

**ANÁLISIS DE LAS LONGITUDES Y LOS TIEMPOS DE VIAJE DE LAS RUTAS
CRÍTICAS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO DEL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, METROLÍNEA**

**LAURA PATRICIA HERNÁNDEZ MUÑOZ
ARIEL JULIÁN LEAL GALVIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

**ANÁLISIS DE LAS LONGITUDES Y LOS TIEMPOS DE VIAJE DE LAS RUTAS
CRÍTICAS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO DEL ÁREA
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, METROLÍNEA**

**LAURA PATRICIA HERNÁNDEZ MUÑOZ
ARIEL JULIÁN LEAL GALVIS**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Director:
LUIS DAVID ARÉVALO DURÁN
Especialista en Ingeniería de Tránsito**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	15
1.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. MARCO TEÓRICO	16
3. METODOLOGÍA	21
3.1 Identificación de las rutas a analizar	22
3.1.1 Discriminación por longitud de viaje	22
3.1.2 Discriminación por índice de pasajeros por kilómetro (I.P.K)	23
3.2 Diseño de los formularios para las encuestas	23
3.2.1 Identificación del tamaño de la población.	23
3.2.2 Identificación del número de encuestas por ruta	24
3.2.3 Identificación de los puntos estratégicos.	25
3.3 Itinerario de las rutas críticas definidas	26
3.4 Investigación de las longitudes y los tiempos de viaje de los usuarios.	32
3.5 Análisis comparativo de las longitudes y tiempos de viaje de los usuarios de las rutas críticas	32
3.5.1 Análisis comparativo entre las longitudes recorridas por los usuarios y las que debió recorrer la flota de buses para suplir la demanda.	32
3.5.2 Análisis comparativo entre los tiempos percibidos por los usuarios y los tiempos reales	35
3.6 Tarifas de ingreso de usuarios y costos operacionales	39
3.7 Comparación de los costos operativos frente a los ingresos que se obtienen en un día típico.	40

3.8 Análisis de la inferencia en el costo operacional debido a las longitudes de viaje en las rutas alimentadoras frente al debido en las longitudes de viaje de las demás rutas en un mismo itinerario.....	43
4. CONCLUSIONES	49
5. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño de la población de cada ruta.....	24
Tabla 2. Tamaño de la población de cada ruta.....	25
Tabla 3. Distribución de las encuestas	26
Tabla 4. Identificación de la ruta alimentadora AB1.....	27
Tabla 5. Identificación de la ruta alimentadora APD1	28
Tabla 6. Identificación de la ruta alimentadora APD2	29
Tabla 7. Identificación de la ruta alimentadora APD4	30
Tabla 8. Identificación de la ruta alimentadora APD6	31
Tabla 9. Velocidades comerciales según estudios previos.....	36
Tabla 10. Tarifa de ingreso al SITM para el año 2018.....	39
Tabla 11. Costos operacionales	39
Tabla 12. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta AB1 en un día típico	41
Tabla 13. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD1 en un día típico.....	42
Tabla 14. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD2 en un día típico.....	42
Tabla 15. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD4 en un día típico.....	42
Tabla 16. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD6 en un día típico.....	43
Tabla 17. Relación Ganancia / Recaudo para cada ruta	43

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta AB1.....	33
Imagen 2. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD1	34
Imagen 3. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD2	34
Imagen 4. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD4	35
Imagen 5. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD6	35
Imagen 6. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta AB1	37
Imagen 7. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD1.....	37
Imagen 8. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD2.....	38
Imagen 9. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD4.....	38
Imagen 10. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD6.....	39
Imagen 11. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta AB1	44
Imagen 12. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta AB1	44
Imagen 13. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD1.....	45
Imagen 14. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD1.....	45

Imagen 15. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD2.....	46
Imagen 16. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD2.....	46
Imagen 17. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD4.....	47
Imagen 18. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD4.....	47
Imagen 19. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD6.....	48
Imagen 20. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD6.....	48

LISTA DE ANEXOS

(Ver Anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)

Anexo A. Cálculo del tamaño de la población de cada ruta analizada.

Anexo B. Cálculo del tamaño de la muestra de cada analizada.

Anexo C. Diseño de formulario para encuesta.

Anexo D. Formatos de encuesta con información levantada digitalizada.

Anexo E. Cálculos de relación de longitud de viaje de usuario respecto a longitud de ciclo de ruta.

Anexo F. Hoja 1: Cálculo de costo generado por usuario debido a la longitud recorrida en cada una de las tipologías de ruta abordadas. Hoja 2: Cálculo de velocidades percibidas por usuario.

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE LAS LONGITUDES Y LOS TIEMPOS DE VIAJE DE LAS RUTAS CRÍTICAS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, METROLÍNEA *

AUTORES: LAURA PATRICIA HERNÁNDEZ MUÑOZ
ARIEL JULIÁN LEAL GALVIS **

PALABRAS CLAVE: Longitud de viaje, transporte masivo, Metrolínea, encuesta origen destino, ruta alimentadora, costo de operación.

DESCRIPCIÓN:

Se presenta el análisis de longitudes y tiempos de viaje de las rutas alimentadoras APD1, APD2, APD4, APD6 y AB1 escogidas para el estudio bajo los criterios de longitud de viaje más alta probable de un usuario con una misma validación y el índice de pasajero por kilómetro menos eficientes de tal manera que combinados arrojen los resultados más representativos para el sistema integrado de transporte masivo (SITM) Metrolínea. El levantamiento de la información se realiza mediante la metodología de encuestas origen y destino a los usuarios del sistema. Como parte del estudio, se define la longitud de viaje de cada usuario encuestado y de esta manera se caracteriza la eficiencia de la distancia recorrida por ciclo de cada una de las rutas y se realiza un análisis económico mediante el cálculo del costo de operación que cada usuario genera al sistema al completar su itinerario con una misma validación frente a los ingresos tarifarios destinados para operación, esto con el objeto de definir los tramos y tipología de vehículo que están afectando, desde el punto de vista económico, negativamente el sistema. Adicionalmente, se lleva a cabo un análisis de percepción de la velocidad comercial de viaje de los usuarios frente a la velocidad comercial reportada para cada una de las rutas analizadas.

*Proyecto de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE LENGTHS AND TRAVEL TIMES OF THE CRITICAL ROUTES IN THE MASS TRANSPORTATION SYSTEM OF THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA, METROLÍNEA *

AUTHORS: LAURA PATRICIA HERNÁNDEZ MUÑOZ
ARIEL JULIÁN LEAL GALVIS **

KEYWORDS: Travel length, mass transport system, Metrolínea, origin and destination survey, feeder route, operating cost.

DESCRIPTION:

The research presents the analysis of travel lengths and times of the feeder routes APD1, APD2, APD4, APD6 and AB1 chosen for the study under the criteria of the highest probable travel length of a user with the same validation and the passenger index by less efficient kilometer in such a way that combined they yield the most representative results for the integrated system of massive transport (SITM) Metrolínea. The information is collected using the origin and destination survey methodology for system users. As part of the study, the travel length of each user surveyed is defined and in this way the efficiency of the distance traveled by cycle of each of the routes is characterized and an economic analysis is carried out by calculating the operating cost that each The user generates the system when completing his itinerary with the same validation against the fare revenues destined for operation, this in order to define the sections and type of vehicle that are negatively affecting the system from the economic point of view. Additionally, an analysis of the perception of the commercial speed of travel of the users is carried out against the commercial speed reported for each of the routes analyzed.

*Bachelor Thesis

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán, Ingeniero Civil.

INTRODUCCIÓN

La creciente tendencia demográfica en Colombia muestra una relación directa con el desarrollo económico y social por lo que para impulsar tales comportamientos nace la necesidad de implementar un sistema de transporte masivo que facilite y garantice de forma segura, rápida, económica y efectiva, a la población, la movilización y el acceso al trabajo, al estudio y a toda actividad que aumente la competitividad y por ende el desarrollo del país. El área metropolitana de Bucaramanga cuenta con el sistema integrado de transporte masivo (SITM), Metrolínea, el cual empezó su funcionamiento comercial en el año 2010.

Luego de ocho años de servicio, el sistema presenta un decremento significativo en el número de validaciones, según los resultados del estudio (Argumentos conceptuales procedentes del estudio que obliga a la integración por fases), esto inmediatamente evidencia la necesidad de aplicar correcciones al modelo de servicio que mejore la experiencia y atraiga potenciales usuarios y/o los recupere. En consecuencia, con lo anterior surge la necesidad de evidenciar las falencias del sistema para luego ser evaluadas y subsanadas. El presente proyecto de grado pretende analizar cómo las longitudes de viaje recorridas por los usuarios del sistema de transporte masivo, que en algún punto de su itinerario toman las rutas AB1, APD1, APD2, APD4 y APD6, afectan la eficiencia económica de éste, además como la percepción del tiempo de viaje de los usuarios está frente a los tiempos estipulados por la propia entidad.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las longitudes y los tiempos de viaje de los usuarios de las rutas críticas del sistema de transporte masivo Metrolínea, frente al kilometraje recorrido de las rutas de transporte en el área metropolitana de Bucaramanga.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y valorar los datos de las variables de inicio y fin del viaje de usuarios de las rutas críticas del sistema de transporte masivo del área metropolitana de Bucaramanga, Metrolínea.
- Realizar un análisis aproximado del kilometraje recorrido de las rutas críticas determinadas.
- Realizar un estimativo de las longitudes y tiempos de viaje de usuarios de las rutas críticas del sistema de transporte masivo del área metropolitana de Bucaramanga.
- Realizar un análisis comparativo entre el kilometraje recorrido de los automotores en las rutas y las longitudes de viaje de los usuarios, esto empleando los datos de las rutas críticas determinadas.
- Hacer un análisis aproximado económico de los costos de operación de las rutas críticas determinadas del sistema de transporte masivo, Metrolínea y los ingresos que pagan los usuarios por tarifa.

2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan las definiciones y terminologías empleadas en el desarrollo de la presente investigación:

Sistema integrado de transporte masivo: el CONPES 3260 define al Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) de la siguiente manera:

Según el decreto 3109 de 1997, se entiende por transporte masivo de pasajeros la combinación organizada de infraestructura y equipos, en un sistema que cubre un alto volumen de pasajeros y da respuesta a un porcentaje significativo de las necesidades de movilización urbana. En el marco de esta definición, las principales metas que deben alcanzar los SITM que se ejecuten en el futuro con apoyo de la Nación son:

- ~ Eliminar la “guerra del centavo” generando un cambio en el sistema de remuneración a través de la transformación de la estructura empresarial del transporte urbano, pasando de empresas afiliadoras de vehículos a empresas propietarias de vehículos.
- ~ Integrar física, tarifaria y operacionalmente la mayor parte de las rutas de la ciudad, teniendo en cuenta los criterios técnicos y financieros, y acorde con el programa de implantación del SITM adoptado. La integración puede incluir modos de transporte diferentes a los buses.
- ~ Reordenar y coordinar las rutas de transporte público colectivo existentes con los servicios y rutas del nuevo SITM.
- ~ Construir y/o adecuar la infraestructura requerida en los principales corredores del SITM.
- ~ Desarrollar la operación basada principalmente en buses vehículos nuevos de alta capacidad, acordes con los niveles de demanda, y con tecnología de baja contaminación.

- ~ Aumentar la velocidad promedio en los corredores troncales a niveles cercanos a 25 km/h, disminuyendo los tiempos de viaje de los usuarios.
- ~ Coordinar la implantación de los SITM con acciones sobre el transporte público colectivo que sigue operando y el tráfico en general de modo que se mantengan las condiciones de movilidad y accesibilidad adecuadas.
- ~ Eliminar la sobreoferta (chatarrización).
- ~ Aplicar esquemas de mercadeo de tiquetes y recaudo, ágiles y económicos.
- ~ Impulsar un desarrollo urbano integral, mejorando el espacio público.
- ~ Fortalecer y mejorar la coordinación entre las entidades locales (Autoridades de Transporte Masivo, Secretarías de Tránsito y Transporte y Áreas Metropolitanas, entre otras), para asegurar una mejor y más eficiente gestión.
- ~ Controlar la prestación del servicio a través de las Empresas Gestoras, para asegurar la sostenibilidad del sistema, calidad del servicio al usuario y estándares de eficiencia mínimos¹.

Tarifas de ingreso: es el valor, en pesos colombianos, que debe pagar cada usuario para hacer uso del sistema.

Longitud del ciclo: se le llama así a la longitud total medida en kilómetros que ha de recorrer un vehículo desde el inicio hasta el fin de la ruta dispuesta.

Ciclo del recorrido: es el tiempo empleado por el vehículo desde que inicia el recorrido de una ruta hasta que lo termina, incluye tiempos de demoras por congestión entre otros.

¹ CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL 3260. Política nacional de transporte urbano y masivo. Bogotá, D.C. 2003, p. 9.

Longitud de viaje: la longitud de viaje en este proyecto será la distancia recorrida por el usuario mientras esté en el sistema, es medida en kilómetros y será fundamental para determinar el por qué ocho años después de su implementación el Metrolínea sigue teniendo déficit económico.

Índice de pasajeros por kilómetro IPK: es la relación de la cantidad de pasajeros transportados entre el kilometraje recorrido por la ruta. Permite determinar la eficiencia, referente a la demanda, del sistema. Según el CONPES 3260 para que un SITM sea eficiente, el IPK debe estar por encima de 4.0².

$$IPK = \frac{\#}{km}$$

En donde:

#: Cantidad de pasajeros en un recorrido.

km: Kilometraje total de la ruta en un ciclo.

Velocidad comercial: la velocidad comercial no es más que la velocidad promedio que tiene una ruta, la cual incluye el tiempo de espera y todas las demoras que puedan presentarse. Puede realizarse su cálculo de manera muy sencilla: por medio de GPS instalado en los buses, se monitorea la ubicación de los buses y cada determinado tiempo se hace la operación d/t al final, la velocidad comercial es la suma de todas las velocidades calculadas durante un recorrido completo de la ruta.

Tiempo de viaje: abarca todo el tiempo que el usuario utiliza para su movilización, desde el momento en que sale de su casa hasta que llega su destino, comprende tiempos de acceso, de espera y de viaje. Es un componente primordial del

² Ibíd., p. 14.

transporte porque está directamente vinculado con las decisiones cotidianas de movilidad. Así las cosas, el tiempo es un costo más que conlleva la movilización y es si no el factor más importante para los usuarios.

Costo operacional de las rutas: es el costo que acumula todos los factores de los cuales depende el funcionamiento de un vehículo por cada kilómetro recorrido.

Costo operacional por pasajero: es el costo generado al sistema por transportar a un usuario, teniendo en cuenta la tipología de vehículos que empleó en su itinerario, el Índice de Pasajeros por Kilómetro de cada ruta, el costo operativo por kilómetro de cada ruta y la longitud recorrida por el usuario en cada ruta utilizada en su itinerario.

Tamaño de población: conjunto de individuos o cosas de los cuales se busca una información por medio de la realización de una investigación.

Tamaño de muestra: el tamaño de la muestra es un subconjunto de la población. En muchas ocasiones la población es tan grande que realizar el estudio con el total de esta se vuelve inoficioso, por ello se recurre al cálculo de un tamaño de muestra. Existen diferentes metodologías para calcular el tamaño muestral, en el presente documento se trabajó con la siguiente ecuación estadística:

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

En donde,

N = tamaño de la población (número de validaciones en un día típico).

Z_{α} = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

El Sistema Integrado de Transporte Masivo del Área Metropolitana de Bucaramanga (Metrolínea) cuenta con tres tipos de buses: alimentador, padrón y articulado³.

- **Bus Alimentador:** La principal función de estos buses es la de movilizar a los usuarios de tal forma que tengan acceso desde los diferentes barrios del área metropolitana hasta las estaciones y en sentido opuesto. Son parecidos a los buses que maneja el sistema colectivo convencional, tienen capacidad para 60 pasajeros.

- **Bus Padrón:** Tiene mayor capacidad que los alimentadores (90 pasajeros), a diferencia de estos tiene acceso por ambos lados y tiene permitido recoger a los usuarios en las estaciones del sistema y en los andenes de los corredores.

- **Bus Articulado:** Bus compuesto por dos vagones, cuenta en total con capacidad de hasta 120 pasajeros, sólo tiene permitido transitar por la vía troncal y le es permitido el abordaje de los usuarios únicamente en las estaciones.

³ MUÑOZ, John. Tipos de buses [en línea]. Jornadas pedagógicas. Bucaramanga. (1 de noviembre de 2009). [Consultado: 16 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://jornadaspedagogicas.blogspot.com/2009/10/tipos-de-buses.html>

3. METODOLOGÍA

La investigación se enfoca en el análisis de longitudes y tiempos de viaje de las rutas alimentadoras APD1, APD2, APD4, APD6 y AB1 escogidas para el estudio bajo los criterios de longitud de viaje más alta probable de un usuario con una misma validación y el índice de pasajero por kilómetro menos eficientes de tal manera que combinados arrojen los resultados más representativos para el sistema integrado de transporte masivo (SITM) Metrolínea. El levantamiento de la información se realiza mediante la metodología de encuestas origen y destino a los usuarios del sistema. Como parte del estudio, se define la longitud de viaje de cada usuario encuestado y de esta manera se caracteriza la eficiencia de la distancia recorrida por ciclo de cada una de las rutas y se realiza un análisis económico mediante el cálculo del costo de operación que cada usuario genera al sistema al completar su itinerario con una misma validación frente a los ingresos tarifarios destinados para operación, esto con el objeto de definir los tramos y tipología de vehículo que están afectando, desde el punto de vista económico, negativamente el sistema. Adicionalmente, se lleva a cabo un análisis de percepción de la velocidad comercial de viaje de los usuarios frente a la velocidad comercial reportada para cada una de las rutas analizadas.

El análisis de las longitudes y los tiempos de viaje de las rutas AB1, APD1, APD2, APD4 y APD6, críticas del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) se realizó en siete fases:

1. Identificación de las rutas a analizar
2. Diseño de formularios
3. Itinerarios de las rutas
4. Recolección de datos
5. Análisis comparativo de longitudes de viaje y recorrido de las rutas
6. Investigación de tarifas

7. Análisis comparativo de costos

Para llevar a cabo la primera fase dispuesta fue necesario determinar cuáles eran las 5 rutas que arrojaran los resultados más significativos teniendo en cuenta la longitud total que recorre un pasajero con una misma validación y el índice de pasajeros por kilómetro (IPK) los cuales son los parámetros que más repercuten en el costo de operación.

Dentro del procesamiento de los datos se debe calcular los atributos de interés para el estudio, los cuales son la longitud de viaje de los usuarios encuestados y definir la longitud de ciclo de cada una de las rutas auscultadas.

El análisis de estos se ve reflejado en la comparación de las longitudes de viaje de los usuarios con la que tuvo que recorrer la flota de buses para suplir la demanda y en la comparación del costo operativo de transportar usuarios frente a los ingresos que se obtienen en un día típico.

3.1 Identificación de las rutas a analizar

La identificación de las rutas críticas del sistema se llevó a cabo mediante la inspección de parámetros económicos; una mayor longitud de viaje recorrida por un usuario supone un mayor costo para el sistema de igual manera que un índice de pasajeros por kilómetro bajo. Estos parámetros se usaron para discriminar las cinco rutas objeto de análisis así:

3.1.1 Discriminación por longitud de viaje. Bucaramanga y su área metropolitana concentran gran parte de su actividad económica en las zonas norte y centro del municipio de Bucaramanga por lo que habitantes del área metropolitana deben desplazarse grandes distancias para acudir a sus lugares de trabajo o estudio, especialmente los que residen en el municipio de Piedecuesta quienes

deben recorrer al menos 18 [km] para alcanzar sus destinos. Por esto las rutas que sugieren una mayor longitud de viaje por pasajero son las alimentadoras que operan en el municipio de Piedecuesta APD1, APD2, APD4, APD5, APD6 y APD7 de las cuales se escogieron por ser las únicas de las que Metrolínea contaba con información consolidada, de numero de validaciones y paraderos, para la fecha en la que se realizaron las encuestas:

1. APD1
2. APD2
3. APD4
4. APD6

3.1.2 Discriminación por índice de pasajeros por kilómetro (I.P.K). Índice de pasajeros por kilómetro es un indicador de eficiencia de la ruta que vislumbra la cantidad de pasajeros que transporta por recorrido. La ruta del sistema de la que Metrolínea, para la fecha del estudio, contaba con información consolidada de numero de validaciones con peor I.P.K promedio es la alimentadora AB1 con un índice promedio de pasajeros por kilómetro igual a 3.0, siendo esta la quinta ruta escogida para realizar el estudio.

3.2 Diseño de los formularios para las encuestas

Para el diseño de los formularios se realizó una prueba piloto con los datos básicos requeridos para el estudio y a partir de la experiencia en la piloto se complementó el diseño y se organizó el contenido de tal manera que tuviera una secuencia lógica según el recorrido del pasajero y de esta manera garantizar la eficiencia del tiempo de encuesta brindando comodidad y fluidez al usuario encuestado.

3.2.1 Identificación del tamaño de la población. Estudios anteriores concuerdan en que con la información de la demanda de una ruta es posible definir

el tamaño de una muestra, por ello, y teniendo en cuenta que en este proyecto se estudiarán 5 de las más de 30 rutas que tiene el sistema, se definió un tamaño de población (N) para cada ruta, siendo éste la cantidad de validaciones que tuvo cada ruta en un día típico. Metrolínea facilitó los datos de validaciones que tuvo todo el sistema durante el mes de septiembre del año 2018 (30 días), (Ver Anexo A); el tamaño de la población de cada ruta a estudiar se obtuvo haciendo un promedio aritmético del número de validaciones para los 30 días mencionados.

De acuerdo con lo dicho anteriormente, el tamaño de población de las 5 rutas alimentadoras a estudiar es el siguiente:

Tabla 1. Tamaño de la población de cada ruta

RUTA	TAMAÑO DE LA POBLACIÓN
AB1	1830
APD1	918
APD2	1016
APD4	1106
APD6	1488

3.2.2 Identificación del número de encuestas por ruta. Para lo cual se empleó la siguiente ecuación (mencionada en el marco teórico):

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q} \quad (1)$$

En donde,

N = tamaño de la población (número de validaciones en un día típico).

Z_{α} = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

Debido a que el presente estudio es de prefactibilidad, se trabajó con un nivel de confianza del 90% $\Rightarrow Z_{\alpha} = 1.645$ (valores dados en las tablas de la distribución normal Z).

Varios autores recomiendan que, de no tener suficientes estudios anteriores acerca del tema en investigación, se trabaje con una probabilidad de éxito del 50%.

$$p = 0.5 \text{ (50\%)}$$

$$q = 1 - p = 1 - 0.5 = 0.5$$

$$d = 6\%$$

Teniendo todas las variables que dan solución a la ecuación (1) se procedió al cálculo de encuestas necesarias para cada ruta (Ver Anexo B), dando como resultado los siguientes valores:

En total se realizaron 814 encuestas distribuidas como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tamaño de la población de cada ruta

RUTA	TAMAÑO DE LA MUESTRA
AB1	171
APD1	156
APD2	159
APD4	161
APD6	167
TOTAL	814

3.2.3 Identificación de los puntos estratégicos. Con el fin de realizar las encuestas de tal manera que se pudiese encuestar tanto a las personas que iban a su sitio de destino y a las que regresaban de éste, se decidió realizar las encuestas en los alimentadores durante el recorrido de las rutas. En hora pico era físicamente imposible realizar las encuestas con el vehículo en marcha por lo que se decidió realizar las encuestas en la estación en la cual confluyen todos los alimentadores de esa zona, la Estación Temprana.

Teniendo los datos anteriores se procedió a la creación de los formularios.

Dado que el fin de este proyecto es estudiar las longitudes y tiempos de viaje de los usuarios era necesario crear un formulario en el que el usuario expresara estos datos, por ello la toma de información se realizó mediante el estudio de origen y destino de pasajeros por el método de encuestas (ver Anexo C). A continuación, se muestra la distribución de las cantidades de encuestas a realizar por cada ruta.

Tabla 3. Distribución de las encuestas

RUTA	CANTIDAD DE ENCUESTAS		
	Total por ruta	Hora Pico	Hora Valle
AB1	171	86	85
APD1	156	78	78
APD2	159	80	79
APD4	161	81	80
APD6	167	84	83
TOTAL	814	409	405

3.3 Itinerario de las rutas críticas definidas

A continuación, se muestra el itinerario, kilometraje y algunas otras características de las rutas definidas para este estudio:

Tabla 4. Identificación de la ruta alimentadora AB1

Ruta	AB1	
Tipología	Alimentador	
Nombre	La joya - Terrazas	
Capacidad	60 pasajeros	
Recorrido	Barrio la Joya / Calle 36 / Carrera 33 / Carrera 37 / Calle 48 / UNAB / Terrazas / Calle 56 / Carrera 33 / Calle 36 / Barrio la Joya.	
	Nombre de parada	Distancia entre paradas acumulada[Km]
Paradas	kr 18 Occ Cl 36	0
		0,19
	Cl 36 Kr 14 Occ	0,3
		0,51
	kr 13 Occ Cl 36	0,77
		0,91
	Cl 37 kr 9 Occ	1,2
	Cl 37 kr 5 Occ	1,37
	Cl 37 kr 20 Occ	1,53
		1,67
	Cl 39 kr 1	1,81
	Cl 39 kr 3a	2,13
	Cl 37 kr 4a	2,42
	Cl 37 kr 6a	2,61
	Cl 37 kr 8	2,81
	Cl 36 kr 11	3,17
	Cl 36 kr 14	3,38
	Cl 36 kr 16	3,71
	Cl 36 kr 18	3,97
	Cl 36 kr 22 Occ	4,26
		4,54
	Cl 36 kr 24	4,85
	Cl 36 kr 27 Occ	5,19
		5,37
	Cl 36 kr 30	5,6
	kr 33 Cl 37	6,02
	kr 33 Cl 42 Sur	6,28
	Cl 47 kr 33	7,1
	Cl 48 kr 33	7,22
	Cl 48 kr 35a	7,48
	kr 38 Cl 49	7,74
	Av 42 Cl 48	7,9
	Av 42 Cl 46	8,3
	kr 51 Cl 50	8,5
	Cedros	8,71
	kr 55 Cl 50	9,27
	kr 55 Cl 51	9,45
	kr 54 Cl 52	9,72
	kr 52 Cl 52	10,18
	kr 50 Cl 53	10,47
	kr 50 Cl 54	10,75
	kr 49 Cl 54	
	Ritmo Pizza	11,23
	Cl 56 kr 46	11,57
	Terrazas	11,75

	Cl 61 kr 45	11,98
	Terrazas	12,28
	Cl 45 kr 55	12,66
	Cl 56 kr 37	12,99
	Cl 56 kr 34	13,2
	kr 33 Cl 54	13,46
	Clínica	
	Bucaramanga	13,76
	kr 33 Cl 48	13,95
	kr 33 Cl 46	14,24
	kr 33 Cl 42 Nor	14,61
		14,73
	kr 33 Cl 38	14,91
	Cl 36 kr 32	15,07
	Cl 36 kr 27 Ori	15,29
	Cl 36 kr 24	15,54
	Cl 36 kr 22 Ori	15,68
	Cl 36 kr 19	15,93
	Parque Santander	16,15
	Cl 36 kr 16	16,3
	Cl 36 kr 14 Ori	16,46
	Cl 36 kr 11	
	Cl 35 kr 7a	
	Cl 35 kr 6	
	Cl 35 kr 4a	
	Cl 39 kr 3a	
	Cl 39 kr1	
	Cl 37 kr 20 Occ	
	Cl 37 kr 6 Occ	
	Cl 37 kr 9 Occ	
	kr 13 Occ Cl 36	
	Cl 36 kr 15	
	kr 18 Occ Cl 36	
Horario	Días hábiles 04:45 a.m. – 10:00 p.m.	
	Sábados 04:45 a.m. – 09:00 p.m.	
	Domingos y festivos 05:30 a.m. – 08:30 p.m.	
Frecuencia (min)	Hora pico Lunes a viernes - 00:10	
	Hora valle Lunes a viernes – 00:12	
	Hora pico Sábados – 00:10	
	Hora valle Sábados – 00:12	
	Domingos y Festivos – 00:15	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga. Resolución No. 000435 del 31 de agosto, 2016. Rendición de cuentas 2016, Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea, 2016 y 2017 respectivamente.

Tabla 5. Identificación de la ruta alimentadora APD1

Ruta	APD1	
Tipología	Alimentador	
Nombre	Estación Temprana - Refugio	
Capacidad	60 pasajeros	
Recorrido	Est. Temprana / La Rioja / Argentina / Refugio / Vía Guatiguará / Est. Temprana	
	Nombre de parada	Distancia entre paradas acumulada[Km]
Paradas	Est. Temprana	0
	C.C de la Cuesta	0,31
	Cl 3AN - kr 8	0,45
	Cl 3AN - kr 6	0,66
	Cl 3AN - kr 5 La Argentina	0,76
	Cl 3AN - kr 4	0,95
	Cl 3AN – kr 2A	1,24
	Cl 3AN – kr 1	1,34
	Cl 3AN Estatuas	1,52
	Cancha sintética Refugio	1,65
	Cl 6 – kr 1w El Refugio	1,76
	Cl 6 – kr 7N Promoción Social	1,92
	Barrio El Paraíso	2,23
	Barrio Coovicop	2,41
	AV. Guatiguará – kr 4	2,73
	Portal de Santillana	2,92
	Est. Temprana	3,3
Horario	Días hábiles 04:20 a.m. – 11:15 p.m. Sábados 04:20 a.m. – 10:17 p.m. Domingos y festivos 05:30 a.m. – 10:15 p.m.	
Frecuencia (min)	Hora pico Lunes a viernes - 00:08 Hora valle Lunes a viernes – 00:10 Hora pico Sábados – 00:08 Hora valle Sábados – 00:12 Domingos y Festivos – 00:15	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga. Resolución No. 000435 del 31 de agosto, 2016. Rendición de cuentas 2016, Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea, 2016 y 2017 respectivamente.

Tabla 6. Identificación de la ruta alimentadora APD2

Ruta	APD2	
Tipología	Alimentador	
Nombre	Estación Temprana - Hipinto	
Capacidad	60 pasajeros	
Recorrido	Est. Temprana / La Rioja / Argentina / Junin / Vía Guatiguará / Puerto Nuevo / Hipinto / Vía Guatiguará / Refugio / Callejuelas / Vía Guatiguará / Est. Temprana	
	Nombre de parada	Distancia entre paradas acumulada[Km]
Paradas	Est. Temprana	0,00
	C.C. De La	0,32
	Cuesta	0,47
	Cl 3an - Kr 8	0,67
	Cl 3an - Kr 6	0,76
	Cl 3an - Kr 5 La	
	Argentina	0,95
	Cl 3an - Kr 4	1,18
	Santelmo I	1,38
	Kr4 - Cl 7	1,61
	Vía Guatiguará	1,85
	Kr 3	2,03
	Coovicop	2,53
		2,86
	Barrio El Paraíso	3,06
	Sede UIS	3,25
	Guatiguará	3,48
	Asopender	3,76
	Sena Guatiguará	4,07
	Puerto Nuevo	4,48
	Formadcol	
	Hipinto	4,88
	Formadcol	
	La Vega Vía	5,55
	Guatiguará Bajando	5,78
	Vía Guatiguará	6,01
	Entrada Primera “Y”	
	Segunda “Y”	6,25
	Entrando	
	Quebrada	6,34
	Entrando	
	Fundación	6,63
	Alcohólicos	
	Transformar	6,81
	Tienda Matecaña	
	Entrando	6,87
	Parcela	
	Monterrey Entrando	7,16
	Droguería Y	7,26
	Perfumería Nueva	
	Colombia	7,49
	Retorno Nueva	
	Colombia	7,72
	Droguería Y	7,94
	Perfumería Nueva	8,62
	Colombia	9,12

	Parcela	
	Monterrey saliendo	9,30
	Tienda Matecaña	9,48
	saliendo	
	Fundación	9,70
	Alcohólicos	10,01
	Transformar	
	Quebrada	10,50
	Saliendo	
	Segunda “Y”	10,68
	Saliendo	
	Primera “Y”	11,00
	Saliendo La Vega Vía	11,21
	Guatiguará Saliendo	11,53
	Puerto Nuevo	
	Subiendo	
	Sena Guatiguará	
	Subiendo	
	Asopender	
	Subiendo	
	Sede UIS	
	Guatiguará Subiendo	
	Barrio El Paraíso	
	Subiendo	
	Barrio El Divino	
	Niño Subiendo	
	Vía Guatiguará	
	Km 4	
	Portal De	
	Santillana	
	Est. Temprana	
Horario	Días hábiles 04:48 a.m. – 08:00 p.m. Sábados 04:48 a.m. – 08:00 p.m. Domingos y festivos No opera	
Frecuencia (min)	Hora pico Lunes a viernes - 00:12 Hora valle Lunes a viernes – 00:12 Hora pico Sábados – 00:12 Hora valle Sábados – 00:12 Domingos y Festivos No opera	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga. Resolución No. 000435 del 31 de agosto, 2016. Rendición de cuentas 2016, Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea, 2016 y 2017 respectivamente.

Tabla 7. Identificación de la ruta alimentadora APD4

Ruta	APD4	
Tipología	Alimentador	
Nombre	Campoverde	
Capacidad	60 pasajeros	
Recorrido	Est. Temprana / La Rioja / Argentina / Tranv. 2 / Vía Guatiguará / Est. Temprana	
	Nombre de parada	Distancia entre paradas acumulada[Km]
Paradas	Est. Temprana	0
	C.C. De La Cuesta	0,31
	Cl 3AN – Kr 8	0,45
	Cl 3AN – Kr 6	0,65
	Cl 3AN – Kr 4 La	0,74
	Argentina	
	San Telmo I	0,95
	Kr 4 - Cl 1AD	1,23
	Kr 4 - Cl 0	1,5
	Kr 4 - Cl 1	1,63
	Kr 4 - Cl 1D	1,73
	Kr 4 - Cl 6	2,18
	Cl 8 - Kr 3	2,37
	Kr3 - Cl 6	2,58
	Manzana Iglesia	2,81
	Chacarita	
	Kr 3 - Cl 2 Chacarita	2,95
	Cl 2 Bariloche	3,05
	Kr 4 – Cl 1E	3,27
	Kr 4 – Cl 1D	3,34
	Kr 4 – Cl 0	3,48
	Kr 4 – Cl 1ND	3,69
	La Argentina	3,95
	San Telmo I	4
	Kr 4 Cl 7	4,36
	Av. Guatiguará Kr 4	4,54
	Portal De Santillana	4,75
	Est. Temprana	5,09
Horario	Días hábiles	
	04:15 a.m. – 11:15 p.m.	
	Sábados	
	04:30 a.m. – 10:15 p.m.	
Frecuencia (min)	Domingos y festivos	
	05:45 a.m. – 09:00 p.m.	
	Hora pico	
	Lunes a viernes - 00:09	
Frecuencia (min)	Hora valle	
	Lunes a viernes – 00:12	
	Hora pico	
	Sábados – 00:09	
Frecuencia (min)	Hora valle	
	Sábados – 00:12	
	Domingos y Festivos – 00:15	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga. Resolución No. 000435 del 31 de agosto, 2016. Rendición de cuentas 2016, Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea, 2016 y 2017 respectivamente.

Tabla 8. Identificación de la ruta alimentadora APD6

Ruta	APD6	
Tipología	Alimentador	
Nombre	Tejaditos	
Capacidad	60 pasajeros	
Recorrido	Est. Temprana / Autop. Piedecuesta / San Rafael / Parque La Libertad / LA Candelaria / Barro Blanco / Tejaditos / Comuneros / Hoyo Grande / Parque La Libertad / Cra. 9 / Paseo Cataluña / Tranv. 2 / Vía Guatiguará / Est. Temprana	
	Nombre de parada	Distancia entre paradas acumulada[Km]
Paradas	Est. Temprana	0
	EDS San Carlos	0,51
	San Francisco	0,83
	Villa Concha	0,93
	San Luis	1,2
	Puerto Madero	1,43
	Cabecera Del Llano	1,61
	Cl 6 - Kr 13A	1,74
	Cl 6 - Kr 10	1,99
	Cl 6 - Kr 8	2,23
	Kr 8 - Cl 7	2,38
	Kr 8 - Cl 9	2,61
	Kr 8 - Cl 10	2,69
	Kr 8 - Cl 12	2,88
	Cl 14 - Kr 7	3,08
	Cl 14 - Kr 6	3,3
	Kr 6 - Cl 14	3,45
	Cl 17 - Kr 4	3,68
	Kr 17 -1W	3,92
	Hoyo Grande	4,11
	Cl 17 - Kr 0W	4,29
	Villa Marcela	4,48
	Kr 17 Puente	4,85
	Del Portal Del Valle O/W	5,1
	Cl 17 - 3W	5,41
	Barro Blanco	5,6
	Urbanización Miraflores Av 17 - 3W	5,74
	Aires De Belén	5,9
	Salida Comuneros Cl 8w - Kr 18	6,06
		6,27
		6,9

	Kr 5w - Cl	7,07
	16D	7,27
	Cl 17 3W - 65	7,43
	Conjunto Residencial	7,64
	Cl 17 - Kr 2W	7,88
	Kr 17 Puente	7,98
	Portal Del Valle O/W	8,24
	Cl 17 - 2W	8,67
	Villa Marcela	8,91
	Kr 17 - 1W	9,05
	Hoyo Grande	9,43
	Cl 15 - Kr 6	9,76
	Kr 7 - Cl 14	10,18
	Kr 7 - Cl12	10,34
	Kr 7 - Cl 10	10,53
	Cl 10 - Kr 8	10,63
	Kr 9 - Cl 7	11,04
	Cl 7 - Kr 9	11,24
	Cl 7 - Kr 12	11,43
	Cabecera Del Llano	11,62
	La Normal	12
	San Luis	
	San Fco	
	San Carlos	
	C.C. De La Cuesta	
	Cl 3AN - Kr 8	
	Cl 3AN - Kr 6	
	Cl 3AN - Kr 5 La Argentina	
	San Telmo I	
	Kr 4 - Cl 7	
	Av Guatiguará Kr 4	
	Portal De Santillana	
	Estación Temprana	
Horario	Días hábiles 04:15 a.m. – 11:15 p.m. Sábados 04:45 a.m. – 10:15 p.m. Domingos y festivos 04:45 a.m. – 10:05 p.m.	
Frecuencia (min)	Hora pico Lunes a viernes - 00:08 Hora valle Lunes a viernes – 00:12 Hora pico Sábados – 00:08 Hora valle Sábados – 00: 12 Domingos y Festivos – 00:15	

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga. Resolución No. 000435 del 31 de agosto, 2016. Rendición de cuentas 2016, Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) Metrolínea, 2016 y 2017 respectivamente.

3.4 Investigación de las longitudes y los tiempos de viaje de los usuarios.

Con los cuestionarios debidamente elaborados, se procedió a la toma de datos. Se realizaron las encuestas durante 5 días hábiles, empezando un lunes y terminando un viernes, las encuestas se realizaron tanto en hora pico como en hora valle (tiempos en los que hay mayor y menor afluencia de pasajeros respectivamente), aclarando en cada una en qué fracción del día se había realizado; el tiempo promedio empleado en cada encuesta fue de 4 minutos.

Luego se procedió a realizar la digitalización de la información tomada en campo (ver Anexo D).

3.5 Análisis comparativo de las longitudes y tiempos de viaje de los usuarios de las rutas críticas.

3.5.1 Análisis comparativo entre las longitudes recorridas por los usuarios y las que debió recorrer la flota de buses para suplir la demanda. Para realizar este análisis se procedió de la siguiente manera:

Primero se realizó una tabla en donde estuvieran los siguientes datos:

- a) Ruta
- b) Longitud total de la ruta [km]
- c) Longitud de viaje del usuario [km]
- d) Porcentaje que representa la relación entre la longitud de viaje del usuario respecto a la longitud total de la ruta [%]

Esto teniendo en cuenta los datos de todos los usuarios entrevistados y discretizándolos por ruta.

Habiendo realizado el cálculo del porcentaje mencionado anteriormente en el literal d), se realizó una separación de estos valores en 20 grupos, el grupo 1 contiene la cantidad de usuarios que según los cálculos anduvieron sólo entre el 0% y el 5% de la longitud total de la ruta, el grupo 2 contiene la cantidad de usuarios que

anduvieron entre el 5% y el 10% de la longitud total de la ruta y así sucesivamente hasta llegar al grupo 20 que contiene el número de usuarios que recorrió entre el 95% y el 100% del total de la ruta.

Teniendo el resultado de estos 20 grupos, se procedió a calcular el porcentaje que representan los usuarios de cada grupo con respecto al número total de usuarios, en cada ruta analizada. (ver Anexo E).

Por último, se realizó un gráfico en el que se muestran, en porcentaje, la cantidad de usuarios (con respecto al total de usuarios encuestados en cada ruta) que recorrieron un determinado porcentaje del total de la ruta.

Al analizar las gráficas comparativas de las longitudes recorridas por los usuarios y las que debió recorrer la flota de buses para suplir la demanda se pueden observar factores que afectan al sistema de forma económica y funcional.

Se evidencia que las rutas AB1, APD2, APD4 y APD6 tienen alrededor del 40% de su longitud de ciclo prácticamente sin transportar usuarios siendo este porcentaje aún más crítico en el APD4. Esto es un primer indicio de la ineficiencia de los recorridos estipulados por Metrolínea para las rutas alimentadoras bajo estudio.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas:

Imagen 1. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta AB1

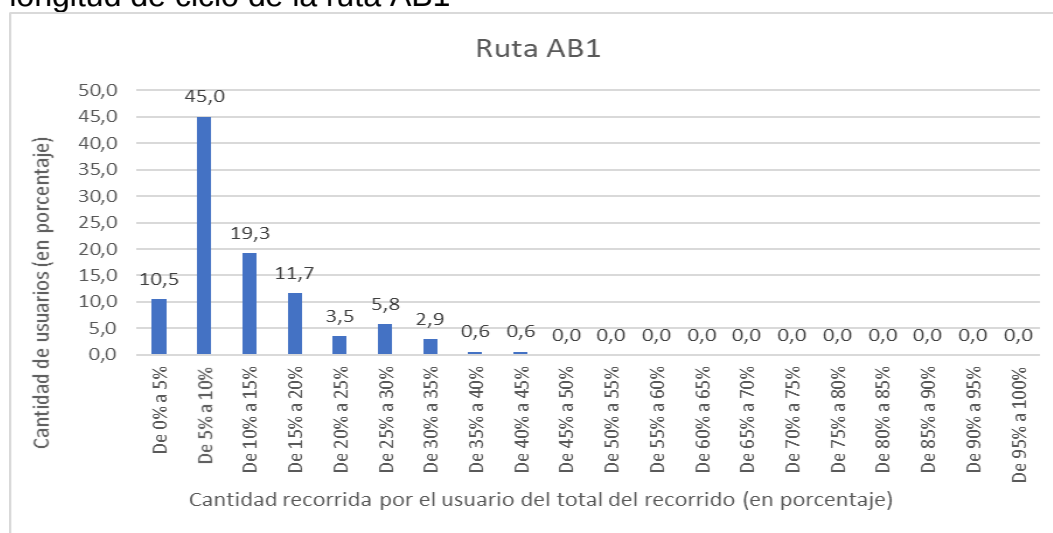


Imagen 2. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD1

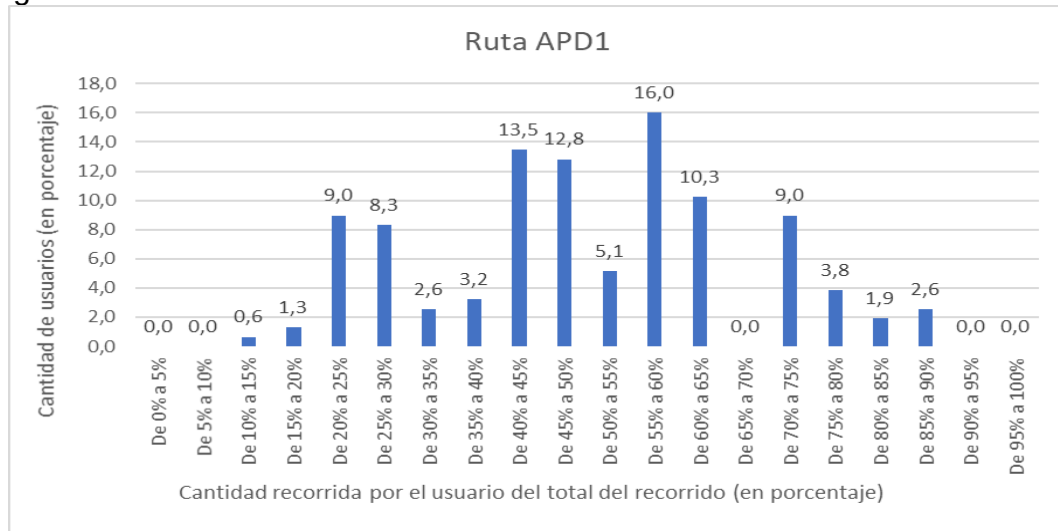


Imagen 3. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD2

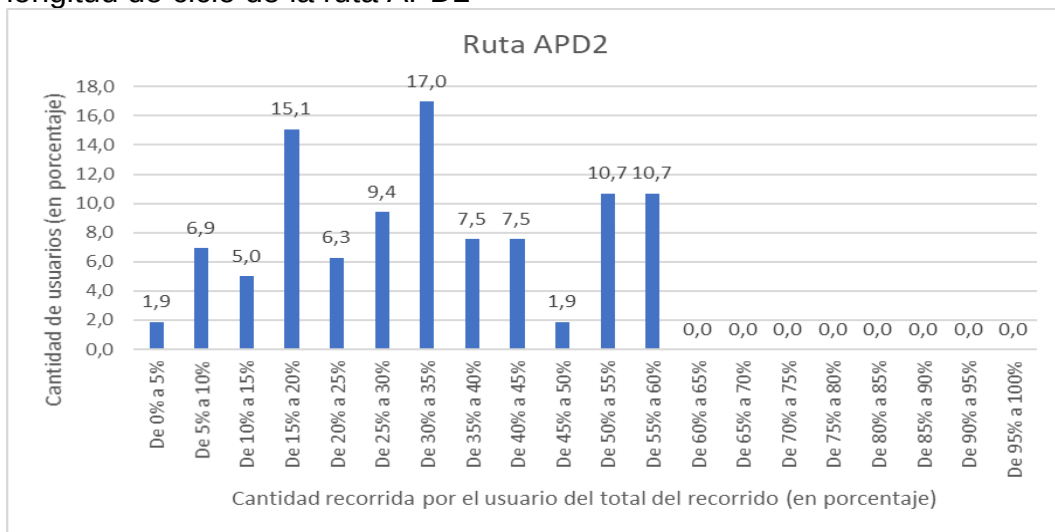


Imagen 4. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD4

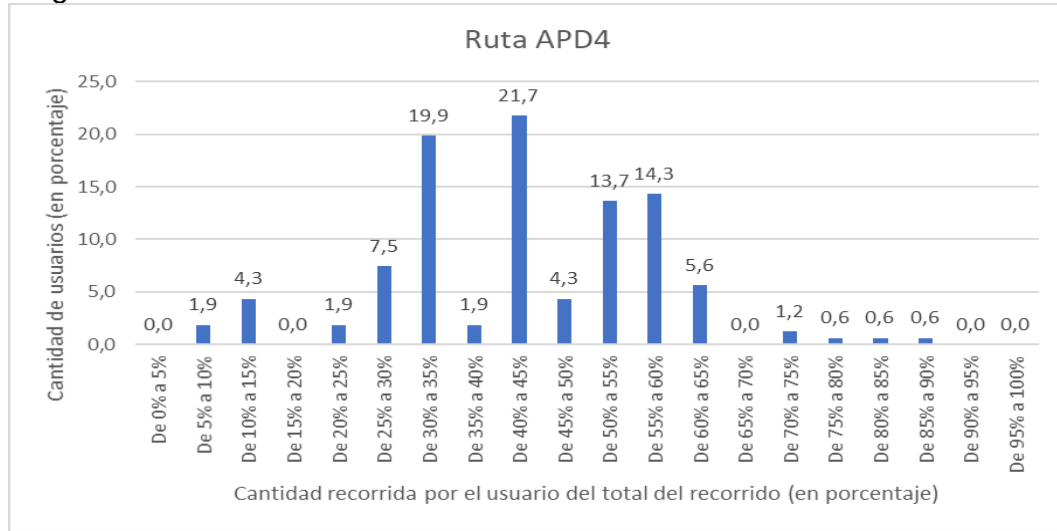
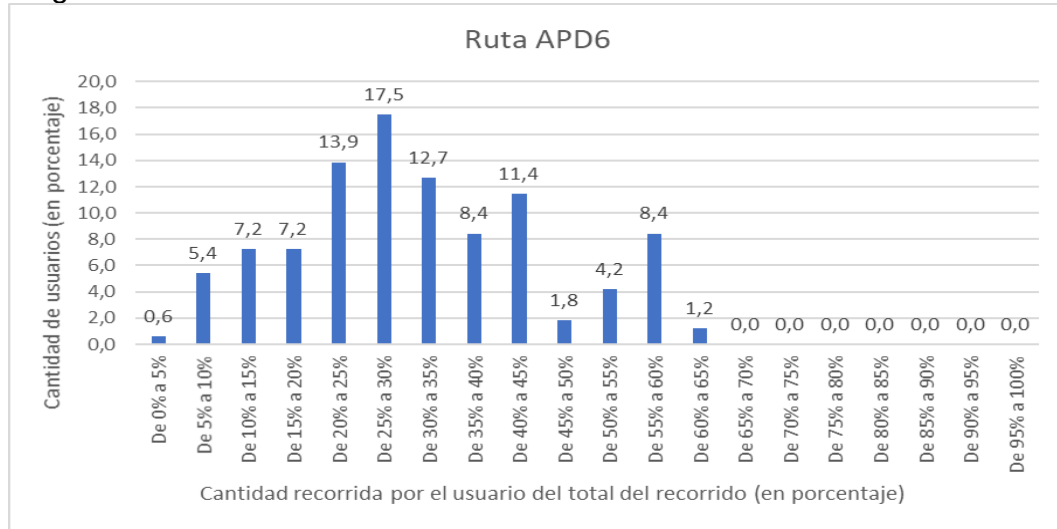


Imagen 5. Porcentaje de usuarios que recorren un determinado porcentaje de la longitud de ciclo de la ruta APD6



3.5.2 Análisis comparativo entre los tiempos percibidos por los usuarios y los tiempos reales. Los tiempos percibidos por los usuarios encuestados se extrapolaron a velocidades comerciales para después ser comparadas con las velocidades comerciales establecidas por estudios previos hechos al sistema. Se realizó el cálculo del porcentaje que representa la velocidad comercial percibida por

el usuario con respecto a la velocidad comercial establecida en estudios anteriores, de igual manera que en el literal anterior se realizó la separación de estos valores en 20 grupos y simultáneamente se realizó el cálculo de la cantidad de usuarios en cada grupo. (ver Anexo F).

Por último, se realizó un gráfico en el que se muestran, en porcentaje, la cantidad de usuarios (con respecto al total de usuarios encuestados en cada ruta) que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial real (tomada de estudios previos) de cada ruta. Los resultados se muestran en las gráficas 6 a la 10 ubicadas en el Anexo F donde a mayor porcentaje de usuarios acumulado cerca del 100% de la velocidad comercial teórica, mejor percepción tiene los usuarios respecto al nivel de servicio.

Tabla 9. Velocidades comerciales según estudios previos.

Ruta	Franja	Velocidad Comercial [km/h]
APD1	Pico	12
	Valle	20
APD2	Pico	22
	Valle	23
APD4	Pico	14
	Valle	16
APD6	Pico	13
	Valle	14
AB1	Pico	14
	Valle	16

Imagen 6. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta AB1

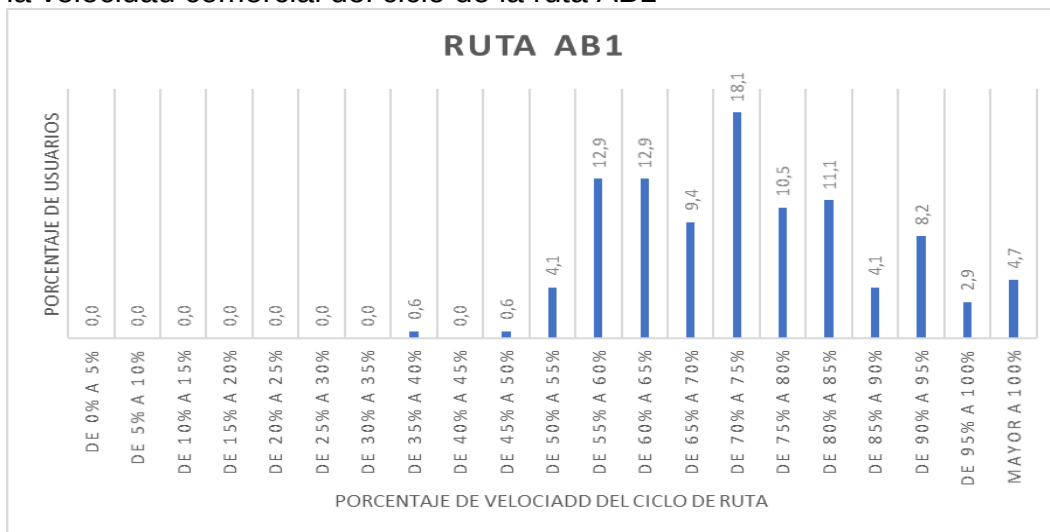


Imagen 7. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD1

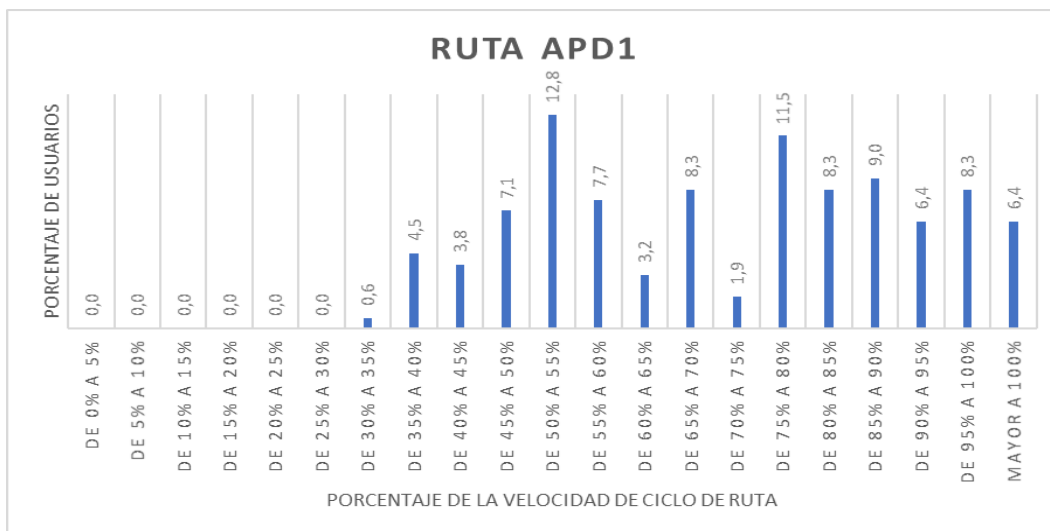


Imagen 8. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD2

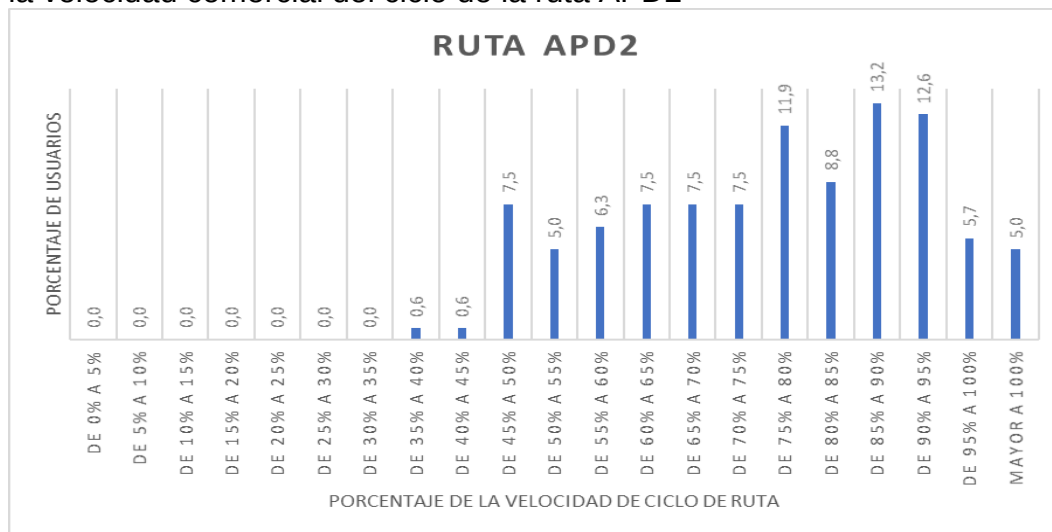


Imagen 9. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD4

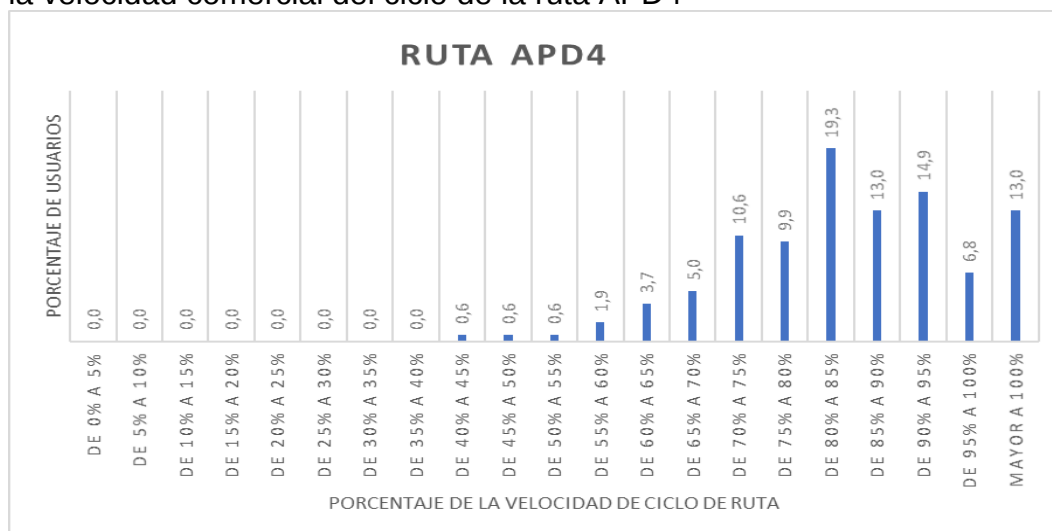
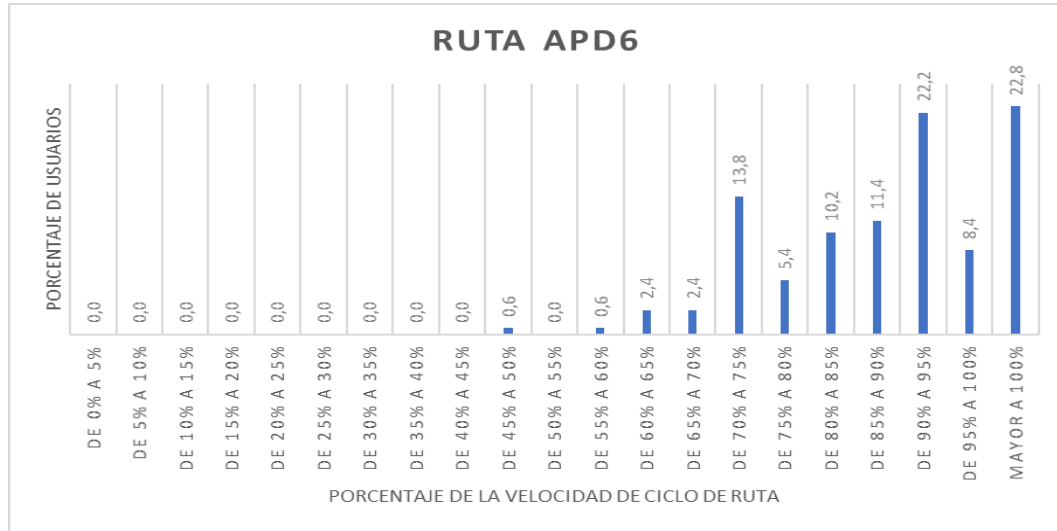


Imagen 10. Porcentaje de usuarios que percibieron un determinado porcentaje de la velocidad comercial del ciclo de la ruta APD6



3.6 Tarifas de ingreso de usuarios y costos operacionales

A continuación, se muestran las tarifas de ingreso debidas a usuarios para el año 2018 (Ver Tabla 10) y los costos operacionales de los tres tipos de vehículos con los que cuenta el sistema (Ver Tabla 11), estos costos son por kilómetro recorrido de la unidad transportadora:

Tabla 10. Tarifa de ingreso al SITM para el año 2018

Tarifa de ingreso (2018)	\$ 2.300
----------------------------	----------

Fuente: Metrolínea

Tabla 11. Costos operacionales

Tipo de Vehículo	Costo Operacional
Alimentador	\$ 3.780,62
Padrón	\$ 4.100,52
Articulado	\$ 5.918,13

Fuente: Metrolínea

3.7 Comparación de los costos operativos frente a los ingresos que se obtienen en un día típico.

Para realizar esta comparación fue necesario calcular el costo operacional que genera cada pasajero durante su itinerario en el sistema así:

Sabiendo que:

$$C.O = \frac{\$}{km} \quad (2)$$

$$T = \frac{\$}{\#} \quad (3)$$

$$I.P.K = \frac{C.O}{T} \quad (4)$$

Reemplazando (2) y (3) en (4)

$$I.P.K = \frac{C.O}{T} = \frac{\frac{\$}{km}}{\frac{\$}{\#}} = \frac{\#}{km} \quad (5)$$

Costo operacional por pasajero:

$$C.P = \frac{\left(\frac{\$}{\#}\right)}{\left(\frac{\#}{km}\right)} = \frac{C.O}{I.P.K} \quad (6)$$

Costo operacional por pasajero cada kilómetro:

$$\frac{C.P}{km} = \frac{C.O}{km} \quad (7)$$

C.O: Costo operacional de la ruta por kilómetro.

I.P.K: Índice de pasajeros por kilómetro.

T: Tarifa por usuario.

#: Cantidad de pasajeros en un recorrido.

C.P: Costo operacional por pasajero.

km: Kilometraje total de la ruta en un ciclo.

Ahora, teniendo el costo operacional que genera cada pasajero en un kilómetro, se procede a calcular el costo que genera éste durante todo su recorrido multiplicando el costo obtenido desde la ecuación (7) por la distancia total que recorrió el pasajero (Ver Anexo F). Se muestran los resultados, donde:

- *Recaudo para operación por pasajero*: es el valor destinado por Metrolínea para la operación dado en la repartición de la tarifa. (Para el año 2018 este valor fue de \$1678.77).
- *Total recaudado para operación*: es el valor recaudado para la operación por pasajero multiplicado por la cantidad total de encuestas hechas en cada ruta.
- *Costo total de operación*: Es la sumatoria del costo operacional que genera cada pasajero durante todo su recorrido (tiene en cuenta el costo que generó el pasajero en todas las rutas que utilizó para movilizarse con una misma validación) para el número total de usuarios encuestados.
- *Ganancias o pérdidas*: Diferencia entre el valor total recaudado para operación y el costo total de operación para el número total de usuarios encuestados.
- *Ganancias o pérdidas promedio por pasajero*: Relación entre ganancia o pérdida y el número total de usuarios encuestados por ruta.
- *Ganancias o pérdidas promedio en un día*: Ganancias o pérdidas promedio por pasajero multiplicada por el número de validaciones según Tabla 1.

Tabla 12. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta AB1 en un día típico

Recaudo para operación por pasajero	\$ 1.678.77
Total recaudado para operación	\$ 287.070
Costo total de operación	\$ 220.520
Ganancias o pérdidas	\$ 66.550 +
Ganancias o pérdidas promedio por pasajero	\$ 389
Ganancias o pérdidas promedio en un día	\$ 712.197

Tabla 13. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD1 en un día típico

Recaudo para operación por pasajero	\$ 1.679
Total recaudado para operación	\$ 261.888
Costo total de operación	\$ 134.503
Ganancias o pérdidas	\$ 127.385
Ganancias o pérdidas promedio por pasajero	\$ 817
Ganancias o pérdidas promedio en un día	\$ 749.615

Tabla 14. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD2 en un día típico

Recaudo para operación por pasajero	\$ 1.679
Total recaudado para operación	\$ 266.924
Costo total de operación	\$ 171.912
Ganancias o pérdidas	\$ 95.012
Ganancias o pérdidas promedio por pasajero	\$ 598
Ganancias o pérdidas promedio en un día	\$ 607.124

Tabla 15. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD4 en un día típico

Recaudo para operación por pasajero	\$ 1.679
Total recaudado para operación	\$ 270.282
Costo total de operación	\$ 151.789
Ganancias o pérdidas	\$ 118.493
Ganancias o pérdidas promedio por pasajero	\$ 736
Ganancias o pérdidas promedio en un día	\$ 813.997

Tabla 16. Comparación de los costos de operación contra los ingresos del sistema para la ruta APD6 en un día típico

Recaudo para operación por pasajero	\$ 1.679
Total recaudado para operación	\$ 280.355
Costo total de operación	\$ 271.990
Ganancias o pérdidas	\$ 8.364
Ganancias o pérdidas promedio por pasajero	\$ 50
Ganancias o pérdidas promedio en un día	\$ 74.529

Tabla 17. Relación Ganancia / Recaudo para cada ruta

RUTA	RELACIÓN GANANCIA/RECAUDO
AB1	23,2%
APPD1	48,7%
APD2	35,6%
APD4	43,8%
APD6	3,0%

3.8 Análisis de la inferencia en el costo operacional debido a las longitudes de viaje en las rutas alimentadoras frente al debido en las longitudes de viaje de las demás rutas en un mismo itinerario.

El análisis comparativo de las longitudes de viaje frente a las longitudes de ciclo de la ruta realizado en la sección 2.5.1 evidenció la ineficiencia de las rutas alimentadoras en estudio, por lo que se hace necesario analizar si esta ineficiencia está repercutiendo en el costo operacional de transportar pasajeros que en algún punto de su itinerario las abordan.

Para realizar el análisis se compara el porcentaje de la longitud de viaje en ruta alimentadora y su debido costo generado respecto a la longitud de viaje y costo total del itinerario frente al porcentaje de la longitud de viaje en las demás rutas del itinerario y su debido costo generado respecto a la longitud total de viaje y costo

total del itinerario. La comparación se discretizó por franja horaria, hora pico y hora valle (Ver Imagen 11/20). (Ver Anexo F).

Imagen 11. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta AB1

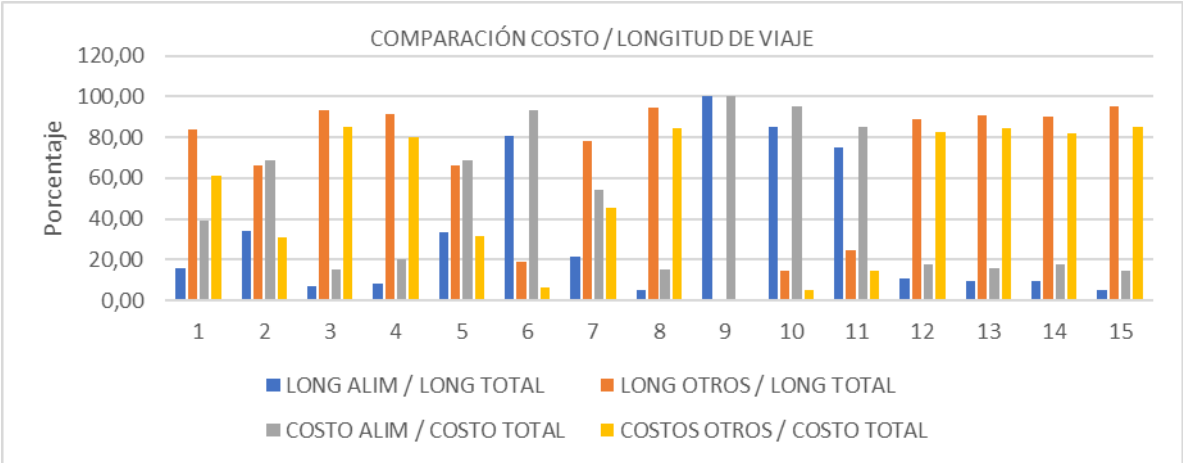


Imagen 12. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta AB1

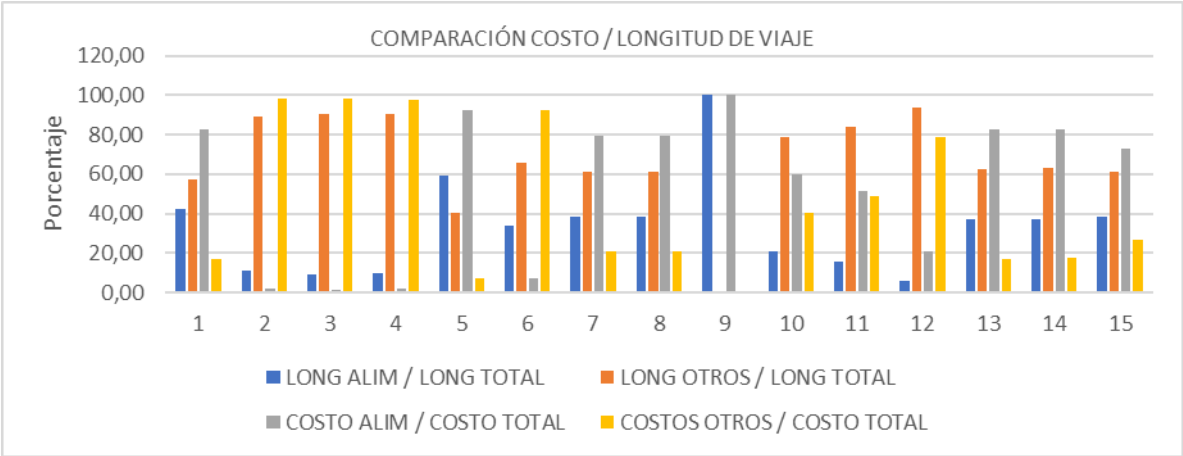


Imagen 13. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD1

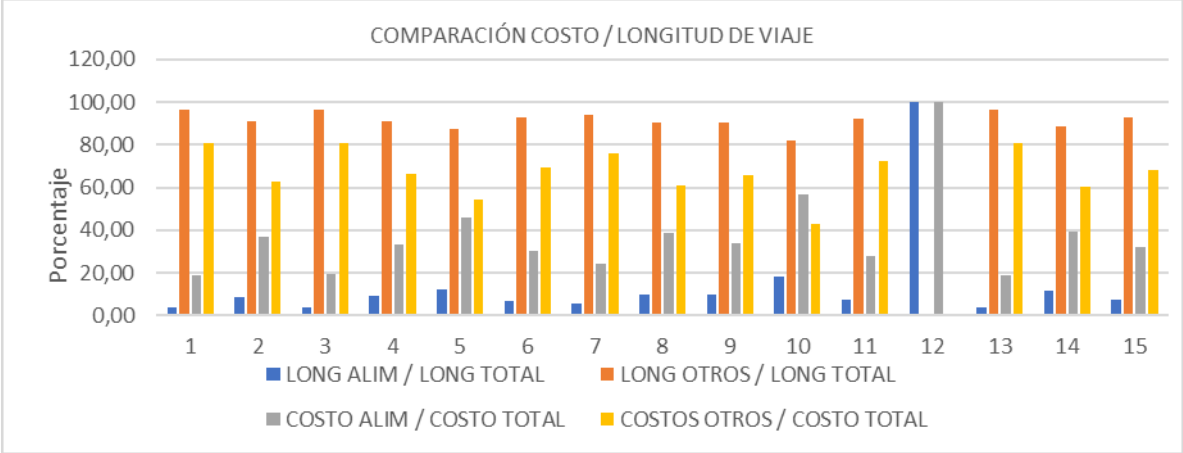


Imagen 14. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD1

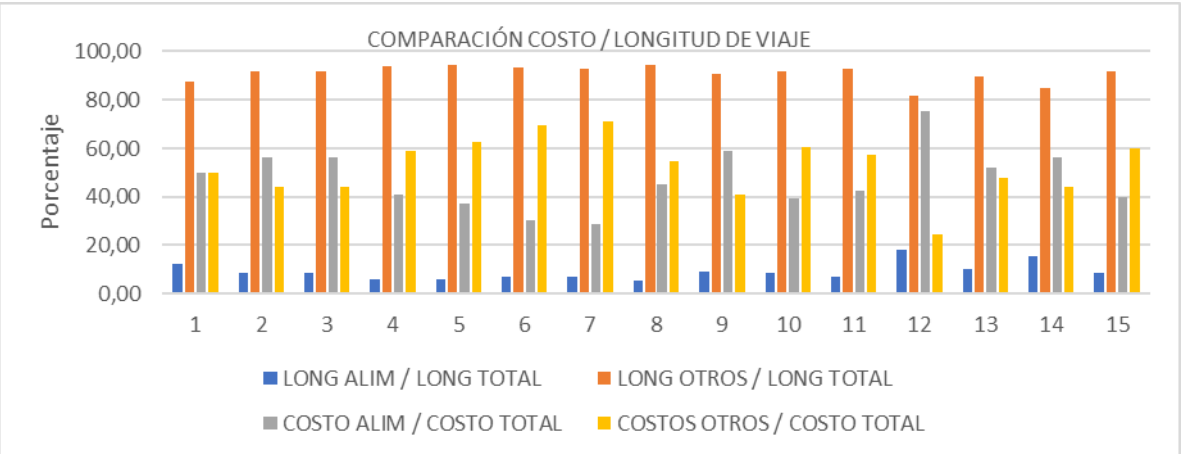


Imagen 15. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD2

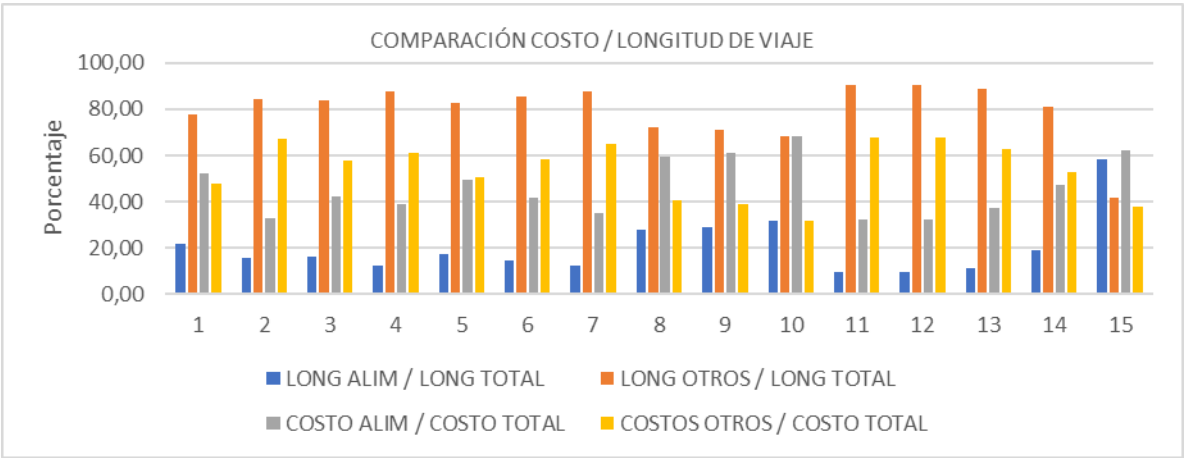


Imagen 16. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD2

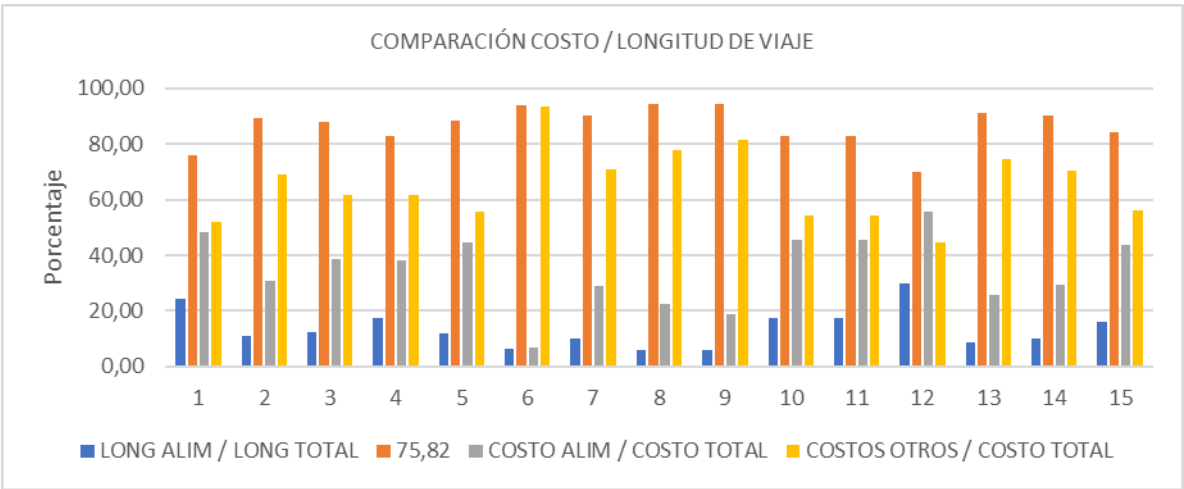


Imagen 17. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD4

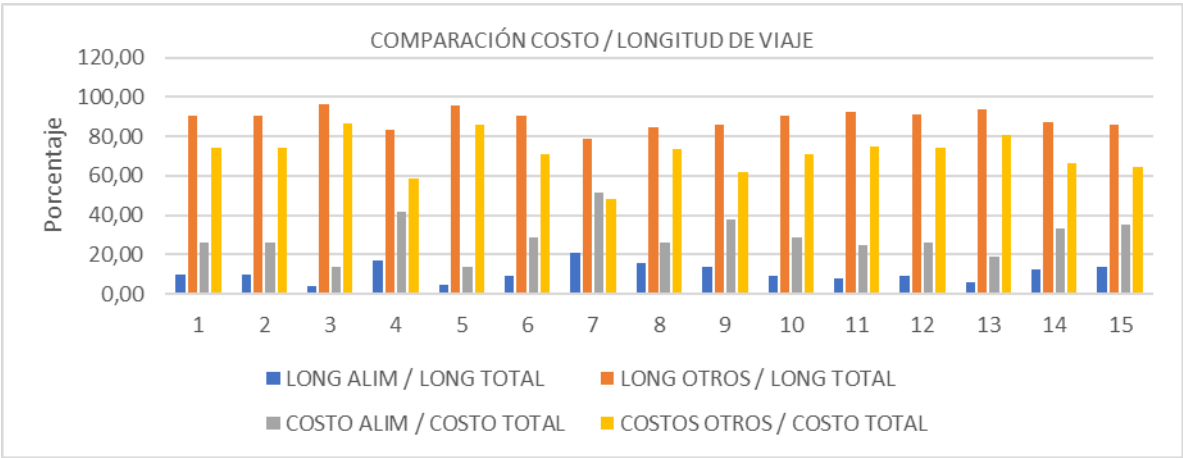


Imagen 18. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD4

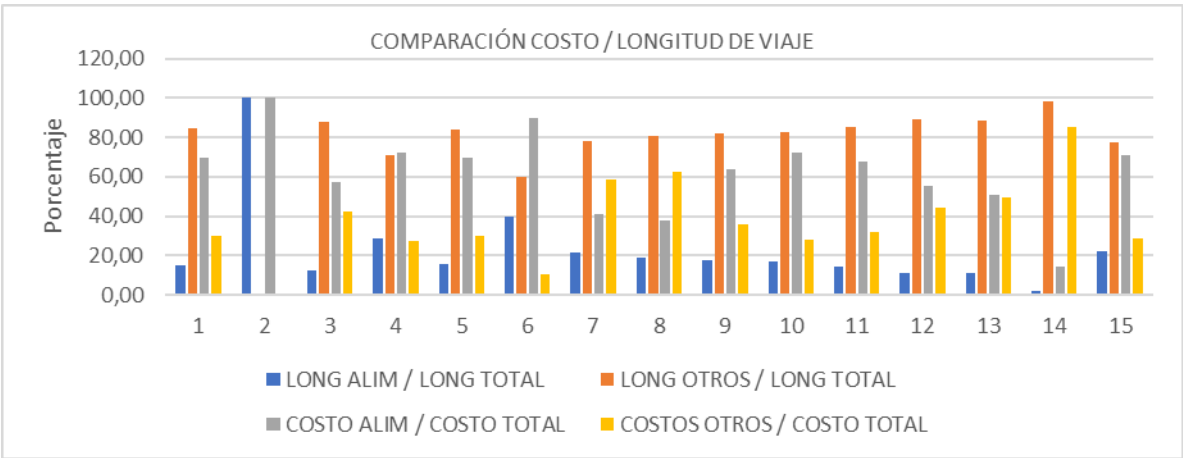


Imagen 19. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora pico en la ruta APD6

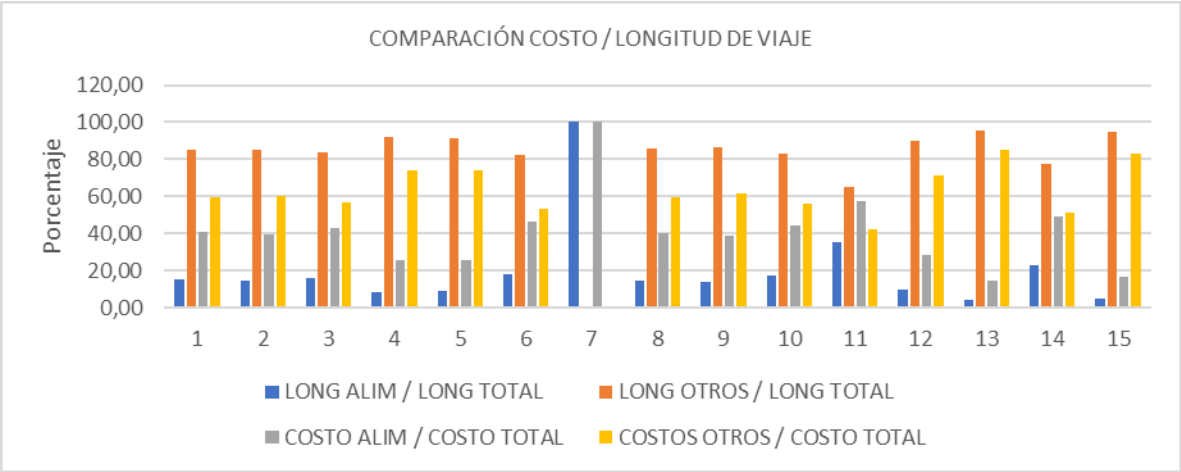
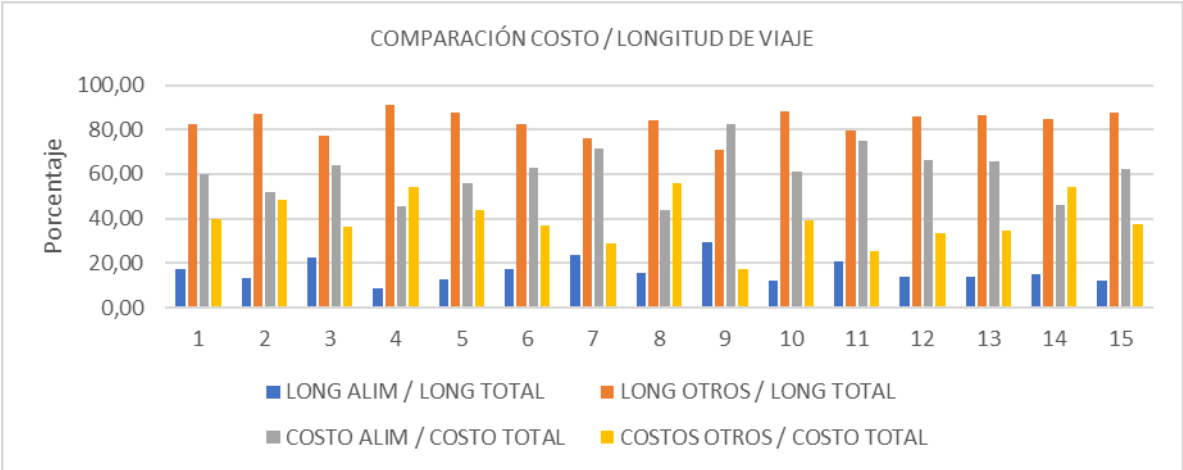


Imagen 20. Comparación de costo vs la longitud de viaje durante la hora valle en la ruta APD6



4. CONCLUSIONES

- Según lo observado en las gráficas comparativas de longitudes de viaje de los usuarios y las longitudes de recorrido de ciclo de las rutas, se evidencia que la ruta alimentadora AB1 presenta la peor eficiencia en su longitud del ciclo pues el 90% de los usuarios sólo recorren el 25% del ciclo, haciendo que del 50% del ciclo restante sea prácticamente obsoleto. Esto se debe a que los usuarios de esta ruta principalmente son estudiantes de la universidad de Santander (UNDES) o de la universidad autónoma de Bucaramanga (UNAB); esta ineficiencia tiene un efecto negativo en las ganancias potenciales que generan los usuarios que en algún punto de su itinerario toman la ruta AB1.
- Se observa en la Gráfica 2 que el ciclo de la ruta APD1 presenta una mejor distribución, dado que el 47.4% de los usuarios recorren entre el 40% y 60% de la ruta y otro 20% está dividido entre el 70% y 90% del ciclo de la ruta; similar comportamiento al de la ruta alimentadora APD4, la cual acumula entre el 40% y el 60% de la longitud del ciclo el 50% de los usuarios. Este relativo equilibrio en la eficiencia de la longitud del ciclo se evidencia en las ganancias generadas al sistema por estas rutas siendo 48.7% para la ruta APD1 y el 43.8% para la ruta APD4 de lo recaudado debido a los usuarios que en algún punto de su itinerario hacen uso de estas rutas.
- Se observa en la Gráfica 5 que el 44.6% de los usuarios que en algún momento de su itinerario toman la ruta APD6 está entre 0% y 30% del total del ciclo de dicha ruta, el porcentaje de usuarios restante está entre el 30% y el 60% del ciclo de la ruta, adicional a la baja eficiencia de la longitud del ciclo está el efecto negativo que genera el IPK en la hora valle (el cual es igual a 1), estos dos factores generan una ganancia crítica en la que apenas se ve reflejado el 3% de lo recaudado debido a los usuarios que en algún punto de su itinerario hacen uso de esta ruta.
- Según la Tabla 16 ninguna de las rutas alcanza al menos el 50% de ganancias, lo cual para una empresa de la magnitud de Metrolínea es una ganancia muy baja.

- Alrededor del 30% de los usuarios que se movilizan en las rutas AB1, APD1 y APD2 consideran que van a una velocidad que está entre el 50% y el 70% de la velocidad comercial de las rutas lo cual se considera insuficiente considerando que la velocidad comercial ya tiene en cuenta todos los tiempos de congestión (semáforos, ascenso y descenso, tráfico lento, entre otros), lo anterior se traduce en una percepción negativa o de nivel de servicio bajo para el usuario.
- Alrededor del 70% de los usuarios que se movilizan en las rutas APD4 y APD6 consideran que van a una velocidad mayor al 80% de la velocidad comercial de las rutas lo cual se considera sobresaliente y se traduce en una percepción del nivel de servicio buena.
- Según las gráficas de la 11 a la 20, el costo generado por un usuario en las rutas alimentadoras estudiadas es muy similar e incluso en muchas ocasiones mayor que el costo generado en las demás rutas abordadas en un mismo itinerario, este comportamiento se vuelve aún más crítico en la hora valle; teniendo en cuenta que las distancias recorridas en las rutas alimentadoras son típicamente menores que las recorridas en las otras rutas se llega a la conclusión de que el sistema de alimentación es un foco de la baja eficiencia económica del sistema.

5. RECOMENDACIONES

La ruta AB1 presenta gran ineficiencia en su longitud de ciclo, se recomienda acortarla al 50% y dejar el alimentador funcionando para que cumpla la demanda de cerca del 100% de los usuarios que la implementan; para garantizar la cobertura al restante 50% de su ciclo adjudicar esta zona al transporte público colectivo convencional ya operativo.

Realizar un estudio por tramos en los que se evidencie el bajo porcentaje de afluencia de pasajeros para cada ruta, para identificar las secciones del ciclo de las que se puede prescindir.

Considerar adjudicar la alimentación dentro del municipio de Piedecuesta a las rutas de transporte público convencional ya que estas presentan un costo operacional por kilómetro de \$1920.32 el cual está muy por debajo del costo operacional por kilómetro de los alimentadores del SITM (3780.72).

BIBLIOGRAFÍA

ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. Resolución No. 000435 del 31 de agosto, 2016. Recuperado de:

http://www.concejodebucaramanga.gov.co/descargas/RESPUESTA_3_AMB_RES_PUESTASAPREGUNTAS.pdf

CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL 3260. Política nacional de transporte urbano y masivo. Bogotá, D.C. 2003, p. 9.

DELGADO MÉNDEZ, Jaime David y GUTIÉRREZ PÉREZ, Arnold Javier. Diagnóstico general del sistema de transporte masivo mediante la revisión operacional de las rutas APD1, APD2 APD4, APD6, APD7 Y APD. Tesis de pregrado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas, 2017, 62p.

Highway Capacity Manual, HCM. Washington, D.C. Diciembre 2000.

MÉNDEZ, Douglas. Maestría en vías terrestres, Propedéutico. Curso: Ingeniería de tránsito [en línea]. Universidad Nacional de Ingenierías. 2009. (Consultado el 17 de marzo de 2018). Disponible en:

<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/velocidad-ingenieria-de-transito.pdf>

RINCÓN CARVAJAL, Laura Nathalia y URQUIJO ROCHA, Carolina. Diagnóstico general del sistema de transporte masivo mediante la revisión operacional de las rutas P1, AB1, AB2 Y AB3. Tesis de pregrado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas, 2017, 69p.

SOLANO, María. Sistema de transporte masivo, un modelo en aprietos [en línea]. La República. Bogotá. (24 de septiembre de 2013). [Consultado: el 20 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/sistemas-de-transporte-masivo-un-modelo-en-aprietos-2063891>

TORRES, Mariela y SALAZAR Federico G. Tamaño de una muestra para una investigación de mercado, Primera edición, p. 9-12.

VELOSA, Milton. Estas son las tarifas de taxi, bus y Metrolínea para 2018 en Bucaramanga [en línea]. Vanguardia. Bucaramanga. (29 de diciembre de 2017). [Consultado: el 22 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/estas-son-las-tarifas-de-taxi-bus-y-metrolinea-para-2018-en-bucaramanga-BDvI420010>