



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Planificación De Transporte Público Colectivo a partir de los ITS

Autor

Juan Pablo Gómez Hernández

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería Civil (Escuela
Ambiental)
Medellín, Colombia
2020**



Planificación De Transporte Público Colectivo a partir de los ITS

Juan Pablo Gómez Hernández

**Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil**

Asesor

**Hernán Darío González Zapata
Ingeniero Civil**

**Facultad de Ingeniería Civil (Escuela Ambiental)
Medellín, Colombia
2020**

CONTENIDO

1	Introducción.....	7
2	Objetivo General.....	8
2.1	Objetivos Específicos.....	8
3	Marco Teórico.....	8
3.1	Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).....	8
4	Metodología.....	13
5	Resultados y análisis.....	14
5.1	Diagnóstico Del Servicio Actual.....	14
5.1.1	Marco jurídico – Condiciones operacionales.....	14
5.1.2	Descripción general de la operación actual.....	15
5.1.3	Parque automotor.....	15
5.1.4	Pasajeros Movilizados.....	16
5.1.5	Análisis de movilidad promedio diaria durante 5 años.....	16
5.1.6	Análisis mensual (Datos 2019).....	18
5.1.7	Análisis semanal (Datos 2019).....	18
5.1.8	Análisis promedio diario (Datos 2019).....	20
5.1.9	Viajes por mes realizados por día en el mes de abril 2019.....	20
5.1.10	Viajes por semana.....	21
5.2	Análisis del ITS.....	22
5.2.1	Puntos y frecuencias de despacho.....	22
5.2.2	Rotación de demanda.....	23
5.2.3	Ocupación del vehículo.....	26
5.3	Resumen condiciones de operación actual.....	27
5.4	Índice de pasajeros por kilómetro.....	27
6	FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA.....	28
6.1	Análisis de tiempos de viaje.....	28
6.2	Diseño operacional.....	29
6.3	Selección de alternativa.....	30
7	PLANEACIÓN DE CIUDAD.....	31
8	Conclusiones y recomendaciones.....	32
9	Referencias Bibliográficas.....	34

Lista de figuras

Figura 1. Recorrido actual ruta	15
Figura 2. Movilización promedio diaria (2014 – 2019).....	17
Figura 3. Movilización mensual de la ruta 2014-2019.	17
Figura 4. Movilización mensual año 2019.	18
Figura 5. Movilidad semana típica 2019 por día.....	19
Figura 6. Movilización promedio por tipo de día de la ruta respecto a los días típicos (2019).	19
Figura 7. Movilidad diaria ruta año 2019.	20
Figura 8. Número de viajes realizados en el mes abril 2019.	21
Figura 9. Número de viajes realizados en semana típica 2019.	21
Figura 10. Ubicación de los puntos de control.....	22
Figura 11. Pasajeros movilizados en el día.	23
Figura 12 Hora de máxima demanda (am).	24
Figura 13. Análisis rotación de la demanda (AM)	25
Figura 14. Análisis rotación de la demanda (PM).....	26
Figura 15. Análisis de capacidad del servicio.	26
Figura 16. Principales puntos de origen.....	32
Figura 17. Principales puntos de destino.	32

Lista de tablas

Tabla 1. Aplicaciones de las ITS	9
Tabla 2. Iniciativas, estudios exploratorios y programas para la incorporación de ITS	10
Tabla 3. Condiciones operacionales de la ruta.....	14
Tabla 4. Parque automotor	16
Tabla 5. Rotación de la demanda de un viaje de un bus de la ruta.....	24
Tabla 6. Condiciones operativas. de la Ruta.	27
Tabla 7. Tráfico usual alternativas de ruta modificada.	28
Tabla 8. Tiempo de viaje y velocidad promedio ruta modificada.....	29
Tabla 9. Diseño operacional Alternativas propuestas.	29
Tabla 10 Análisis de alternativas.	30



PLANIFICACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO A PARTIR DE LOS ITS

Resumen

El colapso de la malla vial existente en la ciudad de Medellín es una realidad, debido al crecimiento exponencial del parque automotor de esta y sus regiones aledañas, las cuales registran gran cantidad de viajes hacia diferentes lugares de la ciudad a diario. Esto ha hecho que los tiempos de viaje hayan aumentado y la velocidad promedio de desplazamientos sea la más baja hasta el momento, incluyendo al transporte público colectivo, el cual hace uso de dicha infraestructura. Esta problemática afectó de manera directa al transporte público colectivo, haciendo que las frecuencias de despacho de buses que se tienen estipuladas en el plan operativo de cada empresa no se cumplan en campo. Estas inconsistencias en el servicio hacen que las personas pierdan la confianza en el servicio y por ende la demanda de usuarios esté afectada y no mejore si la empresa no normaliza sus tiempos de viaje y despachos.

En este proyecto de semestre de industria se analizó una ruta de transporte público colectivo de la ciudad de Medellín, la cual mostró una baja en su demanda en los últimos años. Primero, se realizó un diagnóstico con el fin de conocer el estado actual de su operación. Luego, se obtuvieron datos como lo son su parque automotor, movilizaciones (cantidad de pasajeros transportados), despachos (vehículos por hora), tiempos de viaje y rotación de la demanda partiendo de datos capturados por los ITS (Intelligent Transport System) instalados en los vehículos. Estas variables, como se mencionó anteriormente, se esperaba que hubieran sido afectadas por la problemática de la ciudad.

Luego de obtener el diagnóstico, se obtuvo que sí tenía una baja considerable en la demanda de la ruta de transporte colectivo y un aumento considerable del tiempo de viaje desde años anteriores, haciendo que los despachos hayan sido afectados. Partiendo de esta problemática se determinaron los factores que más afectaron el tiempo y velocidad de viaje de la operación y luego se realizaron recomendaciones para la mejora del rendimiento de la ruta.

Se mencionó además que la planeación de transporte público colectivo a partir de los ITS debe hacerse de manera macro involucrando todos los actores viales, utilizando información actualizada diariamente. Así las soluciones de movilidad que se planteen serán acordes con la dinámica real que existe en la Ciudad.

1 Introducción.

La planificación de ciudad, específicamente del transporte público, ha tomado gran relevancia en los últimos años debido a la densificación que han tenido las ciudades, el crecimiento del parque automotor privado y el colapso de la infraestructura vial existente. Ante la ausencia de planificación, en las ciudades, sólo se puede reaccionar a los acontecimientos sin saber los impactos y sus consecuencias, se deben improvisar soluciones no programadas que resultan altamente costosas para la población.

Anteriormente, el análisis del transporte público colectivo debía hacerse manualmente, con toma de datos en registradoras y análisis de sube y baja capturados con personal en campo, haciendo que fuera una actividad costosa y de poca confiabilidad en los datos. Con los ITS esta tarea se hace de manera automatizada con matrices de información enviadas por los sensores y GPS instalados en los vehículos.

Los ITS (Intelligent Transport System) aparecen gracias a la existencia de nuevas tecnologías, entre los que se encuentran los sensores y sistemas GPS, que permiten conocer en tiempo real la cantidad de pasajeros que moviliza un vehículo de transporte público colectivo y su ubicación espacial.

En este proyecto de Semestre de Industria, se analizan datos capturados por los ITS, de una ruta de bus en la ciudad de Medellín, con el fin de realizar un diagnóstico del servicio actual, y así evidenciar los problemas de demanda que presenta la ruta. Siendo esta la base para una posterior planificación del transporte público colectivo que permita mitigar posibles problemas y plantear mejoras.

Las mejoras se plantean a partir del diagnóstico realizado el cual parte los datos arrojados por los ITS. Se desconocen factores en campo que puedan afectar dichos datos, como lo son mal funcionamiento de equipos en los vehículos o conductas irregulares por parte los operadores de la ruta.

La metodología se basa en la obtención de datos secundarios de la ruta, resolución vigente, condiciones operacionales, parque automotor. Luego, a partir de los datos primarios del ITS, se realiza un procesamiento de la información para obtener las movilizaciones, rotación de la demanda y demás variables importantes como tiempo y velocidad de viaje. Finalmente, se plantean las recomendaciones y mejoras.

Desde la percepción de este semestre de industria, se evidencia una falta de planeación de transporte público colectivo desde la administración al no hacer uso de la información de los ITS, la cual es enviada a las autoridades de movilidad desde los vehículos. Por eso se plantea que los avances alcanzados en este proyecto sirvan como base para la implementación de esta metodología en la toma de decisiones respecto a la movilidad de la región.

2 Objetivo General.

Analizar las condiciones de la oferta de transporte público colectivo basado en herramientas ITS (Intelligent Transport System), tomando como ejemplo el estudio de una ruta de buses de la ciudad de Medellín, Antioquia.

2.1 Objetivos Específicos.

- I. Analizar las condiciones actuales de la ruta ofrecida en la ciudad de Medellín.
- II. Procesar y analizar los parámetros operacionales de la ruta, mediante la información de los ITS los cuales arrojan información completa y detallada del servicio, como información de rotación de la demanda, pasajeros movilizados, tramos más cargados y tiempo de viaje.
- III. Realizar el Diseño Operacional de la Ruta.
- IV. Brindar recomendaciones generales sobre las alternativas de mejoramiento requeridas para la definición de la ruta en estudio.

3 Marco Teórico

3.1 Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

El control del transporte público colectivo se ha beneficiado gracias a la cuarta revolución industrial, la cual se basa en sistemas ciberfísicos, que combinan infraestructura física con software, sensores, nanotecnología y tecnología digital de comunicaciones. Es aquí donde aparecen los ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte). Amado Crotte, Carina Arvizu, Carlos

Mojica e Isabel Granada (2017) señalan que estos son la aplicación combinada de tecnologías de la comunicación en el sector del transporte y se menciona que algunas de las aplicaciones de los ITS son:

Tabla 1. Aplicaciones de las ITS

Transporte Urbano Sostenible	<ul style="list-style-type: none"> • Pago electrónico de servicios de transporte • Información al viajero
Transporte Interurbano	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de fiscalización y control de tráfico • Gestión de la demanda de vehículos • Gestión de flota
Carga y Logística	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización de trámites en fronteras
Seguridad Vial	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de tráfico e incidentes • Sistemas avanzados de seguridad en el vehículo

Fuente: Amado Crotte, Carina Arvizu, Carlos Mojica e Isabel Granada (2017).

Adicional a esto, aseguran que el costo de implementar aplicaciones ITS es de bajo costo, comparado con construir infraestructura, y así como se menciona en la introducción de este documento, la planificación de ciudad, en este caso del transporte público desde los ITS, evitan gastos en problemas no identificados previamente. Los desafíos a los que se enfrentan las ITS en transporte público se tratan de eficiencia vial, en donde se fomente el transporte ágil, seguro y sostenible.

La investigación será la base para entender la manera en que las ciudades puedan llegar a la movilidad inteligente. (Social, 2016, p.5) Las ciudades inteligentes son aquellas capaces de articular todos los sistemas que la componen de manera eficiente, con ayuda de la tecnología haciendo que esta trabaje de manera sostenible. Deloitte (2015) afirma que:

“Ciudad Inteligente es la visión holística de una ciudad que aplica las ITS para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinar y se adapta en tiempo real a sus necesidades, de forma eficiente en calidad y costes, ofreciendo datos abiertos, soluciones y servicios orientados a los ciudadanos como personas, para resolver los efectos del crecimiento de las ciudades, en ámbitos públicos y privados, a través de la integración innovadora de infraestructuras con sistemas de gestión inteligente” (p13).

A continuación, se muestran algunas ciudades del mundo que han adoptado las ITS como herramienta para la mejora de la movilidad, incluyendo Medellín, ciudad del presente estudio.

Tabla 2. Iniciativas, estudios exploratorios y programas para la incorporación de ITS

Ciudad / País	Iniciativas, programas y estudios exploratorios
Medellín, Colombia	Centro Integrado de Tráfico y Transporte, en cooperación con gobierno de Corea del Sur. Este centro usa aplicaciones, páginas web para que las personas conozcan el estado de la movilidad y la instalación de pantallas para ver el tiempo de espera de los buses y el estado de las calles para hacer desvíos en casos de congestión.
New York, EE.UU	Entorno ITS, gestión activa del tráfico con el control de señal adaptativo de régimen múltiple, consiste en una combinación de estrategias de control en tiempo real, que van desde la regulación estratégica de la demanda de tráfico a equilibrar colas en intersecciones críticas. Los datos de tiempo de viaje a gran escala se recopilan en tiempo real para un control efectivo. El sistema alerta a los automovilistas sobre incidentes en autopistas y sugerir rutas alternativas utilizando signos de mensajes, comunicación en tiempo real con otras agencias regionales relacionadas con la movilidad. (Wuping, 2012)
San francisco, EE.UU	Iniciativa para servicios de movilidad personalizada en tiempo real según las necesidades y características del viajero, gestionar la oferta y la demanda de estacionamiento y precio a través de la aplicación, servicios innovadores de coincidencia de viajes compartidos, cultura de uso compartido ocasional, identificación e implementación de carriles de alta ocupación (HOV) basados en datos de usuarios mediante crowdsourcing, modelado de la demanda de viajes, y simulaciones Infraestructura de carril HOV, detectores de ocupación vehicular, iniciativa de vehículos conectados. (Transportation, s.f.)
San Antonio, EE.UU	Sistema de Control de Tráfico Adaptativo, con cámaras termo gráficas para la gestión del tráfico y transporte. Prioridad de señal de tráfico, software de gestión de tráfico, nuevos autobuses "PRIMO" usan sistema de localización automatizado con GPS para generar un aporte colectivo de información en tránsito y transporte, transmite datos de ubicación del autobús cada tres segundos, para solicitar una extensión de luz verde desde controlador de semafórico. (SIEMENS, 2014)
Tampa, FL, EE.UU	Sistemas ITS, permiten que vehículos y peatones se comuniquen con la infraestructura de tráfico, como

Ciudad / País	Iniciativas, programas y estudios exploratorios
	intersecciones y semáforos en tiempo real, para reducir la congestión específicamente durante la hora pico. (SIEMENS, s.f.)
Seattle, Washington, EE.UU	ITS para vincular los sistemas de planificación y control de tráfico, para aprovechar mejor la infraestructura vial existente, disminuir el impacto de incidentes de tráfico importantes, gestionar mejor el tráfico y reducir la congestión. (SIEMENS, s.f.)
Texas, Lancaster, California y Arizona, EE.UU	Sistema de Control de Tráfico Adaptativo, con cámaras termo gráficas para la gestión del tráfico y transporte. (FLIR, s.f.)
Maryland, EE.UU	Sistema de Control de Tráfico Adaptativo, utilizando detectores de presencia peatonal para aumentar la seguridad en los cruces, detectar cada persona a medida que se acerca al paso de peatones desde cualquier lado, sin requerir que presionen un botón. (FLIR, s.f.)
Colorado Springs, EE.UU	Las autoridades de Colorado han tenido la misión de reemplazar los bucles de pavimento con tecnología de detección de video para control de tráfico. El plan ha tenido el efecto deseado y los costos han bajado con sistemas de tráfico adaptativo, para el análisis y recolección de datos en tiempo real. (FLIR, s.f.)
Rusia	Iniciativa de vehículos conectados, desde 2017 es obligatorio para los autos nuevos, ser equipados con el sistema "Eraglonass" para combinar las comunicaciones móviles y el posicionamiento por satélite y proporcionar asistencia rápida a los automovilistas en caso de un accidente.
Moscú, Rusia	Sistema adaptativo de tráfico con sensores de presencia vehicular, sensores de tráfico basados en radiofrecuencia, sistemas CCTV, sistema de paneles de mensaje variable con información de gráfica de niveles de servicio, sistema de detectores virtuales, sensores de tráfico basados en análisis de vídeo, radares de foto detección y equipos DAI para detección de incidentes a cielo abierto (vehículos parados, circulando en sentido contrario, peatones por la vía, etc.).

Fuente: El autor basado en documentos de Transportation, s.f., FLIR, s.f, SIEMENS, s.f., SIEMENS, 2014, SIEMENS, 2016., SICE, s.f., Zhao, et al. 2015., IBM, 2007., Perini, 2014., Singer, 2012., Ortiz, 2017., Broderick, 2017., Smith, 2017., Gurko, 2017., Pérez, 2017., Hayashino, 2017., Uraín, 2017., Airey, 2017., Tecma, 2017, Wuping, 2012, Forum, 2015, ITSchile, s.f., C&M-Idom, 2017., Flórez, 2016., Velásquez, 2010., Indra, 2013, Montería, 2018., Caracol, 2017., Indra, 2013., Eudeba, 2015.

Las ciudades inteligentes, para responder a las necesidades de transporte, analizan en tiempo real grandes volúmenes de datos que son exportados por los ITS cada día. Gracias al Big Data la información puede ser analizada en pro de tomar mejores decisiones. Blanco (2015) define: Se denomina Big Data a las tecnologías y procedimientos encaminados al aprovechamiento y explotación de toda la variedad de datos disponibles por una ciudad inteligente. La gran cantidad de datos acumulados procederán de aplicativos diferentes y seguramente estarán disponibles en los diferentes formatos que empleen estas aplicaciones, por ejemplo, antiguos aplicativos de GIS, bases de datos de diferentes fabricantes de software, datos tomados a mano, hojas Excel, etc. Estas grandes cantidades de datos son procesados con el fin de encontrar tendencias, problemas, e identificar oportunidades de mejoras del sistema. Por esta razón la ciudad de Medellín trabaja para tener una articulación entre su infraestructura física y los ITS. La autoridad de transporte afirma que gran porcentaje de vehículos de transporte público se han modernizado a la fecha, por lo cual el presente estudio partirá de datos recopilados por los ITS instalados en los vehículos.

La caracterización de tramos, es decir la rotación de la demanda en una ruta de transporte público colectivo, es posible a través de los sube y baja, la cual es una medición que sirve para conocer la ocupación de un vehículo a lo largo de su recorrido. Anteriormente, este análisis, debía hacerse manualmente, con toma de datos en registradoras y análisis de sube y baja capturados con personal en campo, haciendo que fuera una actividad costosa y de poca confiabilidad en los datos. Con los ITS esta tarea se hace de manera automatizada con matrices de información enviadas por los sensores y GPS instalados en los vehículos.

Para el análisis se deben definir previamente los puntos de la ruta desde los cuáles los ITS recolectan los datos para al final del día enviarlos a los centros de control. Las matrices de información que se envían a los centros de control se analizan para determinar la rotación de la demanda en la ruta. Se determinan cuántas personas suben en cada tramo, cuántas se bajan, y cuántas permanecen a bordo con lo cual se puede conocer la ocupación promedio del vehículo. Con la caracterización de demanda en los diferentes puntos de la ruta se pueden determinar cambios en el recorrido, reducción de kilómetros recorridos y mejoras en el tiempo de viaje sin afectar la movilización de pasajeros.

4 Metodología

La metodología de trabajo contempla la realización de las siguientes actividades:

- I. Recopilación de Información Secundaria (Marco jurídico).
- II. Trazado del recorrido en herramientas SIG.
- III. Capacidad transportadora y tipología vehicular de la flota, tomados de la resolución vigente.
- IV. Datos de los ITS (movilización de pasajeros, tiempo de viajes, despachos, entre otros) para una semana típica de movilización de la ruta.
 - Datos obtenidos por el sistema de control de pasajeros "Autocontrol".
 - Semana típica del año 2019.
- V. Procesamiento y análisis de la Información.
 - Una vez recopilada y procesada la información mencionada en el anterior numeral, se procederá con el análisis estadístico y la identificación de las principales variables a tener en cuenta para la propuesta del servicio, con el fin de identificar su comportamiento en el servicio actual y proyectarlo para la resolución de una problemática existente o posibles mejoras.
 - Análisis de la demanda de pasajeros en la ruta con el fin de determinar la viabilidad de la ruta.
 - Caracterización de los tramos de mayor demanda con el concepto Sube y Baja el cual permite determinar la rotación de la demanda en todo el recorrido en las diferentes horas del día.
- VI. Diseño operacional de los servicios.
 - A partir de la información proporcionada por los ITS y la definición de los parámetros operacionales, se realizará el Diseño Operacional. Para este diseño se utilizan hojas de cálculo y análisis estadísticos para determinar la longitud de viaje, tiempo de viaje, hora de máxima demanda y parque

automotor requerido para que el número de vehículos por hora suplan la demanda de usuarios en el servicio.

VII. Conclusiones y Recomendaciones.

- Una vez analizada la información se realizarán las conclusiones correspondientes según los resultados obtenidos, así como las recomendaciones respectivas.

5 Resultados y análisis

5.1 Diagnóstico Del Servicio Actual

5.1.1 Marco jurídico – Condiciones operacionales

La empresa tiene autorizado el recorrido de la ruta por resolución, en donde se aclaran las frecuencias y capacidades, incluyendo también el tipo de vehículos que se usarán, los cuales son tipo bus, quedando autorizada con una capacidad mínima de 14 vehículos y una máxima de 17 vehículos.

Tabla 3. Condiciones operacionales de la ruta

Sistema de Rutas:	Número de ruta				Código	Tipo de Veh.	Cap. Mín.	Cap. Máx.
Código:						BUS	14	17
Nombre:	Ruta Ciudad de Medellín				EMPRESA PRESTA SERVICIO			
Tipo:	Directa				Nombre de la empresa			
Longitud:	12,801							
Dirección De Origen:								
Horario De Servicio:	De	4:30	A	23:30				
Tipo de Vehículo:	BUS							
Capacidad del Vehículo:	45 pasajeros							
FRECUENCIAS DE OPERACIÓN								
Día Normal Demanda		Sábado		Domingo		Festivo		
DÍA	HMD	DÍA	HMD	DÍA	HMD	DÍA	HMD	
142	12	142	12	71	6	71	6	

Fuente: Resolución 185 de 2017.

5.1.2 Descripción general de la operación actual

La longitud de la ruta – desde el Norte de la Ciudad es de 12,2 Km. Esta presta servicio desde las 5:00 horas, hasta las 21:00, hora en la cual es despachado el último vehículo. Para días festivos presta servicio desde las 5:30 horas, hasta las 20:15. El recorrido tiene una duración aproximada de 90 minutos por viaje.

Figura 1. Recorrido actual ruta



Fuente: Elaboración propia en Google Earth.

5.1.3 Parque automotor

Las rutas se prestan con 16 vehículos tipo buseta, con capacidades promedio de 25 pasajeros sentados y 31 pasajeros en promedio por vehículo. En la siguiente tabla se detallan las características del parque automotor de la ruta.

Tabla 4. Parque automotor

Clase	Cap. Pie	Cap. Sentados	ITS INSTALADO
Buseta	5	25	SI
Buseta	6	26	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	10	27	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	10	27	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	6	26	SI
Buseta	5	25	SI
Buseta	0	29	SI

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Pasajeros Movilizados

Se analizó el comportamiento de la demanda de pasajeros, dicho estudio se realizó durante el periodo comprendido entre el año 2011 y el 2019, donde se analizaron las movilizaciones totales diarias, semanales y mensuales de la ruta.

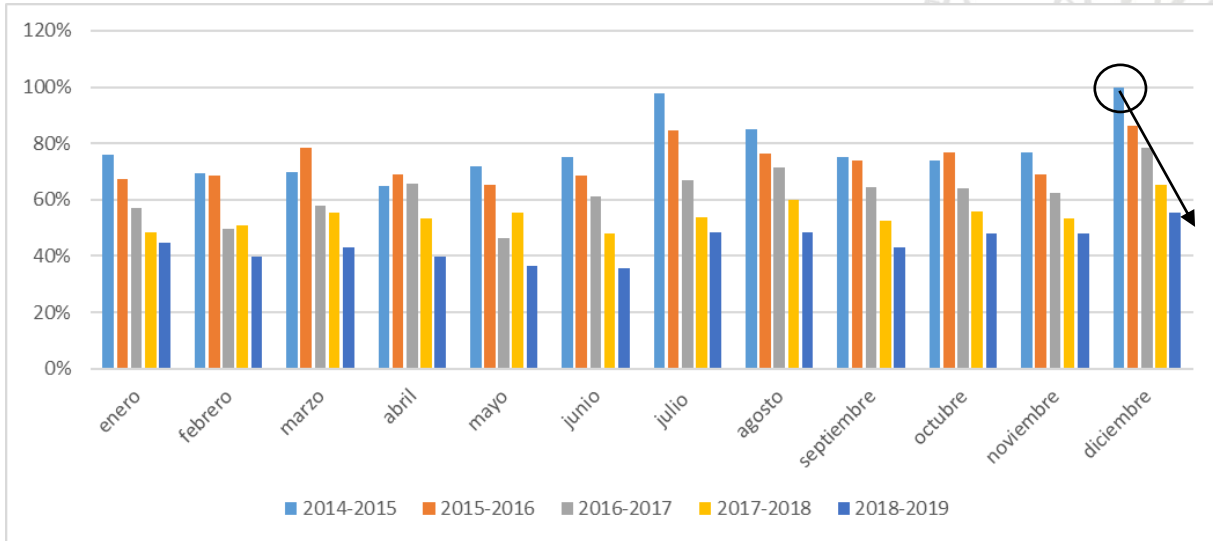
El análisis es realizado gracias a que cada uno de los vehículos, cuenta con los ITS (Intelligent Transport System), los cuales realizan el conteo de pasajeros, permitiendo obtener la base real de pasajeros movilizados de cada uno de los vehículos.

5.1.5 Análisis de movilidad promedio diaria durante 5 años

La gráfica que se muestra a continuación está en porcentajes, donde el 100% representa el promedio diario con mayor número de pasajeros movilizados por la ruta; es decir el valor máximo alcanzado durante el periodo de análisis. Este valor se alcanzó el mes de diciembre del año 2014, y respecto a este valor se comparan los demás promedios diarios.

Durante el periodo de tiempo definido, la ruta presenta la siguiente distribución, donde es evidente la disminución de pasajeros movilizados en cada año.

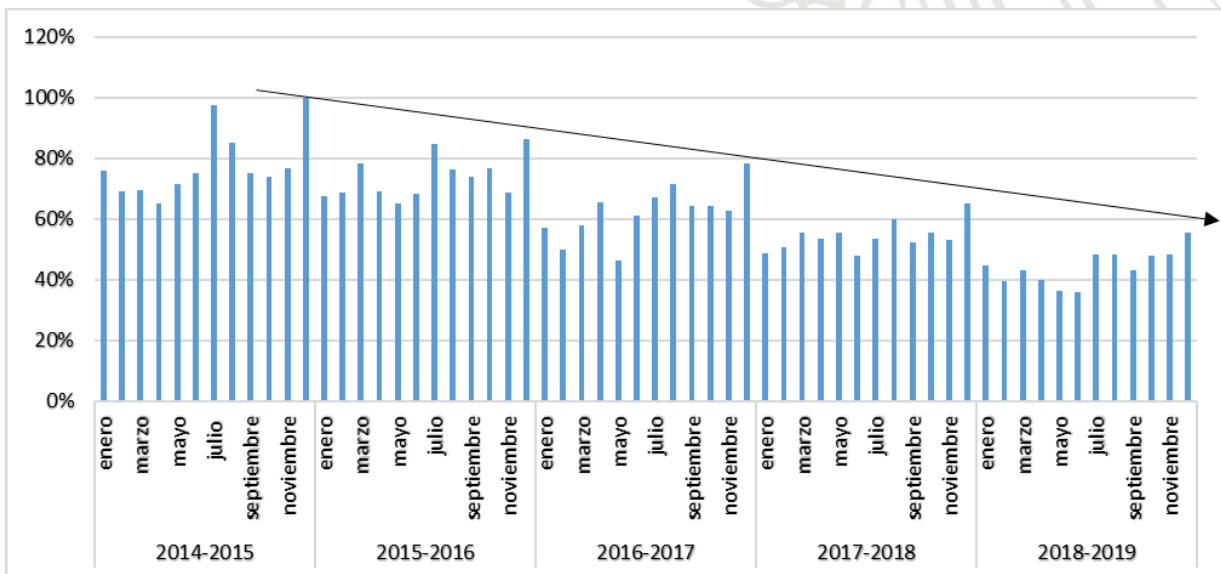
Figura 2. Movilización promedio diaria (2014 – 2019).



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el comportamiento, se observa que en general el mes de mayor movilización es el mes de diciembre, mientras que los meses que presentan un comportamiento inferior con respecto a la movilización de pasajeros de los demás meses, son los relacionados con épocas de vacaciones y que incluyen semanas atípicas en su análisis, como lo son enero, abril y junio.

Figura 3. Movilización mensual de la ruta 2014-2019.



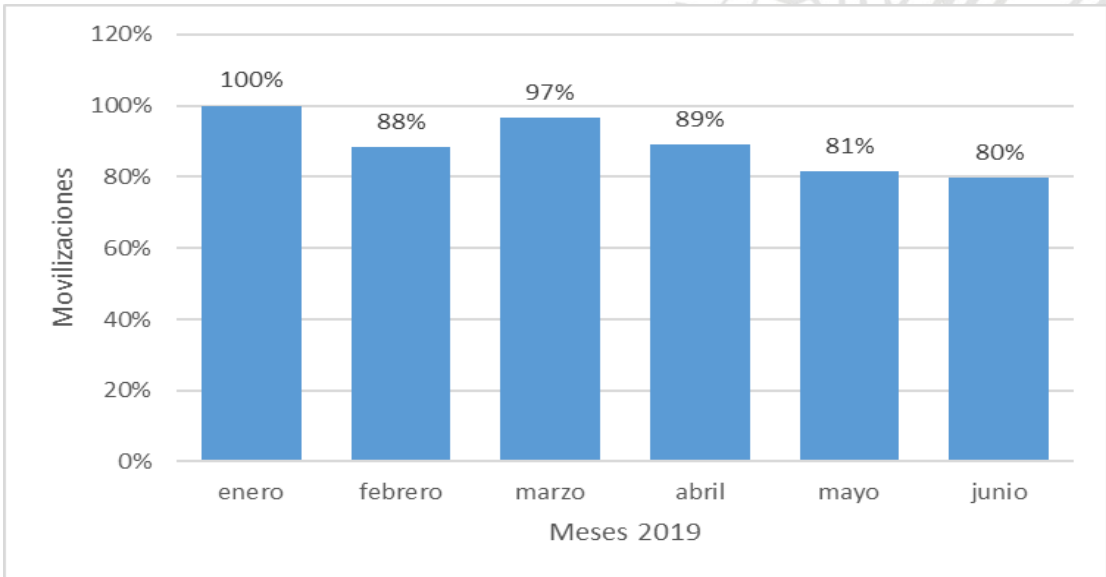
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de pasajeros movilizados mensualmente muestra al igual que la gráfica anterior que la ruta ha disminuido la cantidad de pasajeros transportados respecto al año 2014 donde se encuentran los valores mayores, y que el mes de mayor demanda es diciembre.

5.1.6 Análisis mensual (Datos 2019)

Al analizar el comportamiento mes por mes de la ruta, se observa que el mes de mayor movilización es el mes de enero, tomando este como referencia (100%), mientras que el mes de junio presenta la movilización más baja hasta ahora (80%) respecto al mes de mayor movilización.

Figura 4. Movilización mensual año 2019.



Fuente: Elaboración propia.

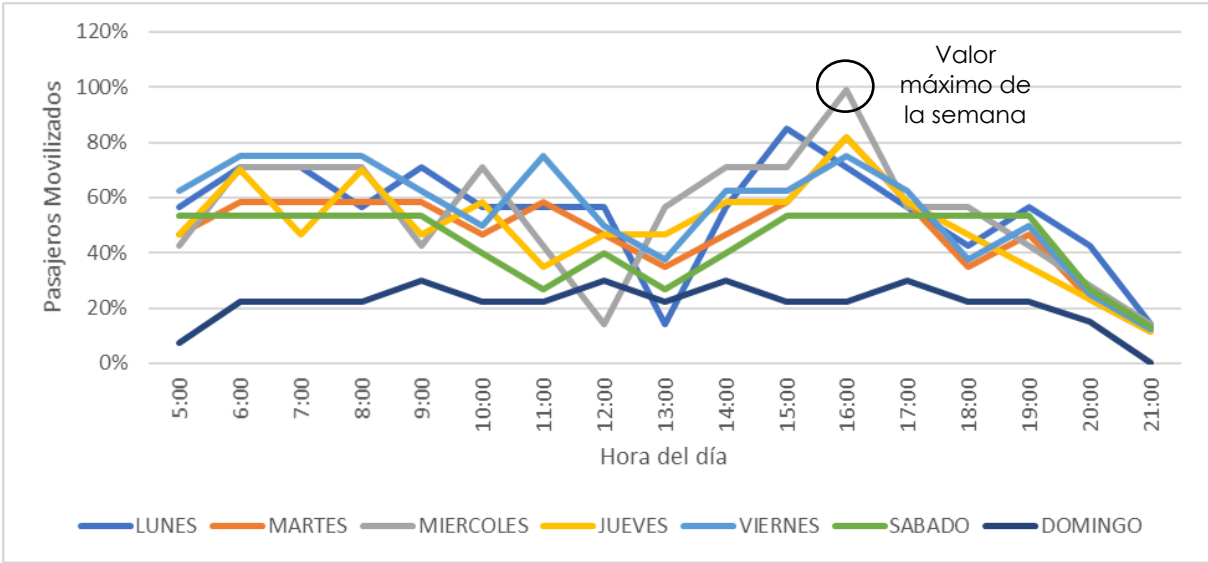
5.1.7 Análisis semanal (Datos 2019)

Para el análisis semanal se tomaron los datos diarios del año 2019, diferenciando los días típicos, atípicos, sábados, domingos y festivos. Los días atípicos básicamente son, inicios de enero, semana santa y periodo vacacional de mitad de año (junio y mitad de julio).

Entre los días de 01 y 07 de abril, se tiene una semana típica, donde se puede observar que en un día típico laboral en las horas pico de la tarde (16:30 – 17:30) se movilizan la mayor cantidad de pasajeros. A continuación, se presentan las movilizaciones respecto al miércoles, el cual presenta el

valor máximo de movilizaciones (100% de la gráfica) a las 16:00 horas de esa semana.

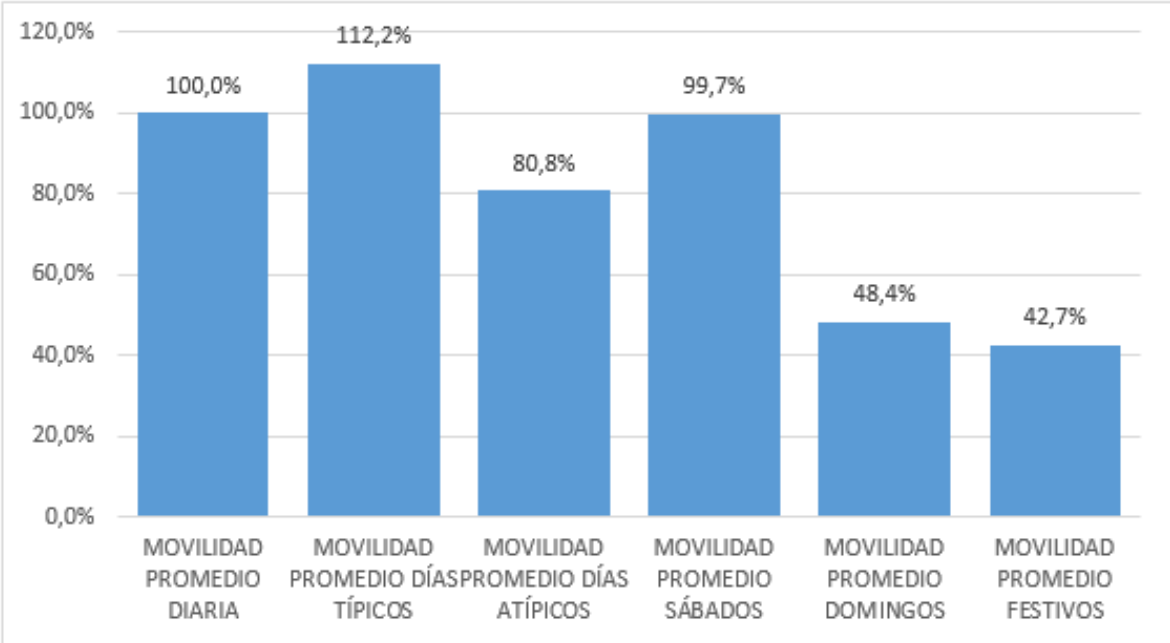
Figura 5. Movilidad semana típica 2019 por día.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el día domingo la movilización sólo representa un 20% respecto al día miércoles.

Figura 6. Movilización promedio por tipo de día de la ruta respecto a los días típicos (2019).



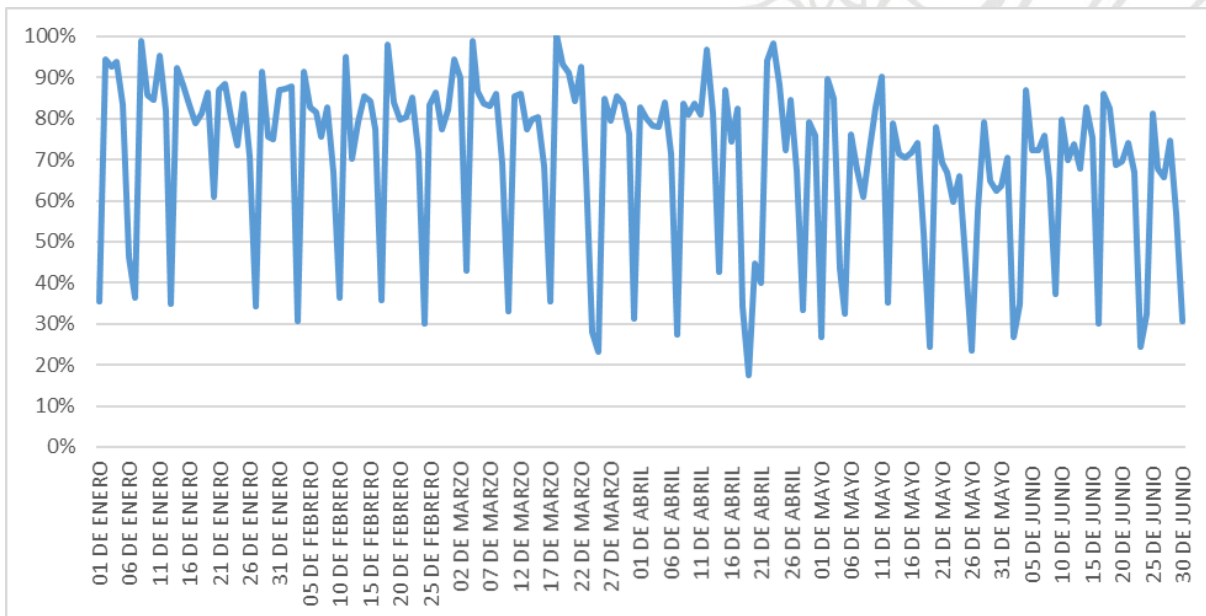
Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se representa la movilización promedio por tipo de día, en los cuales se tienen los días típicos, atípicos, sábados, domingos y festivos. El promedio diario anual representa en la gráfica el 100% de movilizaciones. Se puede evidenciar que los días típicos la movilización aumenta un 12% y los sábados tiene un comportamiento similar al promedio diario anual. Los días atípicos, y festivos la movilización baja significativamente.

5.1.8 Análisis promedio diario (Datos 2019)

En la siguiente figura se puede apreciar la movilización diaria desde el mes de enero hasta el mes de junio. El valor máximo histórico de movilización se da en un día típico laboral y representa el 100% de la gráfica que se muestra a continuación.

Figura 7. Movilidad diaria ruta año 2019.



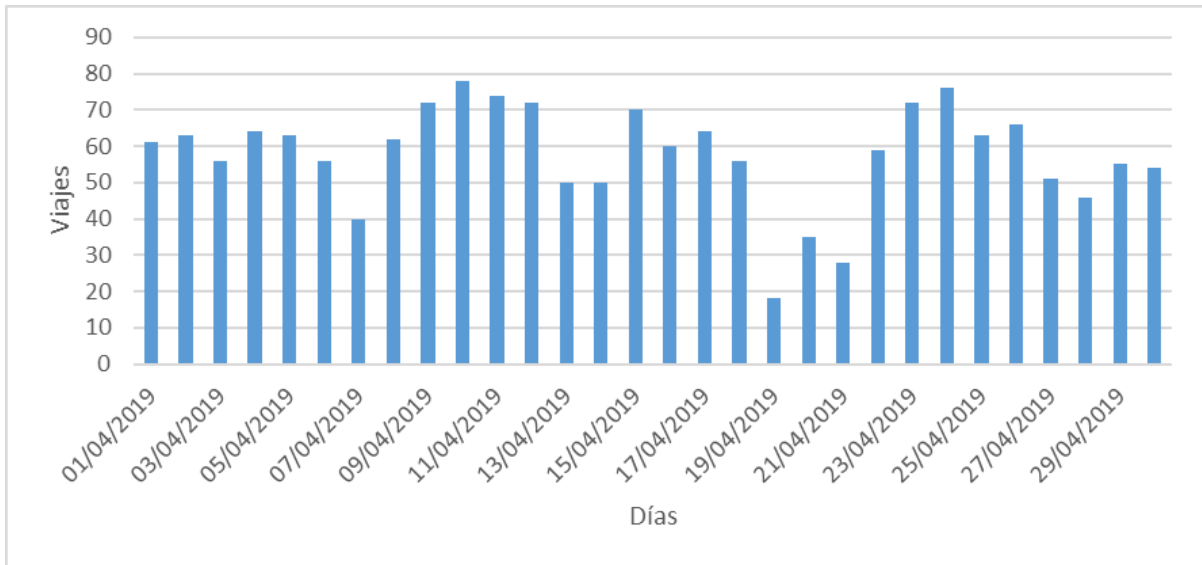
Fuente: Elaboración propia.

La movilidad diaria de la ruta permite hacer un seguimiento de la demanda del servicio prestado por la ruta. En este caso se observa que en la temporada de vacaciones la movilización de personas baja un poco respecto a los demás días.

5.1.9 Viajes por mes realizados por día en el mes de abril 2019

En la siguiente figura, viajes realizados en el mes de abril, se representan los viajes por día en la ruta.

Figura 8. Número de viajes realizados en el mes abril 2019.



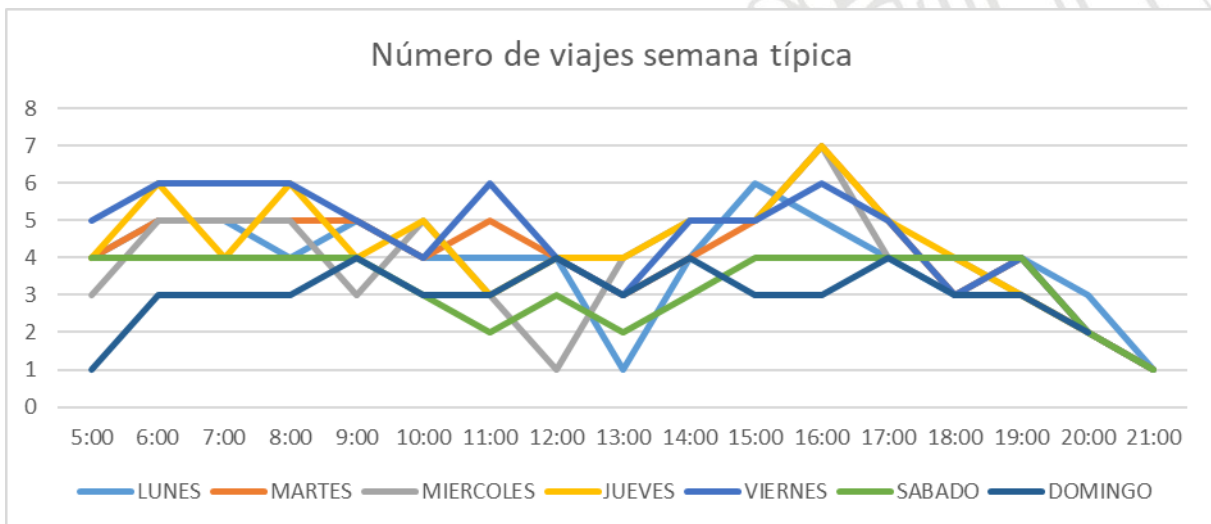
Fuente: Elaboración propia.

En la figura se observa que la cantidad de viajes realizados es afectada por las semanas atípicas encontradas en el mes, donde se observa que en la semana del 15 al 21 de abril disminuye el número de viajes debido a las celebraciones realizadas por Semana Santa.

5.1.10 Viajes por semana

En la siguiente figura, número de viajes realizados en semana típica, se representan los despachos por hora, es decir la cantidad de viajes.

Figura 9. Número de viajes realizados en semana típica 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en las horas de mayor demanda como lo son en la mañana de 6:00 y 8:00 horas y en la tarde que entre las 16:00 y 18:00 horas, se realizan en promedio 5 viajes. En las horas valle (12:00 – 14:00) y (19:00 – 21:00) baja la frecuencia con la que se despachan vehículos.

En una semana típica, al comparar los días, se evidencia además que en general se tiene un comportamiento uniforme, se reduce significativamente sólo el día domingo, debido a la disminución de la demanda del servicio.

5.2 Análisis del ITS

5.2.1 Puntos y frecuencias de despacho

La empresa cuenta con un sistema inteligente de transporte (siglas en inglés ITS) con el cual se puede tener una visualización en tiempo real de los lugares por los que pasa cada vehículo usando el sistema GPS, fecha, hora, subidas y bajadas de pasajeros, bloqueos, velocidad máxima; todo esto usando de la batería de respaldo. Las localizaciones de puntos de control están dadas de manera virtual y se muestran en la siguiente figura.

Figura 10. Ubicación de los puntos de control.



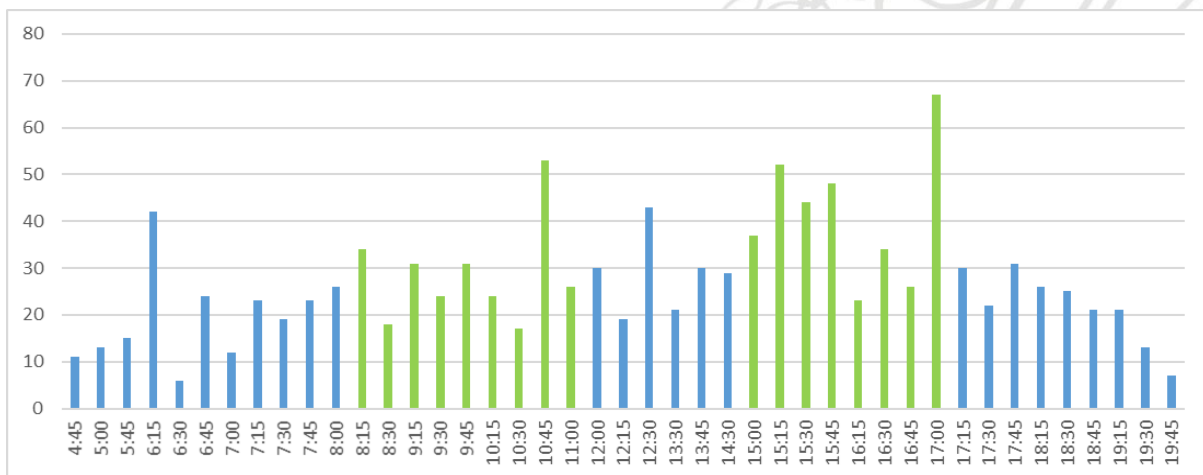
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Rotación de demanda

Para el análisis de rotación de la demanda (sube y baja), se analizaron los recorridos realizados el día 1 del mes de abril de 2019, de los cuales, se cuenta con componente tecnológico en los vehículos, obteniendo un total de 57 viajes de buses para la realización del estudio.

Para analizar las horas de mayor demanda de la ruta, se estudiaron los pasajeros movilizados durante el día, en intervalos de 15 minutos, como se observa en la siguiente gráfica; de la cual, además, que no se resalta una hora que presente un incremento significativo con respecto a la cantidad total de pasajeros movilizados. Sin embargo, se observan algunos picos en la mañana entre las 8:00 y las 11:00 y en la tarde de 15:00 a 17:00 horas.

Figura 11. Pasajeros movilizados en el día.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez definida las horas de máxima demanda (HMD), se toma la información de los pasajeros movilizados, para establecer las condiciones de ocupación de los vehículos y el cálculo de la demanda del tramo crítico. El análisis se realizó tanto para las horas de máxima demanda en la mañana como en la tarde.

Para determinar la HMD se determinan la cantidad de pasajeros movilizados en periodos de 15 minutos como se mencionó anteriormente. Luego se calcula el pico de mayor cantidad de pasajeros movilizados en una hora. A continuación, se muestra de la HMD de la mañana, usando una hoja de cálculo.

Figura 12 Hora de máxima demanda (am).

Hora	De:	A:	Pasajeros /15 Min	Pasajeros/h
AM	4:00	4:15	0	
	4:15	4:30	0	
	4:30	4:45	0	
	4:45	5:00	11	11
	5:00	5:15	13	24
	5:15	5:30	0	24
	5:30	5:45	0	24
	5:45	6:00	15	28
	6:00	6:15	0	15
	6:15	6:30	42	57
	6:30	6:45	6	63
	6:45	7:00	24	72
	7:00	7:15	12	84
	7:15	7:30	23	65
	7:30	7:45	19	78
7:45	8:00	23	77	
8:00	8:15	26	91	
8:15	8:30	34	102	

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se determina que la hora de máxima demanda en la mañana es entre las 7:30 y 8:30 horas. Es válido resaltar además que se pueden presentar datos atípicos con movilizaciones mayores, los cuales deben analizarse y si es el caso descartarse ya que puede ser error de los ITS o problemas del servicio de la ruta, en la cual, por la baja frecuencia se acumulan pasajeros.

A continuación, se muestra el comportamiento de Sube y Baja de pasajeros de un viaje de bus de la ruta a las 16:51 horas.

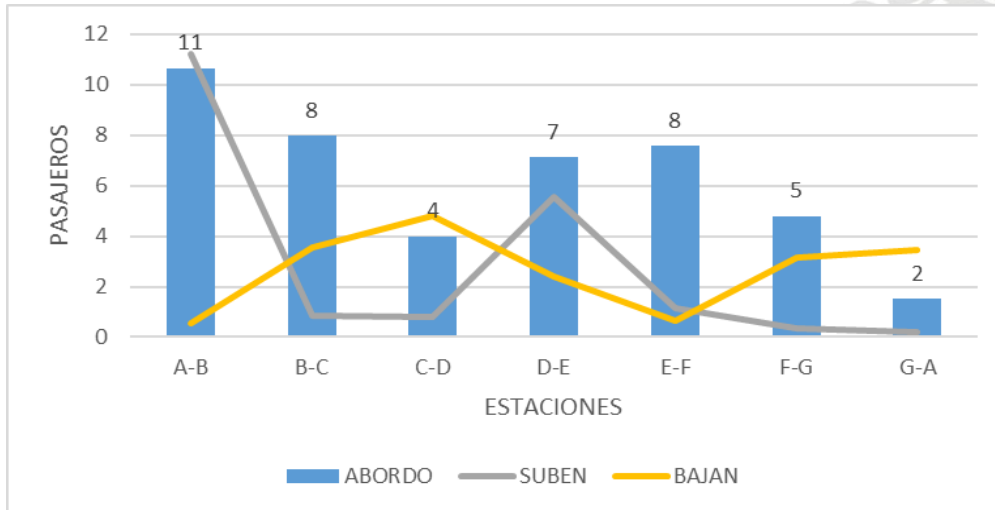
Tabla 5. Rotación de la demanda de un viaje de un bus de la ruta.

HORA SALIDA	16:51:08		
	SUBEN	BAJAN	ABORDO
A-B	0	0	0
B-C	0	0	0
C-D	0	0	0
D-E	24	0	24
E-F	1	0	25
F-G	1	20	6
G-A	0	6	0
TOTAL GENERAL	26	26	25
			MAX ABORDO

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, gracias a los ITS es posible conocer la cantidad de pasajeros que suben y bajan en cada tramo, la hora del viaje y tiempo del recorrido. En la tabla 5 se puede observar el comportamiento de un viaje ya procesado. Este análisis se hace para todos los viajes de todos los vehículos durante el día y se determina la gráfica de rotación de la demanda para la mañana y para la tarde.

Figura 13. Análisis rotación de la demanda (AM)



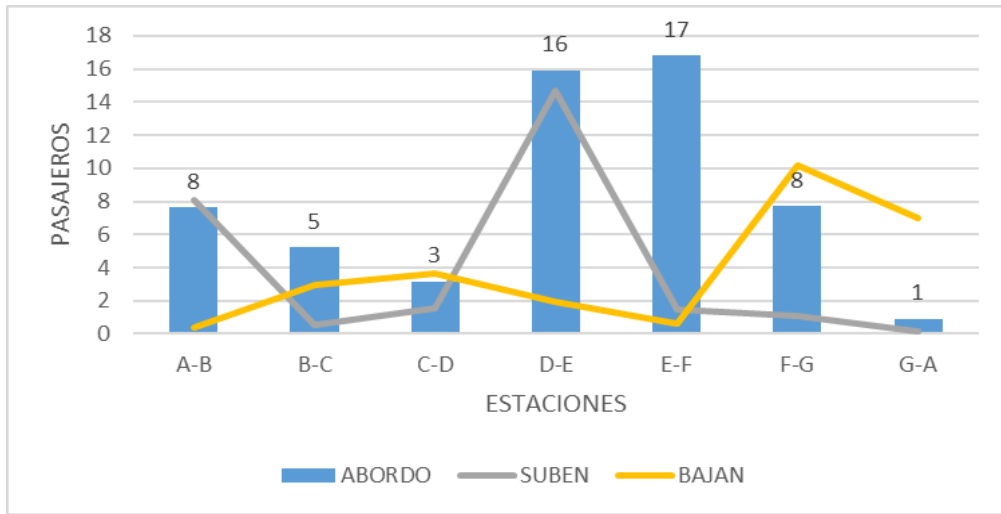
Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior, se puede apreciar que la mayor cantidad de pasajeros suben en el primer tramo (A-B, B-C), con dirección al centro. Comportamiento que se puede ver en muchas de las rutas de bus de la ciudad de Medellín debido a la dinámica de esta, en donde la población se desplaza hacia el centro en las mañanas y se devuelve en las tardes.

Por lo general las rutas que entran al centro de la ciudad son radiales, es decir que entran y salen del centro de la ciudad por el mismo trayecto, pero esta ruta de la cual se realiza este análisis, como se puede apreciar en los esquemas de trazado, es una ruta circular. Esta característica hace que la ruta sea más atractiva para los usuarios, al pasar por más puntos generadores y atractores de viajes.

Las rutas radiales en la mañana bajan de los barrios llenos y se devuelven vacías, pues pocas personas necesitan este servicio, en cambio la ruta de análisis presenta un número significativo de subidas en los tramos del centro (D-E, E-F) con dirección a los tramos al norte de la ciudad.

Figura 14. Análisis rotación de la demanda (PM).



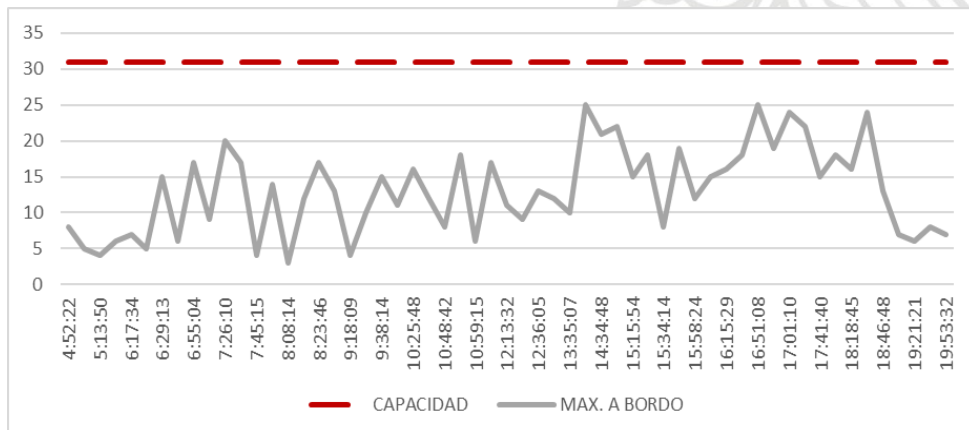
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica de rotación de la demanda de la tarde, se puede observar, como se mencionaba anteriormente, en la tarde la mayoría de los usuarios suben en las estaciones del centro con destino los barrios del norte de la ciudad. Es decir, pocas personas requieren ir con dirección al centro.

5.2.3 Ocupación del vehículo

La siguiente figura representa la capacidad del vehículo respecto a la cantidad máxima de pasajeros a bordo en las diferentes horas del día. La capacidad de los buses de la ruta es de 31 pasajeros. Se observa que la máxima demanda del vehículo se da en horas de la tarde, con una cantidad máxima de 25 pasajeros a bordo aproximadamente. Se aprecia, además, la disponibilidad con la que cuentan los vehículos que prestan el servicio, ya que los pasajeros a bordo durante las diferentes horas del día no sobrepasan la capacidad del vehículo.

Figura 15. Análisis de capacidad del servicio.



Fuente: Elaboración propia

5.3 Resumen condiciones de operación actual

A continuación, se muestra una tabla que contiene el resumen de las condiciones operativas del sistema de rutas en estudio.

Tabla 6. Condiciones operativas. de la Ruta.

Long (Km)	Vel Promedio (Km/H)	Tiempo de Viaje (Min)
12,2	9,15	90

Fuente: Elaboración propia.

Como se enseña en la tabla anterior, el recorrido toma un tiempo de viaje promedio de 90 minutos, el cual ha venido aumentando cada año al igual que la velocidad promedio ha bajado debido al crecimiento del parque automotor en la ciudad y las congestiones presentadas en el centro. El recorrido se ha visto bastante afectado debido a que los trayectos realizados impiden un desplazamiento eficiente. Por lo tanto, la calidad del servicio está disminuyendo y consecuentemente sucede lo mismo con la demanda.

5.4 Índice de pasajeros por kilómetro

El índice de pasajeros por kilómetro informa la situación actual del servicio, en cuanto a la efectividad de la ruta definida por la cantidad de pasajeros transportados por kilómetro. Este indicador varía según la ciudad o si la ruta trabaja en carril mixto o exclusivo. Para Colombia, en carril mixto o compartido, este indicador varía entre 1,5 y 5. Valores por encima de 3 dan idea de que es un ruta rentable y valores cercanos a 1,5 que la demanda del servicio es muy baja. Este será analizado para un día típico que presta el servicio la ruta.

$$IPK = \frac{\sum \text{Movilización}}{\sum \text{Kilómetros recorridos}} = 1,68$$

Al realizar el análisis, se observa un bajo índice, lo cual indica que, a pesar de los kilómetros recorridos, el servicio presenta inconvenientes en términos de rentabilidad de la ruta, ya que lo ideal sería movilizar una mayor cantidad de pasajeros, lo cual puede deberse a los diversos factores mencionados anteriormente.

6 Formulación de la propuesta

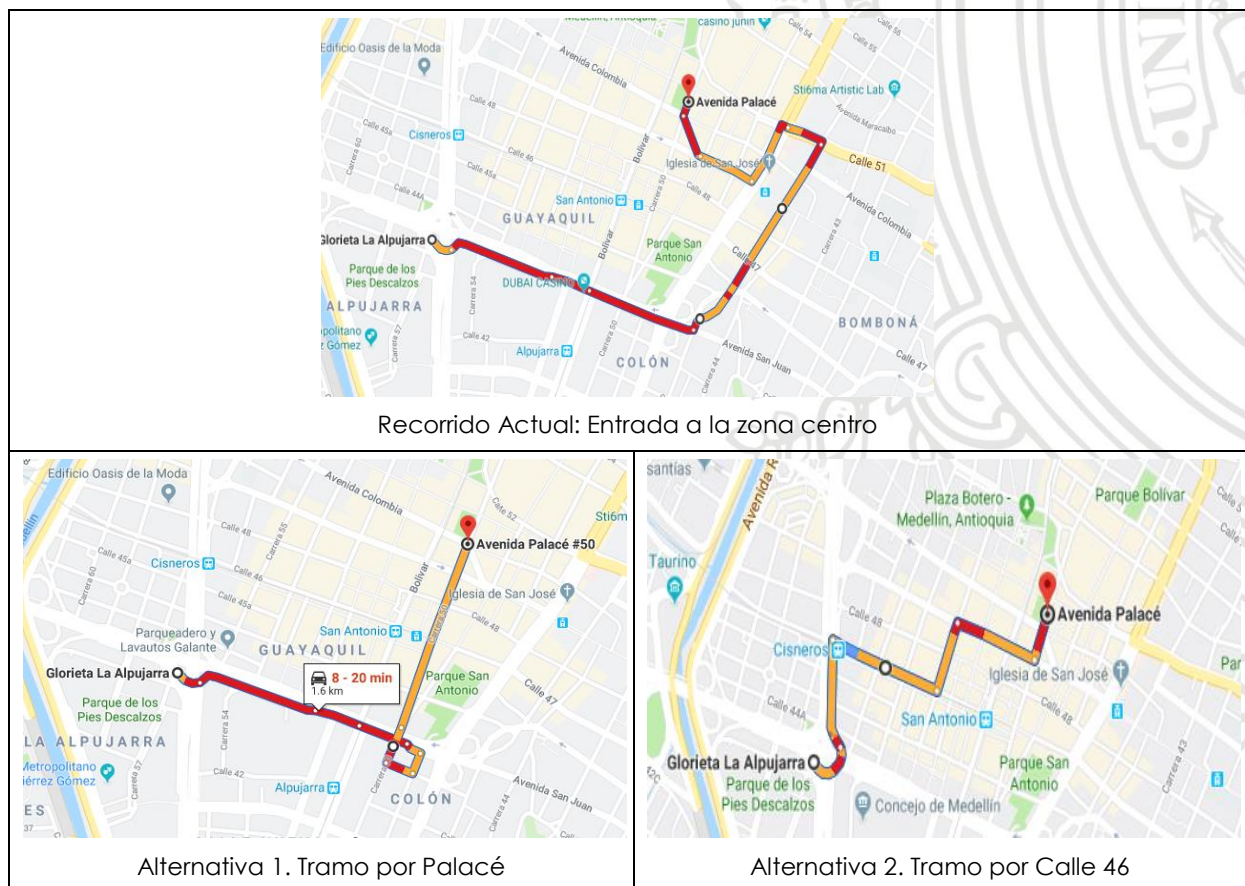
Debido a las problemáticas evidenciadas en los capítulos anteriores, se proponen las siguientes alternativas que buscan garantizar la sostenibilidad de la ruta, para ello, se expone a continuación mejoras, que buscan disminuir los kilómetros recorridos, incrementar los pasajeros movilizados, optimizar los tiempos de viaje, mediante propuestas basadas en las siguientes alternativas.

- **Modificación de recorrido actual:** Indagar alternativas de ruta que busquen eliminar recorridos innecesarios y/o evitar los trayectos más congestionados de la ciudad.
- **Cambio de punto de despacho:** Aunque el servicio no se ve afectado de manera directa, si la eficiencia de la ruta, debido a el recorrido muerto que se genera en la zona norte. Por esta razón se propone localizar el despacho en el centro de operaciones de la ruta.

6.1 Análisis de tiempos de viaje

A continuación, se analiza el tráfico usual en la hora pico de la ciudad, comparando la reducción del tiempo de viaje actual y futuro con la implementación de la modificación de la ruta en la entrada a la zona centro de Medellín.

Tabla 7. Tráfico usual alternativas de ruta modificada.





Fuente: Elaboración propia

Analizando los tramos propuestos para cada una de las alternativas, se tiene la siguiente tabla comparativa donde se especifica el tiempo y la velocidad promedio en hora pico para la modificación de la ruta con respecto al recorrido actual, tomado desde la Glorieta de la Alpujarra hasta el Parque Berrío:

Tabla 8. Tiempo de viaje y velocidad promedio ruta modificada.

Alternativa	Longitud (Km)	Tiempo Viaje Promedio (Minutos)	Velocidad Promedio (Km/H)	Reducción Tv (Minutos)
Ruta actual	2,4	28	5,1	-
Alternativa 1	1,7	20	5,1	8
Alternativa 2	1,5	14	6,4	14
Alternativa 3	1,6	16	6,0	12
Alternativa 4	1,4	14	6,0	14

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Diseño operacional

Considerando las mismas condiciones de servicio, se hace un análisis de los diseños operacionales de la ruta, considerando las propuestas de modificación en su recorrido, donde se modifica los tiempos respectivos de viaje.

Tabla 9. Diseño operacional Alternativas propuestas.

PARAMETROS	Alternativa 1 Palacé	Alternativa 2 Calle 00346 – Paralela Metro	Alternativa 3 Calle 49 - Ayacucho	Alternativa 4 Calle 45 - Amador
Longitud (Km)	12,2	12	12	12
Tiempo de viaje (min)	82	76	78	76

PARAMETROS	Alternativa 1 Palacé	Alternativa 2 Calle 00346 – Paralela Metro	Alternativa 3 Calle 49 - Ayacucho	Alternativa 4 Calle 45 - Amador
Velocidad (Km/h)	8,9	9,5	9,2	9,5
Demanda tramo crítico	170	170	170	170
Frecuencia (veh/h)	7	7	7	7
Parque Automotor	10	9	10	9
Total P.A. Requerido	12	11	12	11

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Selección de alternativa

De acuerdo con lo presentado anteriormente se tiene el siguiente análisis, que permite seleccionar la mejor opción de modificación del recorrido.

Tabla 10 Análisis de alternativas.

PARAMETRO	Recorrido Actual	Alternativa 1 Palacé	Alternativa 2 Calle 46 – Paralela Metro	Alternativa 3 Calle 49 - Ayacucho	Alternativa 4 Calle 45 - Amador
Cobertura	No Aplica	Básicamente se desatiende el corredor de El Palo y La Playa que no cuenta con demanda	Con esta alternativa se ve afectada la atención de la Alpujarra	Con esta alternativa se ve afectada la atención de la Alpujarra	Básicamente se desatiende el corredor de El Palo y La Playa que no cuenta con demanda
Tiempo de viaje	90 min.	82 min.	76 min.	78 min.	76 min.
		Con todas las alternativas se presenta menor tiempo de viaje			
Frecuencias	10 veh./h	7 veh./h	7 veh./h	7 veh./h	7 veh./h
Longitud de recorrido	12,2 km	12,2 km	12,2 km	12 km	12 km
		Básicamente lo que se recorta el recorrido en el centro, se incrementa en el costado norte. Pero si se obtiene beneficios en tiempo de recorrido, debido a que el recorte se hace en las zonas de mayor congestión y menor velocidad.			
Parque automotor requerido	17	12	11	12	11

Fuente. Elaboración propia.

- Para garantizar que el parque automotor cuente con el total de unidades que se requerirían para trabajar con una frecuencia de 10 Vehículos/Hora, acorde con lo que establece las condiciones mínimas de

calidad de servicio, de Transporte Público de Medellín, no se requerirían más unidades vehiculares.

7 Planeación de ciudad

Los datos procesados que se encuentran en el Capítulo 1 “Resultados y Análisis” del presente documento parten de matrices de información arrojadas en tiempo real por los ITS (Intelligent Transport System). En este trabajo de Semestre de Industria se analizó una ruta de bus de una empresa de la ciudad de Medellín. Por lo general las empresas operan más de una ruta y existen muchas empresas que prestan el servicio de transporte público en la región. Dicho esto, es claro que si se quiere hacer planificación del transporte público colectivo de la ciudad con datos actualizados diariamente es necesario superponer grandes y complejas matrices de información. Aguirre (2018) afirma que:

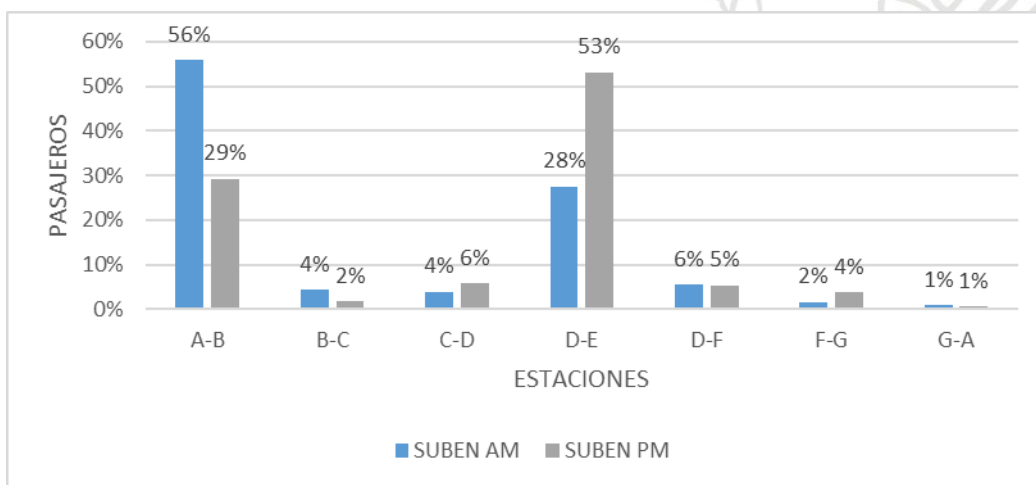
“El análisis de grandes bases de datos ha surgido como un enfoque prometedor para descubrir ideas significativas, nuevas iniciativas y para construir modelos artificialmente inteligentes con ayuda de herramientas de aprendizaje automático para el transporte; en espacios urbanos inteligentes el objetivo es crear dichos espacios capaces de reaccionar en tiempo real a la conducta de las personas que están presentes, incorporando métodos y tecnologías, hardware y software para recopilar, gestionar y analizar datos estructurados y no estructurados a gran escala en tiempo real”.

La afirmación anterior habla de conceptos claros con los que podemos pensar en una planificación de ciudad a partir de los ITS. Esto es con el fin de encaminar la ciudad hacia una “Smart City” donde se pueda hablar de una movilidad efectiva y accesible para toda la población. Es decir, se plantea que el procesamiento y análisis realizados en el presente documento se eleven a nivel macro y permitan toma de decisiones orientadas a la mejora de la movilidad de la ciudad desde una visión holística de la dinámica real de la región.

8 Conclusiones y recomendaciones

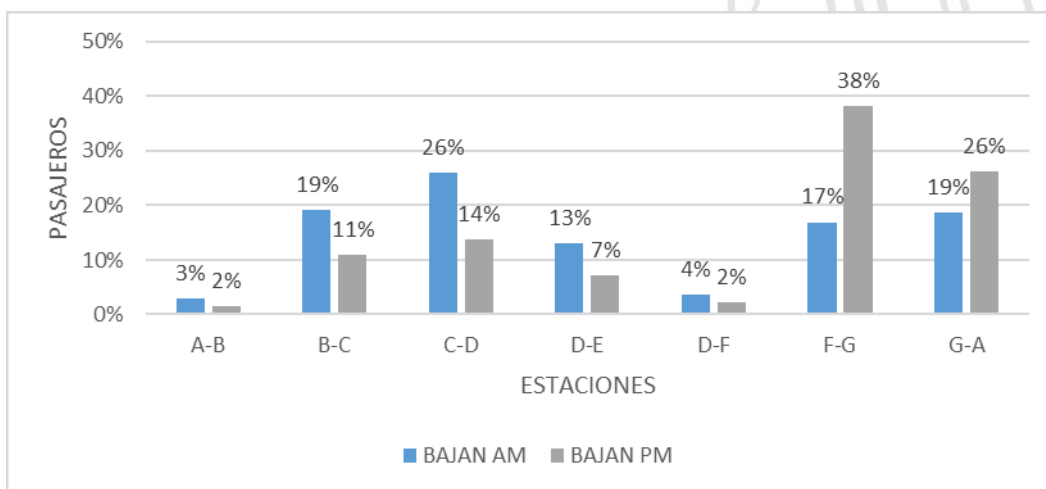
- ❖ La ruta cuenta con varios puntos atractores y generadores de viajes, los cuales, según el análisis realizado a través del componente tecnológico instalado, representan puntos estratégicos de origen y destino para los usuarios.

Figura 16. Principales puntos de origen.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 17. Principales puntos de destino.



Fuente. Elaboración propia.

- ❖ Debido al crecimiento de la movilización en la ciudad, se ha aumentado la congestión por algunos corredores del centro que afectan la rentabilidad de la ruta, para ello se idearon alternativas que

reduzcan los kilómetros recorridos y el tiempo de viaje, para así garantizar una mayor movilización de pasajeros en relación a la distancia recorrida.

- ❖ Con la modificación de la ruta se logrará reducir el viaje de 90 minutos a 76 minutos, evitando la movilización por trayectos que se encuentran bastante congestionados tanto en horas de la mañana y la tarde y que no representan un punto de atracción de usuarios.
- ❖ Un beneficio adicional para la ciudad, es bajarle carga al costado oriental del centro de Medellín (Avenida Oriental – El Palo), ya que se eliminaría este recorrido de esta zona, aportando a la disminución de cargas sobre estas vías.
- ❖ El procesamiento de la información emitida por los ITS se realiza en la mayoría de los casos, porque se evidencia una necesidad o problemas en la operación del servicio de transporte y no se realiza de manera regular. Esta información que es emitida por los vehículos de transporte público de la ciudad de Medellín (con ITS instalado) es recibida también por la autoridad de transporte de la ciudad, pero hasta ahora no se realiza un análisis en tiempo real y en conjunto para la toma de decisiones.
- ❖ Para lograr que la ciudad de Medellín tenga una movilidad sostenible y eficiente, es necesario un análisis periódico de la información transmitida por los ITS. Como se pudo evidenciar en este proyecto, se pueden tomar decisiones que mejoren el Transporte Público como sistema, y a la vez mejore la interacción de este con los demás sistemas de transporte que componen la ciudad.
- ❖ El BigData permite analizar grandes bases de datos para toma de decisiones. Por esta razón la ciudad debe encaminarse hacia el aprovechamiento de tecnologías que faciliten el procesamiento de datos enviados por cualquier modo de transporte de la ciudad como lo son buses, taxis, bicicletas, patinetas y transporte privado.

9 Referencias Bibliográficas

- I. Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2019). Recuperado de: Modernización
<https://www.metropol.gov.co/movilidad/Paginas/transportepublico/Modernizacion.aspx>
- II. Amado Crotte, Carina Arvizu, Carlos Mojica e Isabel Granada (2017). Apoyo al Desarrollo de Sistemas Inteligentes de Transporte. Recuperado de Banco Interamericano de Desarrollo: [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Apoyo-al-desarrollo-de-Sistemas-Inteligentes-de-Transporte-\(ITS\).pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Apoyo-al-desarrollo-de-Sistemas-Inteligentes-de-Transporte-(ITS).pdf)
- III. Deloitte, C. (2015). Estudio y Guía metodológica sobre Ciudades Inteligentes. Obtenido de Deloitte: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/public-sector/articles/guiametodologicasobre-ciudades-inteligentes-nota-prensa.html>.
- IV. Social, C. E. (2016). Ciudades e infraestructuras inteligentes. Recuperado de Naciones Unidas: http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ecn162016d2_es.pdf V. Blanco, Á. (2015). Plataforma de soporte a toma de decisiones frente a las situaciones de emergencias en Smart Cities. Obtenido de Depósito de investigación universidad de Sevilla: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/39671>