función continua en el tiempo. La mayoría de estos modelos se basan en fuerzas y la posición se determina mediante ecuaciones diferenciales

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), \beta) \quad (2)$$

Donde, la trayectoria $x(t)$ es calculada usando métodos de integración numérica. Comúnmente requieren tomar valores relativamente pequeños para el paso de tiempo Δt , para asegurar estabilidad.

(González Arostico J. D., 2011)

2.4.3 Modelos basados en agentes

Se trata de entidades con un comportamiento propio. Desarrollados en el contexto de inteligencia artificial. La modelación basada en agentes tiene un amplio uso en la simulación del tráfico peatonal. Proporciona una gran flexibilidad, ya que el comportamiento de cada elemento en el sistema puede ser modelado independientemente y puede capturar interacciones complejas. Por ejemplo, en el tráfico peatonal cada persona es un agente y su comportamiento puede modelarse como una secuencia de elecciones específicas, tal como elegir un destino, un itinerario, una dirección general o donde colocar el siguiente paso.

(González Arostico J. D., 2011)

2.4.4 Modelos de colas

Basados en eventos de entradas y salidas. Estos calculan el nivel de servicio en taquillas, torniquetes, puertas, subidas y bajadas de vehículos y otros lugares donde las personas esperan recibir algún tipo de servicio. Aunque estos modelos no son apropiados para capturar la dinámica peatonal comúnmente son utilizados para la simulación de evacuaciones puesto que no toman en cuenta la geometría de edificios y obstáculos.

(González Arostico J. D., 2011)

2.4.5 Modelos híbridos

González Aróstico expresa que los modelos híbridos “Combinan las ventajas de los modelos discretos y de los continuos y en su mayoría utilizan un enfoque basado en agentes. El objetivo de estos modelos es realizar simulaciones de cantidades grandes de personas en extensas áreas” (2011).

2.4.6 Modelos de fuerza social

El modelo de fuerza social, desarrollado por Helbing, describe el comportamiento de los peatones al caminar. Se apoya en la modelación de los cambios de conducta propuesta por Lewin. De acuerdo a esta idea, los cambios del comportamiento son inducidos por los llamados “campos sociales” o “fuerzas sociales”. Sobre esta hipótesis se formula el modelo matemático donde las fuerzas (sociales) externas actúan sobre el peatón de tal manera que es motivado a moverse.

El cambio de conducta estándar de los peatones es un proceso que generalmente inicia con una estimulación, que inducirá un proceso mental, lo que finalmente provocará una reacción al moverse:

Estimulación. Es la primera fase, depende de los objetivos personales que se desean alcanzar, de la situación y de la percepción del entorno que rodea al peatón.

Proceso mental. En esta fase se evalúan las alternativas y se toman las decisiones, incluyendo la secuencia en que serán ejecutadas. Estas decisiones se determinan básicamente con el fin de minimizar el tiempo, la distancia o aumentar la comodidad, incluso una combinación de ellas.

Reacción. Una vez dada la secuencia de decisiones en el proceso mental, el peatón reacciona moviéndose al ejecutar cada una de las decisiones. Así el movimiento (aceleración, desaceleración, dirección) del peatón es determinado,

entre otras cosas, por el siguiente objetivo y la interacción con otras personas u objetos (paredes, obstáculos, etc.).

(González Arostico J. D., 2011)

2.5 Ancho efectivo

Este parámetro es uno de los más importantes al momento de abordar el tema de la aglomeración en las estaciones BRT, debido a que si se encuentra un ancho efectivo igual al ancho de la puerta del autobús cuenta con un 100% efectivo al momento del embarque y desembarque de pasajeros, lo cual proporcionara una gran ventaja en el tiempo de permanencia del autobús. (Méndez Álvarez, 2011)



Figura 3. Ancho efectivo

Fuente: El autor.

En la figura 3 se muestra con color rojo el ancho de puertas y con color azul el ancho efectivo. El cual nos muestra que el ancho efectivo no es del 100%.

3 Justificación

Según los problemas que se ven a diario en el Sistema Metrolínea es muy deprimente para los usuarios ver la falta de información concreta y concisa que se tiene sobre las diferentes rutas que se manejan dentro de la estación Cañaveral. De otro modo es también preocupante notar que las personas prefieren sacar su vehículo en vez de usar el Sistema de transporte masivo Metrolínea, el cual le está brindando una ayuda al usuario y a la ciudad como tal.

La necesidad que surge de hacer esta investigación es ver como este Sistema funciona en la gran mayoría de ciudades del mundo y en la nuestra es tan detestable y aburrido desplazarnos en él.

En el ámbito de la ingeniería civil se detectan varios aspectos a mejorar que no se están teniendo en cuenta al momento de juzgar al Sistema y que también están generando demoras en el mismo. Estos aspectos son: (i) infraestructura de la estación, (ii) mala ubicación de la taquilla norte, (iii) falta de información de la frecuencia de los autobuses en tiempo real

La mala calidad del servicio que presta Metrolínea está generando en los usuarios que diariamente lo usan una mala calidad de vida, inconformidades y estados anímicos negativos. Por lo general estas malas experiencias se transmiten entre los mismos usuarios los cuales generan una ola de mala reputación para el Sistema.

Una de las grandes ventajas de abordar este tema es la importancia que para Metrolínea puede llegar a tener los ahorros de tiempo que se darían si cada uno de estos aspectos nombrados anteriormente se mejoran.

El aporte y la necesidad de realizar estos cambios o aspectos negativos dentro del Sistema Metrolínea es inmediato, ya que con estas medidas se podrá disminuir el tiempo perdido por cada uno de los usuarios, siendo así un Sistema más rentable y amigable con los usuarios.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar los tiempos de viaje y velocidad del flujo de peatones que discurren bajo condiciones de aglomeración dentro y fuera de las estaciones BRT del SITM Metrolinea para la obtención de modelos específicos del comportamiento.

4.2 Objetivos Específicos

- Observar y medir el comportamiento de caminado en rampas de acceso a la estación.
- Analizar la densidad y distribución alrededor de las puertas de embarque.
- Obtener modelos que describan el desempeño en cada caso.

5 Marco teórico

5.1 Movilidad sostenible

La movilidad genera algunos de los principales problemas en las ciudades modernas. Curiosamente, sobre estos problemas existe una gran aceptación social, así como desconocimiento, pues son asimilados como una característica intrínseca de las ciudades, especialmente de las grandes. Son algo así como el precio por vivir en la ciudad, la parte negativa de sus ventajas, y cómo tales no hay lugar para la crítica, sólo para la resignación.

Entre estos problemas generados por la movilidad no sólo incluimos la congestión o la mala comunicación, sino también los impactos ambientales y sociales que

produce el transporte, sobre todo el motorizado, y que tienen una fuerte repercusión en la calidad de vida de las personas.

(González, 2007)

5.1.1 ¿Cómo ha evolucionado la movilidad?

Los problemas de movilidad que actualmente presentan la mayoría de nuestras ciudades son consecuencia de dos procesos que se han ido retroalimentando con el tiempo. El primero es el consumo de suelo urbano para el transporte: la gran cantidad de espacio urbano que requiere el transporte se detrae del que necesitan otras actividades humanas, las cuales se ven obligadas a expandirse por el territorio. Con el aumento de las distancias entre actividades se requiere cada vez de más desplazamientos motorizados que reclaman a su vez más espacio que devorar, generándose así un círculo vicioso expansivo.

El segundo proceso es la especialización de los usos del suelo que ha conducido a la creación de espacios mono funcionales, donde sólo se desarrollan un tipo de actividad. De esta forma se hace cada vez más necesario el tener que desplazarse y menos actividades quedan cerca unas de otras.

Pero la responsabilidad de esta evolución no descansa por igual entre los diferentes medios de transporte. El gran culpable de esta situación ha sido el automóvil: mientras todas las políticas urbanas y de transporte han estado orientadas a favorecer y fomentar su uso, el resto de medios iban a la cola, adaptándose e intentando sobrevivir en el entorno creado por y para el automóvil.

Las consecuencias del uso abusivo del automóvil sobre la ciudad se comparan a los de una bomba lenta: “una bomba cuya onda expansiva tuviera la virtud de

trasladar edificios y actividades a varios kilómetros a la redonda, y cuyo principal efecto en el interior fuera el de destruir la propia esencia de las urbes: la convivencia y la comunicación entre los seres humanos”.

(González, 2007)

5.1.2 Medidas tecnológicas para reducir los impactos del automóvil

Son medidas que pretenden limitar o disminuir el impacto del automóvil sin acometer una disminución real de su uso. Por esto a menudo son las favoritas de las instituciones. Analizaremos ahora aquellas que se centran en soluciones de carácter tecnológico, y veremos después las que intentan cambiar las pautas de movilidad. Algunos ejemplos de medidas tecnológicas frecuentemente aplicadas son:

- Mejora o sustitución del pavimento o instalación de pantallas acústicas, en ambos casos para limitar el ruido generado por el tráfico.
- Mejora de los motores y de los carburantes e incorporación de dispositivos como catalizadores o filtros para limitar la contaminación atmosférica.
- Mejora de los vehículos para disminuir los daños físicos en caso de accidente.

(González, 2007)

5.2 Tipos de Autobuses del Sistema Metrolínea

5.2.1 Bus Padrón

Es un bus de un sólo cuerpo, muy grande, con capacidad para 90 pasajeros. Tiene una particularidad muy especial, y es la posibilidad que tiene de abordarlo a nivel por el lado izquierdo, igual que el articulado o por la parte derecha subiendo unos

escalones, como los buses convencionales, pero recuerden este bus es para 90 pasajeros.

(Muñoz, 2009)



Figura 4. Autobús Padrón

Fuente. <http://www.metrolinea.gov.co>

5.2.2 **Bus articulado**

Es el vehículo más grande, está compuesto de 2 vagones y en el centro tiene una especie de acordeón que le permite maniobrar mucho mejor que un bus convencional, especialmente cuando debe realizar un giro.

El bus articulado tiene capacidad para 160 pasajeros. Es un bus de plataforma alta, es decir que accedemos a él a nivel, sin subir ningún escalón.

(Muñoz, 2009)



Figura 5. Autobús Articulado

Fuente. <http://www.metrolinea.gov.co>

5.2.3 Bus alimentador

Según Muñoz este es un “bus convencional como los que actualmente circulan por el área metropolitana, pero nuevos y estructurados de manera ordenada en su interior para prestar un mejor servicio, tiene capacidad para 60 pasajeros”. (2009)



Figura 6. Autobús Alimentador

Fuente. <http://www.metrolinea.gov.co>

5.3 Caracterización de la Estación del Sistema Metrolínea de Cañaveral

Tabla 1. Características físicas estación BRT Cañaveral

Características físicas estación BRT Cañaveral		
Acceso al sistema	Parada	
	Cubierta	
	Recinto cerrado	
Vehículos	Capacidad	Articulado
		Padrón
		Alimentador
Sistema de validación	Propulsión	Diesel
	Compra	Taquillas
Vía	Estación	Fuera
	Calzada propia	
	Tráfico mixto	
Servicio	Mediana segregada	
	Corredor principal + Alimentadores	
Señalización y Marketing	Sistema de rutas	
	Logo característico	
	Color de vehículo diferenciado	

Fuente: El autor.

Tabla 2. Composición por vagones estación cañaveral

Estación Cañaveral		
Características	Vagón norte	Vagón sur
Rampas de acceso	3	2
Zona de recarga	Si	Si
Zona de torniquetes	Si	Si
Rutas	T1-T3-P8-P13	RE1-P6-P3

Fuente: El autor.

6 Marco conceptual

En este capítulo se definirán los principales conceptos, sus principales características y los componentes básicos del análisis de personas en estaciones tipo BRT.

La opción de Bus Rápido se ha presentado como una opción viable de transporte público más apropiada para la mayoría de las ciudades del mundo, y en el caso de las ciudades en América Latina se ve como una opción altamente recomendable por las siguientes razones:

- Se integra mejor a una política urbana de desarrollo sostenible
- No requieren de subsidios operacionales obligatorios, algo que todos los sistemas férreos del mundo requieren
- Los tiempos de construcción son mucho menores que los de otras opciones
- El desempeño en términos de pasajeros transportados es equivalente al de sistemas férreos
- Sus costos de construcción son menores que los otros sistemas de transporte masivo

(Morales Vidal, 2015)

6.1 BRT (Bus Rapid Transit Systems)

Según el ITDP (The Institute for Transportation and Development Policy) es un sistema de alta calidad que se basa en autobuses que ofrecen una movilidad rápida, cómoda y con una relación favorable costo-beneficio a través de carriles confinados, operación rápida y frecuente y servicio al cliente. El BRT ha logrado tomar características de sistemas de tren ligero y metro que son deseadas por el usuario de transporte masivo, la diferencia de BRT y otros sistemas urbanos es simplemente que el BRT puede proporcionar servicios de transporte masivo de calidad al costo que muchas ciudades pueden pagar.

(Morales Vidal, 2015)

6.1.1 Características de BRT

El BRT puede definirse de mejor manera a través de un análisis de las características que ofrece el sistema. Pocos sistemas han alcanzado a conformarse como sistemas completos BRT, por lo que es imprescindible reconocer las características claves del sistema. La siguiente es una lista de características de algunos sistemas BRT más exitosos:

(Morales Vidal, 2015)

BUS RAPID TRANSIT (BRT), MODELO PROBADO

Con la experiencia de ciudades alrededor del mundo, los sistemas BRT se han consolidado como un modo de transporte público masivo, veloz, flexible y de bajo costo. El BRT combina elementos de infraestructura, tecnología y soporte institucional que en conjunto mejoran la rapidez, la confiabilidad y la identidad del transporte público en autobús.



Infraestructura

● **Carriles exclusivos centrales** para garantizar una velocidad comercial superior a 20 km/h.

● **Estaciones, paraderos y terminales de plataforma elevada** para ascenso y descenso de los pasajeros.

● **Patios de resguardo y talleres de mantenimiento** para efectuar las rutinas de forma regular, profesional y con el equipamiento adecuado.

Tecnología

● **Autobuses articulados** de capacidad para 160 o 240 pasajeros en corredores con demanda superior a 4,000 pasajeros hora-sentido. Autobuses de vanguardia tecnológica y alto estándar ambiental.

● **Prepago electrónico** para hacer expedita la liquidación de la tarifa. Los pasajeros pagan en la estación, previo al acceso al autobús para mayor rapidez y seguridad.

● **Sistemas inteligentes de transporte** para el manejo de la red de transporte a través de tecnología de computación y comunicación.

Institucional

Una **entidad reguladora** encargada de programar los servicios, controlar la operación y administrar servicios conexos.

Una **empresa operadora** concesionaria, encargada de la adquisición, mantenimiento y operación profesional de los autobuses.

Un **fideicomiso** que concentre los ingresos de la venta de boletos para la remuneración de las partes involucradas según el esquema pactado.

Figura 7. Infraestructura estación BRT

Fuente. <http://www.volvobuses.mx/>

6.1.2 Infraestructura física

- Carriles segregados o carriles solo-bus, predominante en el carril central.
- Existencia de una red integrada de rutas y corredores.
- Estaciones que son cómodas, seguras y protegidas a condiciones climáticas.
- Mejorías del espacio público.

6.1.3 Operaciones

- Servicio frecuente y rápido.
- Integración de tarifa entre rutas.
- Recaudo y verificación de la tarifa antes de abordar.
- Abordaje y descenso rápido de pasajeros.

6.1.4 Tecnología

- Centro de control centralizado utilizando aplicaciones de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS).
- Prioridad semafórica o separación de nivel en intersecciones.
- Tecnologías de recaudo y verificación de tarifa automática.
- Tecnologías de vehículos de bajo ruido y bajas emisiones.

6.1.5 Mercado y servicio al cliente

- Facilidad de acceso entre el sistema y otras opciones de movilidad.
- Infraestructura especial para facilitar el acceso a grupos en desventaja física.
- Mapas de rutas, señalización y pantallas de información en tiempo real.

Estas características deben estar completas para así ofrecer un servicio como una calidad que supere la de los demás sistemas de transportes convencionales, sin embargo no en todos los casos podrá proyectarse un sistema BRT que incluya todas las características ya que la planeación y construcción del sistema dependerá directamente de las circunstancias que presente la localidad donde

desea realizarse el proyecto, sin embargo debe tomarse como prioridad la necesidad y seguridad de los usuarios al planearse un sistema BRT en cualquier ciudad.

(Morales Vidal, 2015)

6.2 Aglomeración

De acuerdo con Oxford University Press es “Una reunión o amontonamiento grande y desordenado de algo, especialmente de gente reunida en un lugar”. (2017)



Figura 8. Aglomeración y hacinamiento de personas en estación BRT

Fuente. <http://www.metrolinea.gov.co>

6.2.1 Análisis de comportamiento de las personas dentro de las estaciones BRT

Cada una de los usuarios que ingresan a las estaciones de un sistema BTR tienen un comportamiento diferente dependiendo de la hora, densidad de personas, clima, lugar de destino, etc. por lo cual es pertinente realizar un análisis por medio de una muestra estratificada de las personas considerando que ingresan al sistema según edad promedio, sexo, cultura, etc. con el fin de medir su desempeño y optimizar el espacio.



Figura 9. Estudio y observación minucioso del comportamiento de las personas

Fuente. <http://www.metrolinea.gov.co>

7 Metodología

En los siguientes ítems se explica cómo fue el proceso y desarrollo de la recopilación de datos.

7.1 Medición de tiempos individuales de acceso a rampas, taquillas, torniquetes, embarque y desembarque de pasajeros, todo esto según la densidad de personas (alta, media, baja)

Se presentan mediciones individuales para garantizar una aleatoriedad en la toma de datos, se tiene en cuenta el día, el clima, la hora, la temperatura, el sentido de las rampas y las densidades en ellas obtenidas.

7.1.1 Condiciones climáticas

Durante la toma de datos se presentó un rango de temperaturas que variaron desde los 18°C hasta los 28°C, en los cuales se presentaron días soleados y lluviosos. Respecto a los días soleados se logró percibir que los usuarios disminuían la velocidad de caminata, mientras que en los días lluviosos o fríos estos incrementaban su velocidad.

7.1.2 Rampas

La estación de cañaveral cuenta con 5 rampas de acceso las cuales tienen un total aproximado de 445.25 metros lineales y anchos entre 1.8m – 2.85m.

Tabla 3. Extracto de plantillas demora en rampas

Rampa: Estación Alimentadora - Torniquete Sur						
Velocidad (m/s)	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Edad	Sexo	Densidad	Indecencia
1,61	190,82	118,25	M	F	B	OK
1,53	190,82	124,68	J	F	B	OK
1,45	190,82	131,88	M	F	B	OK

Fuente. El autor.

En las cinco rampas se tomaron tiempos individuales origen - destino lo cual sirvió para hallar la velocidad de caminado de los diferentes usuarios del Sistema Metrolínea. Se tuvo en cuenta el clima, la hora del día, la densidad de la rampa **Baja** (1 pas/m²); **Media** (3 pas/m²); **Alta** (6 pas/m²), edad, sexo, incidencia y el sentido de trayectoria de las rampas.

7.1.3 Taquillas

Esta estación cuenta con dos puntos de taquilla, uno en la parte norte y otro en la parte sur. Siendo el punto norte el de mayor demanda de usuarios.

Para estas dos taquillas se tomó en conjunto tiempo de espera (segundos), número de personas en cola, numero de ventanillas en funcionamiento, edad, sexo e incidencia del peatón.

Tabla 4. Extracto de plantilla demora en taquilla

Taquilla norte					
Tiempo (seg)	Cola	# Taq.Func	Edad	Sexo	Incidencia
35,56	1	2	J	F	OK
23,48	1	2	M	M	OK
15,62	0	2	M	M	OK

Fuente. El autor.

7.1.4 Torniquete

El desarrollo de los torniquetes norte y sur incluye tiempos (segundos), número de personas en cola, edad, sexo, torniquete por el cual se ingresa al sistema, observación (fallo tarjeta magnética, cambio de torniquete, obstrucción persona - persona) e incidencia.

Tabla 5. Extracto de plantilla demora en torniquete

Torniquete norte						
Tiempo (seg)	Cola	Torniquete	Edad	Sexo	Observación	Incidencia
3,56	0	T2	J	F	OK	OK
5,38	2	T3	M	M	Fallo TM	OK
3,12	0	T4	J	M	OK	OK
3,06	0	T3	M	F	OK	OK

Fuente. El autor.

La toma de tiempo se realizó a partir de la llegada del usuario al torniquete y el momento en que pasara todo. La toma de datos en campo se obtuvo a través de platillas elaboradas previamente las cuales permitieron llegar a determinar las demoras en los tiempos y las incidencias que cada usuario tiene en el sistema.



Figura 10. Aglomeración en estación

Fuente. El autor.

7.1.5 Embarque y desembarque de pasajeros

Este ítem es uno de los más importantes al momento de estudiar el tema central de este proyecto de grado *la aglomeración*, el método que se usó para captar los datos necesarios para el estudio fue mediante videos los cuales fueron analizados posteriormente en un ordenador. En este se debió tener en cuenta la ocupación del autobús: **Baja** (1 pas/m²); **Media** (3 pas/m²); **Alta** (6 pas/m²), los subidos y bajados por las diferentes puertas del autobús, la ocupación en las puertas del autobús bajo los mismos niveles de densidad, los tiempos, el ancho efectivo y la incidencia.

Tabla 6 Extracto de plantilla demora en embarque/desembarque.

Embarque - Desembarque	Tiempo (seg)	Ocupación
11	23,19	0
13	18,38	1
8	10,87	0
31	17,15	1

Fuente. El autor.

7.2 Caracterización de usuarios según su edad (joven, adulto, y mayores) y según su género

La caracterización de los usuarios que usan el Sistema de transporte masivo Metrolínea en la estación Cañaveral se tuvo en cuenta respecto a su sexo (Hombre, Mujer) y según su edad (Joven: 7-24 años, Medio: 25- 49 años y Adulto: 50 años en adelante)

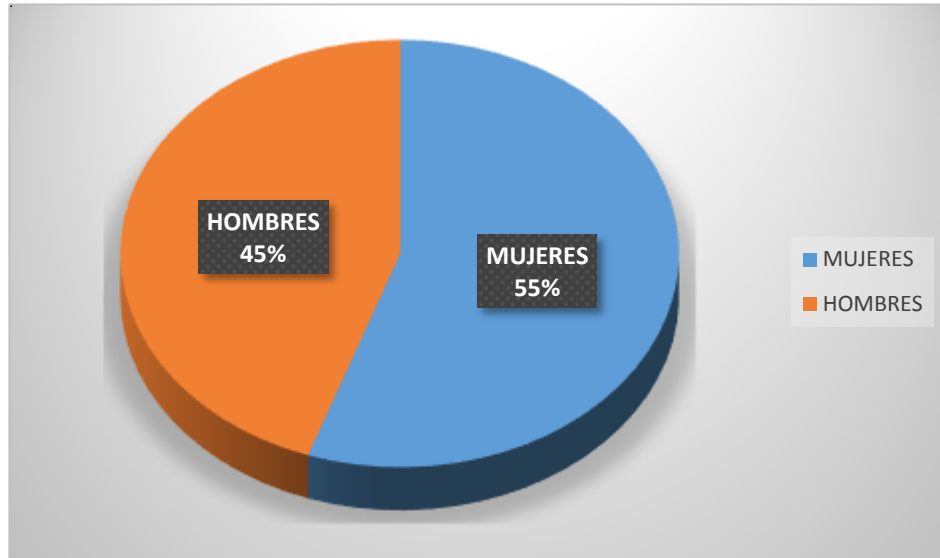


Figura 11. Porcentaje Hombres-Mujeres

Fuente. El autor.

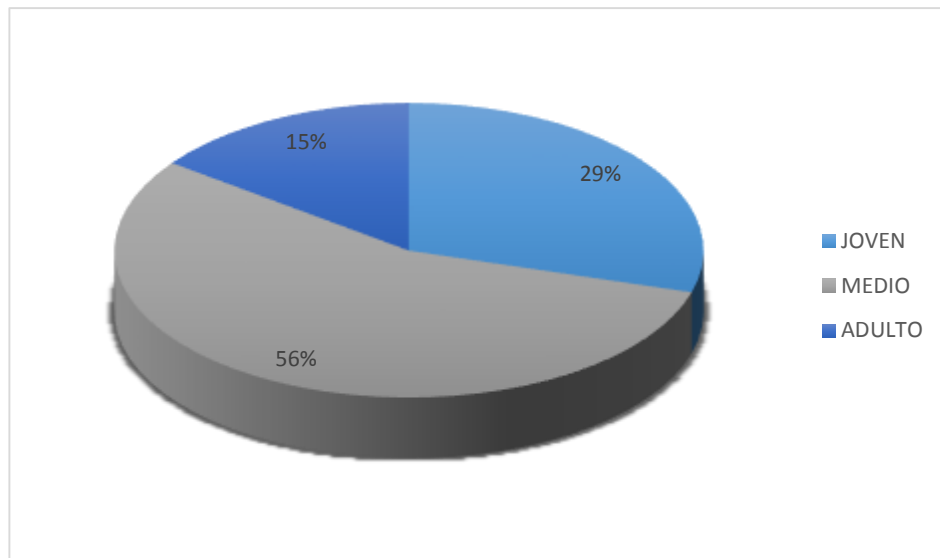


Figura 12. Porcentaje Edades

Fuente. El autor.

7.3 Obtención de modelos de comportamiento en cada caso

Este capítulo tiene como objetivo explicar de una manera clara, concisa y detallada los resultados obtenidos durante el proceso de investigación aplicado en la estación de Cañaverál.

En base a los resultados obtenidos, cada grafica muestra los diferentes ítems que se evaluaron en esta investigación.

7.3.1 Rampas

Caminar es la más antigua y básica forma de transportarse, todas las personas lo hacen a diario durante sus viajes, bien sea para acceder a los sistemas de transporte público, o desde el estacionamiento del vehículo hasta su sitio de trabajo o compras. Es acertado afirmar que todos somos peatones.

Dentro del sistema de transporte urbano, el subsistema peatonal reviste gran importancia puesto que un gran porcentaje de los viajes urbanos se realiza a pie, de hecho, Dueñas (2000) plantea que en las ciudades colombianas que tienen transporte público colectivo urbano (TPCU), cerca del 70% de los viajes motorizados se realizan mediante dicho sistema, esto ha podido constatarse en diversos estudios de movilidad, lo cual implica que, para acceder a estos sistemas, se realizan etapas del viaje a pie. (Guío Burgos, 2010)

La importancia de la planificación del sistema de transporte urbano radica en que la interacción social de las personas se da principalmente en las zonas peatonales, pues la caminata permite la condición de ciudadanía a las personas. Southworth (2005) concluye que el transporte peatonal no solamente reduce la congestión y la contaminación, sino que además tiene un valor social y recreacional. En otras palabras, cuando se propicia el desarrollo de zonas peatonales, se está pensando en calidad de vida para los habitantes de la ciudad. Desafortunadamente esta visión de la movilidad no ha prosperado en todas las urbes del medio colombiano, y se piensa más en los vehículos que en personas. (Guío Burgos, 2010)

En la siguiente grafica se presenta las velocidades obtenidas en rampa por los usuarios del sistema Metrolinea respecto a las densidades que cada una de estas presento a lo largo de la investigación **1** (1 pas/m²); **3** (3 pas/m²); **6** (6 pas/m²).

Donde los resultados arrojan que la velocidad más probable de caminado es de **1,225 ± 0,303 m/s** valor que se ajusta a los datos puestos en el Highway Capacity Manual.

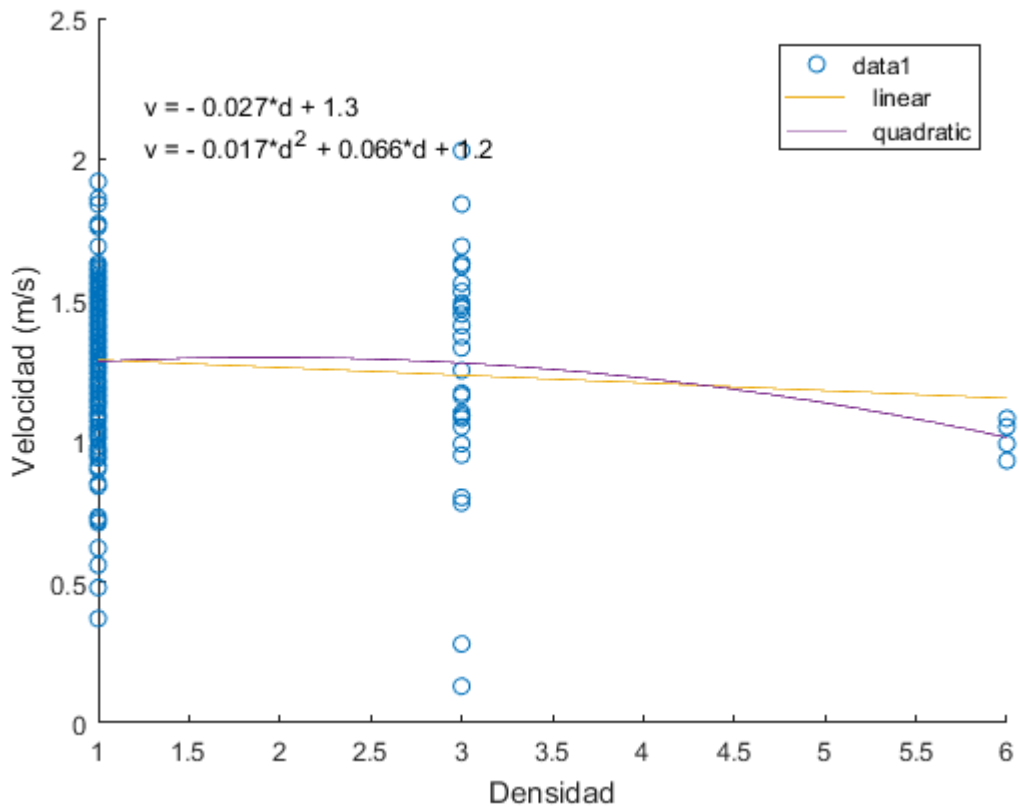


Figura 13. Análisis de caminata respecto a la densidad de las rampas

Fuente. El autor.

Por otra parte, el tema de la temperatura es fundamental para estas caminatas en rampa, debido a que, si hace un intenso sol, el peatón tratará de caminar de una manera más rápida. Según los datos mostrado en la figura 13 a una temperatura de 18° centígrados los usuarios están en un rango de velocidades entre 1,3–1,8m/s. Esta tempera de 18° C se registra en la ciudad de

Bucaramanga en las horas de la mañana (5am-6am), lo que deduce que los usuarios que caminan por las rampas a esa hora del día lo hacen de manera rutinaria ya que se dirigen con prisa a su lugar de trabajo, estudio, gimnasio, etc.

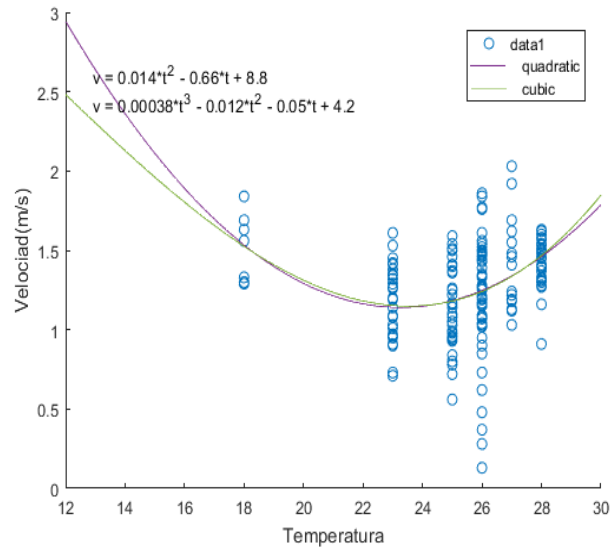


Figura 14. Análisis de caminata respecto a la temperatura

Fuente. El autor.

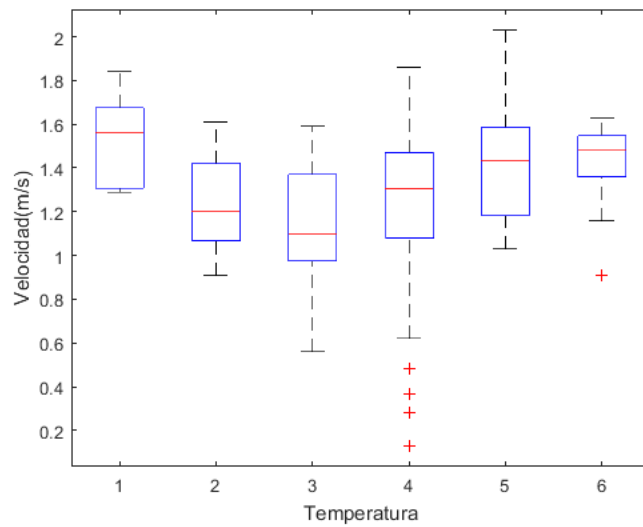


Figura 15. Análisis de caminata respecto a la temperatura

Fuente. El autor.

En la figura 15 se muestran las velocidades de los usuarios respecto a las diferentes temperaturas tomadas en el momento de la toma de datos. (1: 18°C, 2: 23°C, 3: 25°C, 4: 26°C, 5: 27°C, 6: 28°C).

De igual forma la relación de caminado entre los hombres y mujeres se muestra algo parecido ya que las medianas se encuentran en el rango de 1,3-1,4m/s. Los límites superior e inferior de cada sexo arrojan datos donde para los hombres su velocidad superior es de 2 m/s y las para mujeres de es 1,6m/s, en los límites inferiores las velocidades si son más homogéneas.

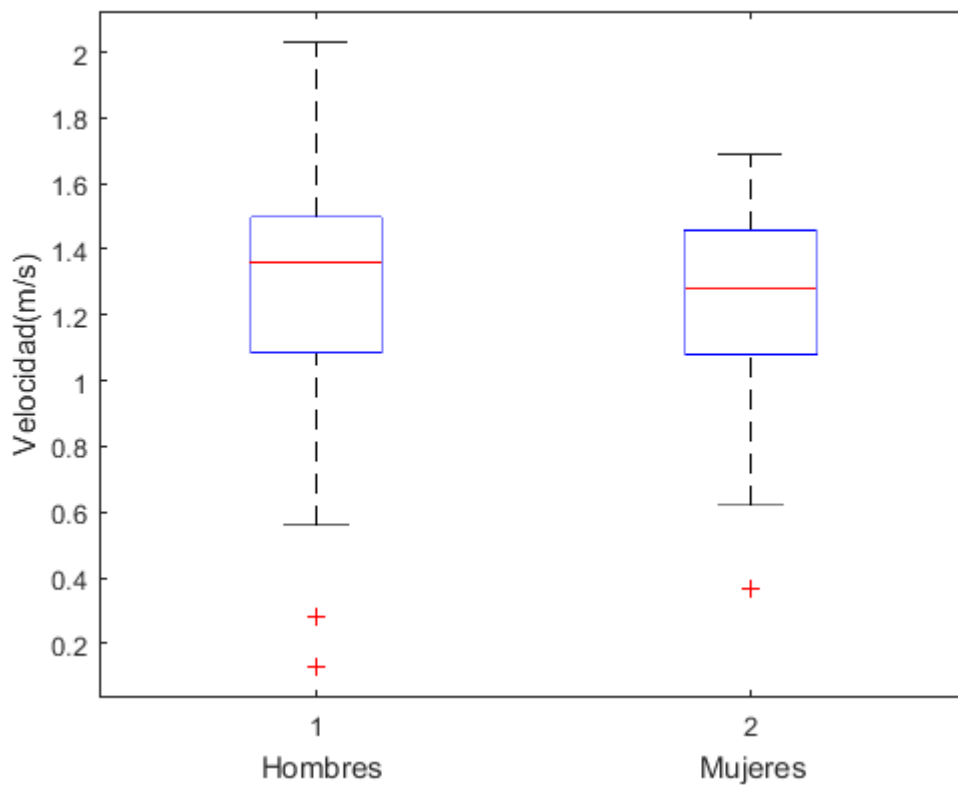


Figura 16. Análisis de caminata respecto al sexo

Fuente. El autor.

7.3.2 Taquilla

- Según los datos analizados en taquilla se encontró que un usuario al momento de recargar su tarjeta (sin cola) puede tomar un tiempo entre $0,346 \pm 0,142$ min y la tasa de crecimiento es 0,36 min /persona. Véase la figura 17.

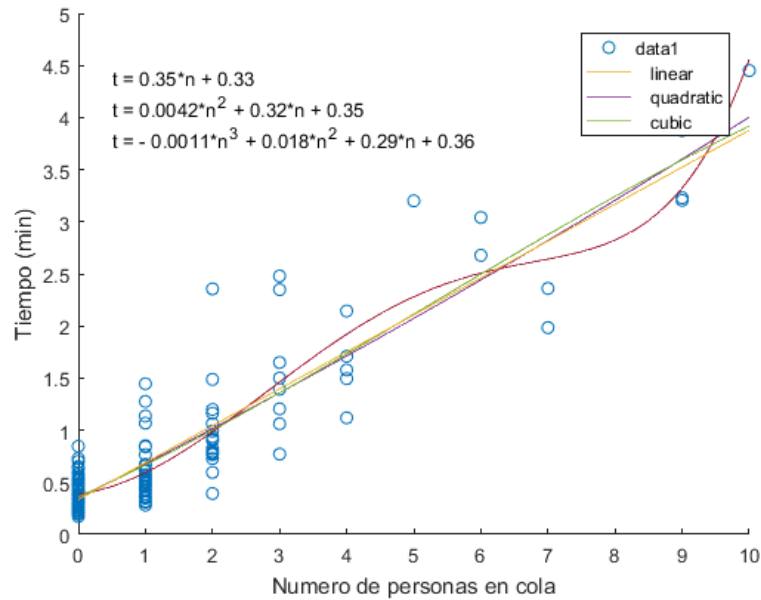


Figura 17. Análisis de caminata respecto a número de personas en cola

Fuente. El autor.

Un tema a tratar sobre la taquilla, es su posición estratégica. Si esta se encuentra en un lugar incorrecto lo que va a generar son demoras en los viajes de cada usuario, por ende, este ítem también entra a ser parte fundamental del análisis de aglomeración en estaciones BRT. Como todos sabemos en los lugares de recarga se genera congestión de personas produce un tiempo extra por el cual el viajero deseará usar otro sistema de transporte.



Figura 18. Ubicación Taquilla Norte

Fuente. El autor.

Lo ideal sería reubicar este punto de recarga de la parte Norte en la estación Cañaveral para de una u otra manera disminuir los tiempos perdidos por los usuarios en estos tramos del viaje. Modificando este punto de recarga la aglomeración generada por la taquilla, el teléfono de consultas y las personas revisando su saldo disminuiría el tiempo perdido innecesariamente por el usuario.

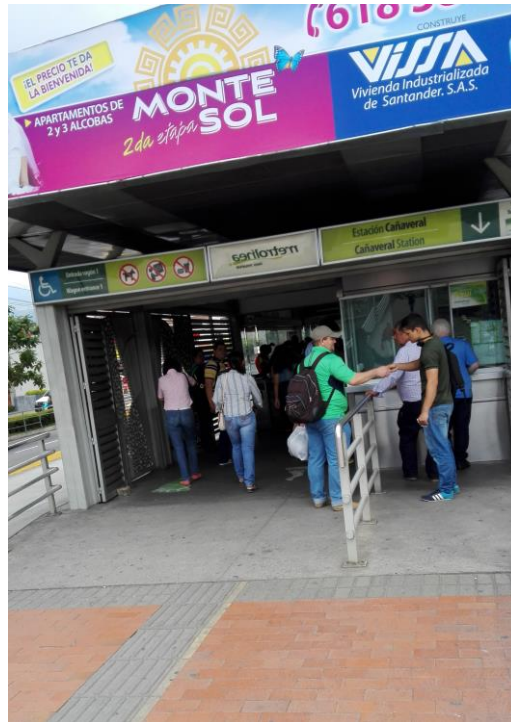


Figura 19. Ubicación de taquilla Norte

Fuente. El autor.

7.3.3 Torniquete

En este punto de la investigación los tiempos que se registraron fueron estables. Donde se presentaron colas mínimas (3-4 personas), lo cual es común ver en estos sistemas BRT, pero algo muy preocupante es la aglomeración que se está generando por la espera de pasajeros en las puertas del vagón norte (T1-T3), estos están generando una obstrucción dentro de la estación por lo que las personas se están viendo obligadas a usar solamente 2 torniquetes de los 4 que se encuentran disponibles para su ingreso.



Figura 20. Obstrucción Torniquete Norte

Fuente. El autor.

Otro de los aspectos a analizar dentro de los torniquetes es la presencia del personal de la policía nacional el cual está prestando un servicio evitando que las personas ingresen al sistema sin pagar, pero por otro lado estos mismos uniformados obstaculizan una de las entradas a la estación (como se observa en la Figura 20).

Dentro del estudio realizado se puede estimar un tiempo de ingreso a la estación el cual es de $4,6 \pm 1,04$ segundos por pasajero cuando esta se encuentre vacío, dentro de los factores que generan demora al momento de pasar por el torniquete se evaluaron los siguientes:

- (i) falla de la tarjeta magnética;
- (ii) obstrucción personas – persona;
- (iii) cambio de torniquete.

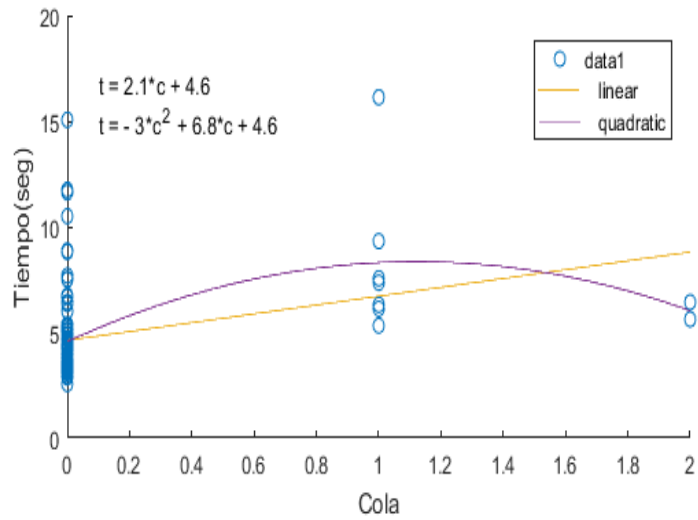


Figura 21. Análisis de Tiempo en torniquete vs número de personas en cola

Fuente. El autor.

7.3.4 Embarque y desembarque de pasajeros

Respecto al análisis realizado en el momento de subir y bajar del autobús, se encontró que múltiples factores influyen en la demora de abordar, factores tales como: ancho efectivo, ancho de las puertas, número de puertas del autobús, ocupación del bus, ocupación de la estación y localización de las personas en la estación.

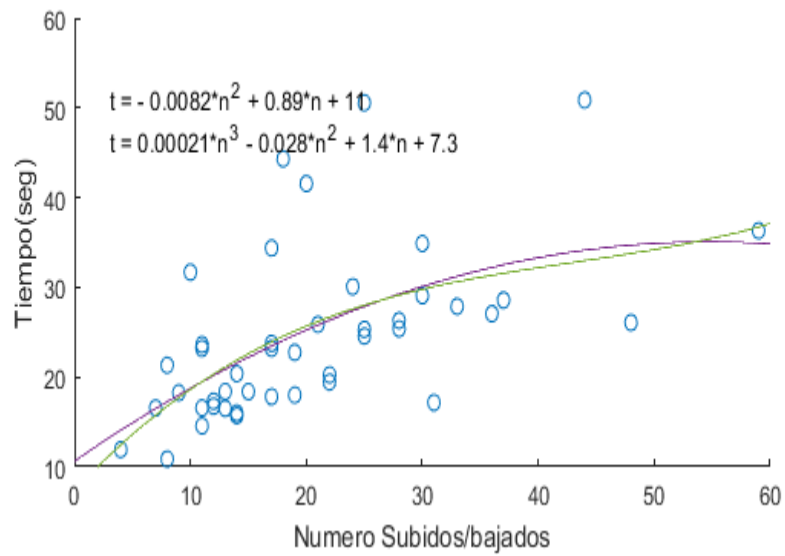


Figura 22. Análisis Tiempo vs Numero de subidos/bajados

Fuente. El autor.

De otra manera se logró evidenciar la forma en que las personas se paran frente a la puerta de embarque haciendo ante esta una especie de arco o semi luna el cual va creciendo respecto a la densidad con la que se encuentre la estación.



Figura 23. Análisis de Aglomeración en las puertas

Fuente. El autor.

Esto lo que está generando es una externalidad negativa en el tiempo de embarque - desembarque, ya que al momento de los usuarios salir del autobús se ven obstruidos con una nube de personas frente a ellos, haciendo para estas más difícil y demorada su bajada del autobús.

Y lo mismo ocurre al momento de subir al autobús, dependiendo de la ocupación los usuarios se toman desde 12 segundos hasta 55 segundos para poder subirse. La siguiente grafica muestra los diferentes tipos de densidades registrados versus los tiempos de ingreso al autobús.

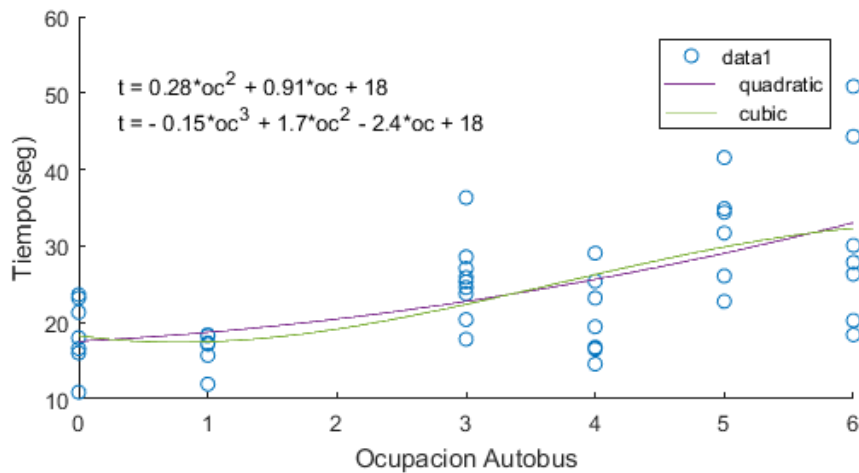


Figura 24. Tiempos vs Ocupación Autobús

Fuente. El autor.

Otro aspecto importante observado al momento de embarcar-desembarcar es el encaje de las puertas del autobús con las puertas de la estación, que en algunos casos está sujeta a la reducción del ancho efectivo, dado que no coinciden, es decir, las localizaciones de las puertas en la estación están diseñadas exclusivamente para el dimensionamiento de un autobús articulado que cuenta con cuatro puertas de acceso perfectamente coincidentes con las propias de la estación.



Figura 25. Infraestructura estación Vs Autobuses

Fuente. El autor.

El autobús que se muestra en la figura 25 permite mostrar lo citado anteriormente. Por lo cual el ancho efectivo que se ofrece a los usuarios no siempre será del 100%.



Figura 26. Análisis de Ancho efectivo y Ancho de puertas

Fuente. El autor.

Cabe recalcar que al momento de llegada del autobús las personas que ingresan a este se aglomeran más hacia la puerta generando demoras por obstrucción al libre tránsito de personas que bajan y suben. Esto transmite seguramente retrasos a las operaciones de entrada y salida de autobuses en la zona de carga, afecta el tiempo de permanencia y la capacidad del sistema.

A continuación, se demuestra como aumenta el tiempo y su variabilidad, cuando los usuarios intentan abordar bajo condiciones de densidad entorno a las puertas y estación.

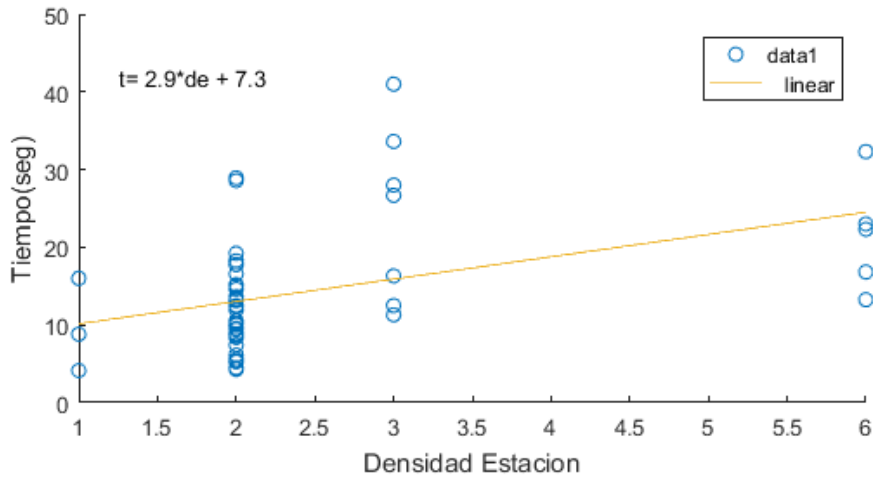


Figura 27. Tiempo acceso vs Densidad Estación

Fuente. El autor.

A esto también se le debe estimar el nivel de ocupación con la cual el autobús llega a la parada. Una estrategia seguida en el metro en el metro de Santiago de Chile es “*permítame bajar antes de subir*”, frase con la cual se está tratando de eliminar el bloqueo de personas al momento de activarse el flujo de viajeros en el proceso de embarque - desembarque. Implementar una medida parecida Sistema Metrolínea pudiese mejorar la demora de tiempo.



Figura 28. Permita bajar antes de subir

Fuente. <https://www.metrosantiago.cl/>.

Según los tiempos arrojados al momento de analizar la densidad con la que llega el autobús se puede inferir que si la estación y el autobús se encuentran con una densidad alta los tiempos de acceso al sistema serán aproximadamente entre 5 segundos y 45 segundos.

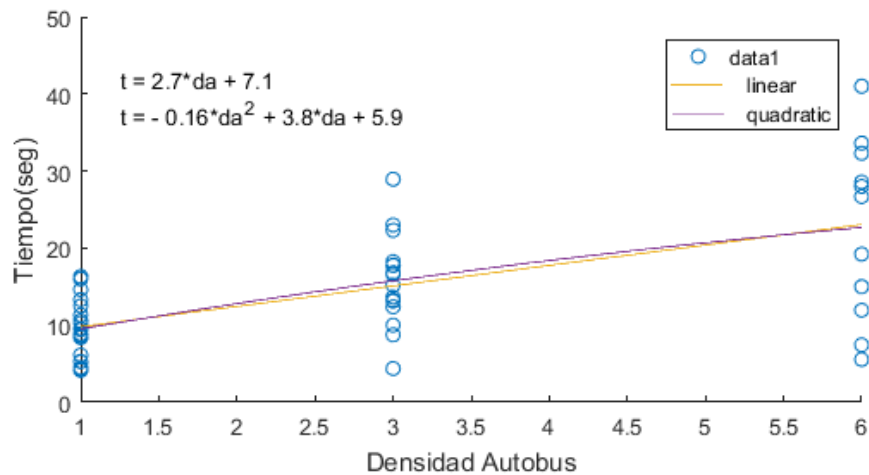


Figura 29. Tiempo acceso vs Densidad Bus

Fuente. El autor.

Conclusiones

- Se demuestra que la velocidad media de caminado de los usuarios del sistema de transporte Metrolinea es de $1,225 \pm 0,303$ m/s lo que confirma un valor ampliamente aceptado internacionalmente.
- A mayor densidad dentro o fuera del autobús más variabilidad del tiempo de acceso al mismo y a menor densidad menos variabilidad.
- Se obtienen modelos de comportamiento del peatón que pueden ser útiles a trabajos posteriores de modelado y simulación. Se observa la variabilidad de la velocidad a distintas horas del día (temperatura, edad, sexo, etc.)
- Entre otros aspectos observables se tiene que la aglomeración en el acceso a la estación potenciada por la mala ubicación de la taquilla reduce el ancho efectivo de acceso libre, uso de teléfono de sugerencias, consulta de saldo y caseta de atención al usuario impiden la libre circulación.
- Es claro que para disminuir los tiempos de embarque-desembarque se deben generar una serie cambios en:
 - la cultura ciudadana y forma de circular de los usuarios;
 - la infraestructura de estación para garantizar los anchos efectivos que requieren los flujos de pasajeros;
 - la reubicación de las rutas con los mayores flujos de usuarios.
- Tal como esta investigación lo ha demostrado no todo el problema de retrasos se deba imponer a las operaciones de autobús, también gran parte del mal funcionamiento se debe al comportamiento del usuario junto con una infraestructura o instalaciones que operan de manera inadecuada fomentando una deliberada pérdida de tiempo en cada proceso.

Recomendaciones

- Estimar seriamente el comportamiento funcional entre la infraestructura de la estación y autobuses, para mejorar la seguridad y ancho efectivo de circulación disponible para los flujos de pasajeros bajando y subiendo.
- Fomentar más cultura ciudadana para el correcto comportamiento ante la circulación dentro de la estación y del autobús, mediante ejemplos didácticos y mensajes auditivos, dentro de estas, crear conciencia sobre el caminado por la derecha que no impida la marcha de quien va más rápido y así, disminuir la densidad en rampas y sitios más confinados.
- Implementar más alternativas para la recaudación del pasaje, que posiblemente elimine obstrucciones innecesarias que se dan a la entrada de las estaciones, muy afectadas por las demoras, por colas tanto en taquilla como en torniquete.
- Brindar información en tiempo real al viajero mediante paneles informativos.
- Planificar y reestructurar las zonas de carga donde ingresa las distintas líneas de autobuses a fin de regularizar y optimizar la circulación de las personas dentro de la estación. Se observa inadecuada localización que genera carreras de las personas para pasar de un autobús a otro. Reducir esos tiempos de transferencia puede optimizar el tiempo y la seguridad de las personas, por ejemplo.
- Dada la inclemencia del clima y con él la temperatura, una medida de techado de los puentes peatonales puede potenciar el caminado y confort en el acceso al sistema.
- El excesivo uso de bolsos disminuye casi a la mitad la capacidad nominal dentro y fuera del autobús, otro aspecto cultural.

Referencias bibliográficas

Martínez Cuat , F. (2009). *Modelo de diseño de redes de servicios interurbanos BRT complementarios a la oferta de transporte público en áreas urbanas*. Cataluña: U. politécnica de Cataluña.

El país.com.co. (2013). *Estos son los problemas que padecen los sistemas de transporte masivo en colombia*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de Colprensa: <http://www.elpais.com.co/elpais/california/noticias/estos-son-problemas-padecen-sistemas-transporte-masivo-pais>

González Arostico, J. (2011). *Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos en diferentes escenarios*. México: U. Autónoma Metropolitana de México.

González Arostico, J. D. (13 de Diciembre de 2011). *Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos en diferentes escenarios*. Recuperado el 26 de Abril de 2017, de Universidad Autónoma Metropolitana: <http://mat.izt.uam.mx/mcmai/documentos/tesis/Gen.08-O/Gonzalez-JD-Tesis.pdf>

González, M. (2007). *ideas y buenas prácticas para la movilidad sostenible*. Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Madrid: Ministerio de medio ambiente: http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf_Cuaderno_3_Buenas_Practicas.pdf

Guío Burgos, F. A. (Mayo de 2010). *Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos*. Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de Revista Virtual Universidad Católica del Norte: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/77/160>

- Méndez Álvarez, S. (5 de Septiembre de 2011). *Análisis de evacuación de estación subterránea tipo usando distintas herramientas informáticas*. Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Universidad Pontificia Comillas: <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4ea0426977313.pdf>
- Morales Vidal, I. M. (2015). *Evaluación Del Sistema Metrobús De La Ciudad De México Basada En El Estándar Brt 2013*. Ciudad de México: Universidad Autónoma de México.
- Muñoz, J. A. (1 de Noviembre de 2009). *Tipos de buses*. Recuperado el 26 de Abril de 2017, de <http://jornadaspedagogicas.blogspot.com.co/2009/10/tipos-de-buses.html>
- Observatorio Metropolitano. (2014). *Aproximación a la magnitud del transporte informal en el área metropolitana de Bucaramanga*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://www.observatoriometropolitano.com.co/documentos%5CInfogramas%5CSectorMovilidad%5CTrans>
- Oxford University Press. (2017). *Español*. Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Oxford living dictionaries: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/aglomeracion>
- Unibazo Carrillo, M. (Diciembre de 2010). *Hacia una Movilidad Sostenible del Área Metropolitana de Concepción*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de Universidad Politécnica de Cataluña: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9BBBB5ABFE19BCF005257C90005B7531/\\$FILE/1_pdfsam_Hacia_Movilidad_Sostenible_del_%C3%81rea_Metropolitana_Concepci%C3%B3n.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9BBBB5ABFE19BCF005257C90005B7531/$FILE/1_pdfsam_Hacia_Movilidad_Sostenible_del_%C3%81rea_Metropolitana_Concepci%C3%B3n.pdf)

