

**CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO
MEDIANTE EL DIAGNOSTICO DE LAS RUTAS ALIMENTADORAS Y
TRONCALES, POR EL METODO DE ASCENSO Y DESCENSO DE
PASAJEROS.**

**NATALIA ANDREA PAREDES MORENO
DANIEL GONZALO IZAQUITA TRISTANCHO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO
MEDIANTE EL DIAGNOSTICO DE LAS RUTAS ALIMENTADORAS Y
TRONCALES, POR EL METODO DE ASCENSO Y DESCENSO DE
PASAJEROS.**

**NATALIA ANDREA PAREDES MORENO
DANIEL GONZALO IZAQUITA TRISTANCHO**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingenieros Civiles**

Director

**LUIS DAVID AREVALO DURÁN
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS**

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

*Agradezco primero que todo a Dios
por darme la oportunidad
de estar donde estoy,
la fortaleza para superar
las dificultades y las bendiciones
necesarias a lo largo de toda mi carrera.*

*A mi Madre Doris Moreno,
por ser mi amiga, mi confidente, mi luz, y mi guía,
por levantarme en los momentos difíciles
tanto en mi vida profesional como personal,
por cada palabra sabia que siempre ha tenido,
con su esfuerzo me enseñó a perseverar,
no rendirme ante ninguna situación
poniendo amor a cada cosa que haga.*

*A mi padre Pedro Alonso Paredes,
por la orientación que me ha dado,
por todo el esfuerzo que ha hecho,
la paciencia y la confianza que deposito en mí,
por estar pendiente de cada paso que doy
porque a pesar de las circunstancias
siempre ha estado para brindarme
su constante apoyo y su amor día tras día
para lograr esta gran meta.*

*A mi Hermano David Fernando
que ha sido mi compañero de vida,
me ha cuidado, aconsejado y respaldado
en cada situación que se presentara.*

*A mis abuelos que me han brindado su enseñanza,
su sabiduría y su amor para cada día
ser una mejor persona.*

*A toda mi familia en general
tíos, primos y demás familiares,
porque sin dudar alguna
me han dado su apoyo incondicional,
el amor de la familia es constante,
perdura a pesar del tiempo,
diferencias y distancia.*

Natalia Andrea Paredes Moreno

A DIOS

*Por permitirme alcanzar este logro en mi vida,
Brindándome la salud y el apoyo en momentos de duda
A lo largo de toda mi carrera.*

A mi madre YOLANDA TRISTANCHO

*A quien desde siempre ha sido mi apoyo incondicional,
Por quien he logrado ser y lograr todo en mi vida.
No existe felicidad más grande que Dios
me permita alcanzar mis metas
Y ver que estas orgullosa de mí,
gracias a tu ejemplo y amor.*

A mi padre GONZALO IZAQUITA

*Por quien su sabiduría y consejos
Me permitió tomar decisiones acertadas,
Y apreciar el valor de los detalles de la vida.*

A mi FAMILIA

*En especial a mis tías ELSA TRISTANCHO
y BETTY TRISTANCHO
Por quienes siempre veo un modelo
de madre y espiritualidad
Gracias por su constante atención,
afecto y apoyo Durante mi vida.*

A LILIA del CARMEN TRISTANCHO TRISTANCHO

*Su sabiduría, paciencia, fe y amor
Las cuales fueron las bases de mi educación
Además de una voluntad firme corrigió cada falencia
En el desarrollo de mi formación como persona.*

Daniel Gonzalo Izaquita Tristanchó

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. PERFIL DE CARGA DE LAS RUTAS DEL SITM	15
1.1 Perfiles de carga de rutas alimentadoras	18
1.2 Perfiles de carga de rutas Pre Troncales	18
1.3 Perfiles de carga de rutas Troncales	18
2. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE PASAJEROS DE CADA UNA DE LAS RUTAS.....	19
2.1 Metodología de cálculo del IPK	19
2.2 IPK para rutas alimentadoras	21
2.3 IPK para rutas pre-troncales	23
2.4 IPK para rutas troncales	24
2.5 IPK total del sistema.....	24
3 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN Y DE INGRESOS DEL SISTEMA ..	24
3.1 Rutas alimentadoras por sectores	28
3.2 Rutas Pre Troncales	29
3.3 Rutas Troncales.....	30
3.4 Conclusión análisis de costos	31
4. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE LAS RUTAS	31
4.1 Desempeño rutas alimentadoras	32
4.2 Desempeño rutas Pre Troncales	34
4.3 Desempeño rutas Troncales.....	35
5. ANÁLISIS DE LA FLOTA DEL SITM	36
5.1 Análisis de la flota para rutas alimentadoras	38
5.2 Análisis de la flota para rutas pre-troncales	40
5.3 Análisis de la flota para rutas pre-troncales.....	41
6. CONCLUSIONES	42
7. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de Carga Alimentadoras Bucaramanga	15
Figura 2. Perfil de Carga Rutas Alimentadoras Floridablanca	16
Figura 3. Perfil de carga rutas alimentadoras Piedecuesta.....	16
Figura 4. Perfil de Carga Rutas Pre troncales.....	17
Figura 5. Perfil de Carga rutas Troncales	17
Figura 6. Distribución porcentaje del IPK en rutas alimentadoras.....	22
Figura 7. Distribución porcentaje del IPK en rutas Pre-Troncales.....	23
Figura 8. Velocidades Comerciales y Velocidades operacionales de las rutas alimentadoras	33
Figura 9. Velocidades Comerciales y Velocidades operacionales de las rutas Pre-Troncales	34
Figura 10. Velocidades Comerciales y Velocidades operacionales de las rutas Troncales	35
Figura 11. Tipología bus articulado.....	36
Figura 12. Tipología bus Padrón.....	37
Figura 13. Tipología bus Alimentador	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de Calificación para el IPK.....	20
Tabla 2.Eficiencia de las rutas alimentadoras según su IPK	21
Tabla 3. Eficiencia de las rutas Pre-Troncales según su IPK	23
Tabla 4. Eficiencia de las rutas Troncales según su IPK.	24
Tabla 5. Porcentajes de distribución de ingresos del SITM	25
Tabla 6. Factores de reducción en la demanda según la tipología de vehículos del sistema	26
Tabla 7. Demanda ajustada del sistema.....	26
Tabla 8. Costos de operación y tarifa del sistema	27
Tabla 9. Costos de operación por tipología del sistema y tarifa del sistema.....	27
Tabla 10. Rendimiento económico de las rutas Alimentadoras en un día de operación.....	28
Tabla 11. Rendimiento económico de las rutas Pre- Troncales en un día de operación.....	29
Tabla 12. Rendimiento económico de las rutas Troncales en un día de operación.	30
Tabla 13. Desempeño de las rutas alimentadoras según sus velocidades comerciales y operacionales.....	32
Tabla 14. Desempeño de las rutas Pre Troncales según sus velocidades comerciales y operacionales.....	34
Tabla 15. Desempeño de las rutas Troncales según sus velocidades comerciales y operacionales.....	35
Tabla 16. Flota operacional y actual del sistema para rutas alimentadoras.....	39
Tabla 17. Flota operacional y actual del sistema para rutas Pre Troncales.....	40
Tabla 18. Flota operacional y actual del sistema para rutas Troncales	41

GLOSARIO

IPK: Índice de Pasajero por Kilometro

Velocidad Operacional: Corresponde a la velocidad teórica, solo toma en cuenta los tiempos de atención al usuario.

Velocidad Comercial: corresponde a la velocidad media de viaje entre un paradero origen y otro destino, incluyendo todas las detenciones y demoras intermedias.

Demanda: Número de usuarios que tiene el sistema

Flota: La flota se estima como la cantidad de recurso bus con el que cuenta el sistema.

Flota operacional: Parque automotor con el que debe transitar el sistema integrado de transporte masivo para lograr una óptima eficiencia

Flota Efectiva: Parque automotor con la que cuenta actualmente el sistema Integrado de transporte masivo

Flota de reserva: Parque automotor disponible para eventualidades

Carga máxima: El número de usuarios Máximos que puede transportar el SITM.

Ciclo: Tiempo que demora un bus en dar una vuelta y regresar a su punto de partida

Perfil de Carga: Número de Pasajeros que transporta en el transcurso del día.

Costo/Kilometro: Estimación del valor del costo de operación del vehículo por kilómetro.

Costo/Pasajero: Costo de validación de cada pasaje

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO MEDIANTE EL DIAGNOSTICO DE LAS RUTAS ALIMENTADORAS Y TRONCALES, POR EL METODO DE ASCENSO Y DESCENSO DE PASAJEROS*

AUTORES: NATALIA ANDREA PAREDES MORENO, DANIEL GONZALO IZAQUITA TRISTANCHO**

PALABRAS CLAVE: IPK, velocidad operacional, velocidad comercial, demanda, flota (operacional, efectiva y de reserva), carga máxima, ciclo, perfil de carga.

DESCRIPCIÓN

El trabajo realizado es un diagnóstico al Sistema Integrado de Transporte Masivo (Metrolínea) donde calculamos, analizamos y comparamos los atributos correspondientes a cada una de las rutas, determinando su capacidad de carga, eficiencia, desempeño, flota operacional y un análisis a los egresos e ingresos del sistema, mediante la metodología del “Ascenso y descenso” de pasajeros, los cuales fueron aforados en campo trabajando en paralelo con otros proyectos. Obtener los atributos nos permitan ubicar tanto las fortalezas como las causas de las fallas, o externalidades negativas que presenta el sistema integrado de transporte masivo (SITM), para sus acciones correspondientes a mejorar el servicio. Una vez obtenidos los respectivos resultados se realiza una comparación de los atributos con las especificaciones que se encuentran en los documentos CONPES correspondientes a Metrolínea. Por último, hacer una clara referencia a la necesidad de implementar soluciones que permitan mejorar la calidad en la atención del servicio, ya que se busca un equilibrio para que haya más usuarios en el sistema sin afectar su comodidad, además de sugerir una integración de los sistemas de transporte colectivo y convencional para su respectivo apoyo en las horas valle, sin dejar a un lado la atención que se debe colocar a el daño que hace el transporte informal al elevar su demanda, afectando cada vez más los sistemas públicos.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Director: Luis David Arévalo Durán.

ABSTRACT

TITLE: GENERAL CHARACTERIZATION OF THE MASS TRANSPORTATION SYSTEM THROUGH THE DIAGNOSIS OF THE FEEDING AND TRUNK ROUTES, BY THE METHOD OF ASCENT AND DESCENT OF PASSENGERS.*

AUTHORS: NATALIA ANDREA PAREDES MORENO, DANIEL GONZALO IZAQUITA TRISTANCHO**

KEY WORDS: IPK, operational speed, commercial speed, demand, fleet (operational, effective and reserve), maximum load, cycle, load profile.

DESCRIPTION

The work carried out is a diagnosis of the Integrated System of Massive Transport (Metroline) where we calculate, analyze and compare the attributes corresponding to each of the routes, determining their load capacity, efficiency, performance, operational fleet and an analysis of expenses. and the income of the system, through the methodology of "Ascent and descent" of passengers, which were measured in the field working in parallel with other projects. Obtaining the attributes allows us to locate both the strengths and the causes of the failures, or the negative externalities presented by the integrated mass transport system (SITM), for their corresponding actions to improve the service. Once the respective results have been obtained, a comparison of the attributes with the specifications found in the CONPES documents corresponding to Metroline is made. Finally, make a clear reference to the need to implement solutions to improve the quality of service, since a balance is sought so that there are more users in the system without affecting their comfort, in addition to suggesting an integration of collective transport and conventional systems for their respective support during less active hours, without neglecting the attention that should be given to the damage that informal transport does by raising its demand, increasingly affecting public systems.

Grade work*
Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director:
Luis David Arévalo Durán.**

INTRODUCCIÓN

El Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolínea, es un sistema de transporte que entró en funcionamiento en febrero de 2010 en la ciudad de Bucaramanga, su propósito inicial fue mejorar la movilidad vehicular, además de reducir la contaminación. Se basa en el concepto de autobús de tránsito rápido, con paradas fijas en estaciones exclusivas. Los usuarios pagan el servicio a través de una tarjeta inteligente que se compran y recargan en las taquillas de las estaciones o en los puntos de venta autorizados.

Cuando se habla de Sistema Masivo de Metrolínea también estamos hablando de la comunidad ya que es un sistema público pensado en mejorar la calidad de vida de los habitantes de área Metropolitana, sin embargo, dicho sistema ha presentado fallas tanto en su parte operacional como económica evitando poder cumplir la visión trazada inicialmente para el año 2017. Para darle una solución competente se debe contar con un estudio que conlleve a un análisis adecuado el cual vaya a la raíz del problema teniendo en cuenta los atributos de las rutas del sistema, relacionándolos con las deficiencias existentes con respecto a lo que fue planeado en los documentos CONPES.

EL estudio como ya se anotó, precisa los orígenes y destinos de pasajeros que utilizan las rutas del SITM, para los aforos dos o más estudiantes de la UIS abordaron cada una de las flotas tomando registro del accenso y descenso de pasajeros en su respectivo sitio, tiempos entre paradas, tiempo en cada parada, tiempos de aceleración y desaceleración, luego una vez registrados los datos se analizaron como se muestra en el siguiente artículo.

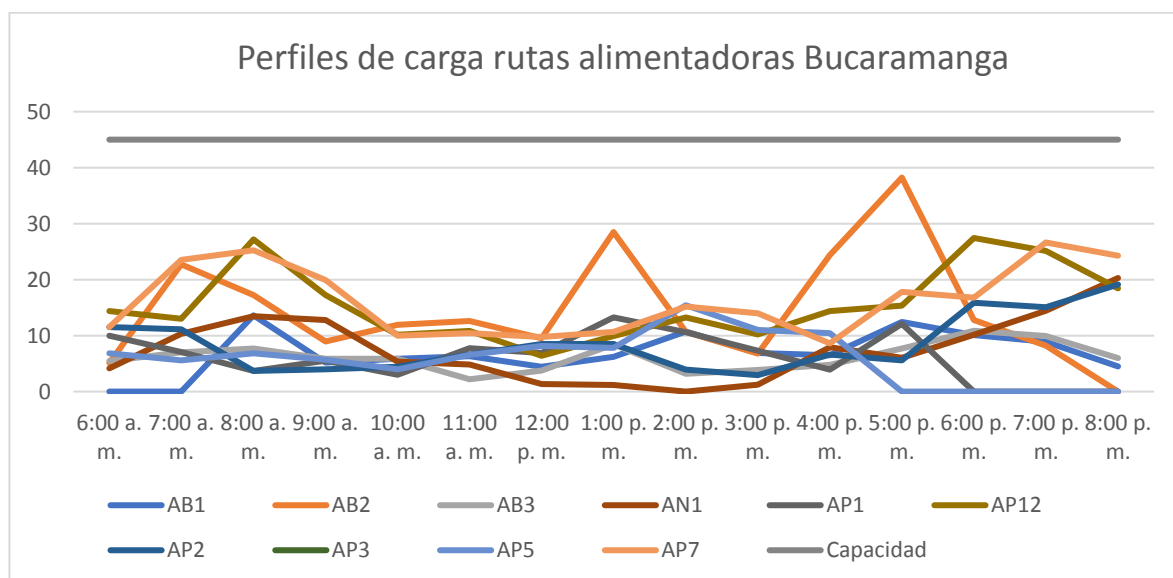
1. PERFIL DE CARGA DE LAS RUTAS DEL SITM

La demanda de los pasajeros durante el día fue aforada en proyectos paralelos, para esto se escogió un día hábil de la semana descartando algunos días como festivos o eventualidades como partidos de futbol, contando los pasajeros que suben, los pasajeros que bajan, los pasajeros que permanecen en el bus, así también registrando el tiempo de cada parada y su respectivo lugar.

Mediante los aforos realizados a todas las rutas del sistema se determinó el promedio de pasajeros que se encuentran a bordo del vehículo en el transcurso del día, con el fin de analizar el comportamiento de la ruta con respecto a la capacidad de los buses y con esto poder hallar conclusiones que nos permitan recomendar soluciones en general al sistema.

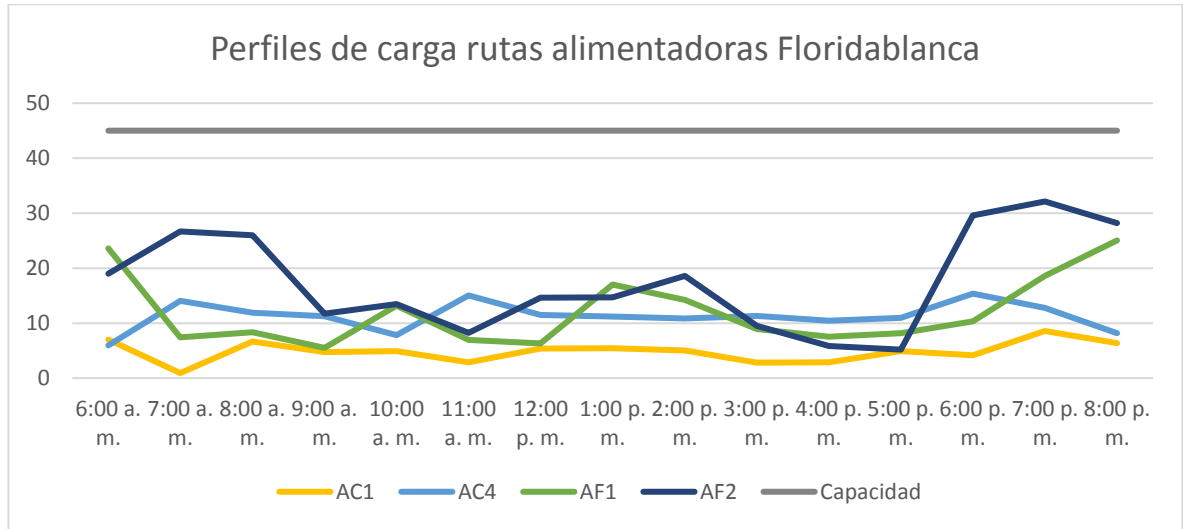
Teniendo en cuenta que los datos presentados a continuación son promedios de capacidad a distintas horas de un día de trabajo del SITM, existen tramos en los que la capacidad del vehículo se repleta lo cual genera incomodidad y demoras en tiempos de viaje.

Figura 1. Perfil de Carga Alimentadoras Bucaramanga



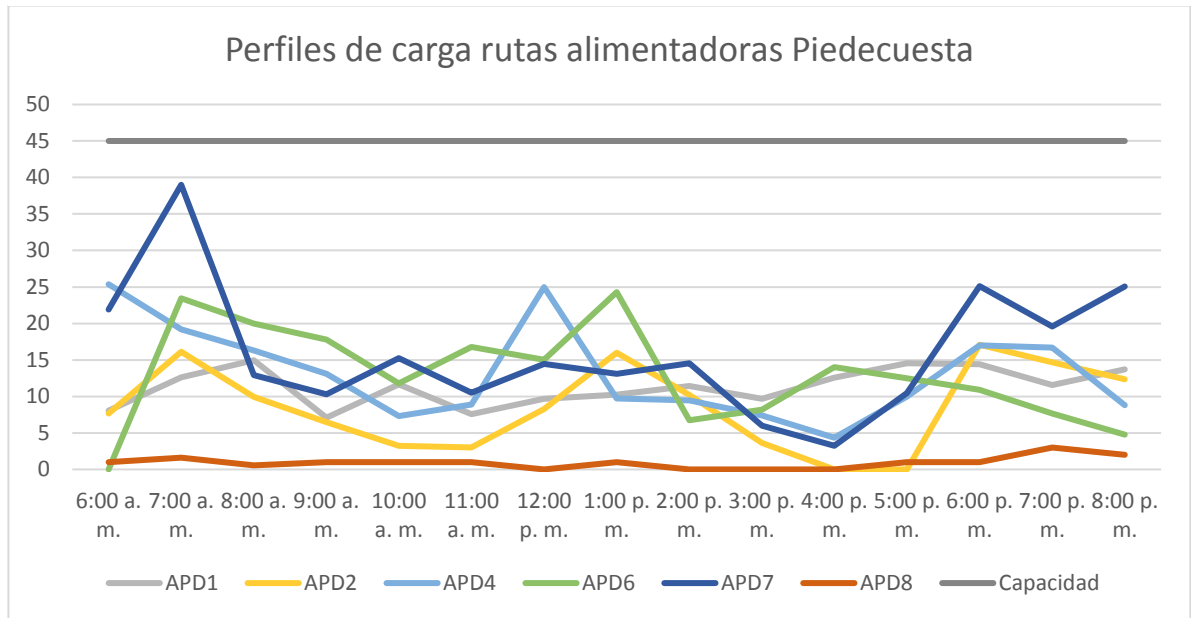
Fuente: Elaboración Propia, Utilizando información de los aforos hechos en campo

Figura 2. Perfil de Carga Rutas Alimentadoras Floridablanca



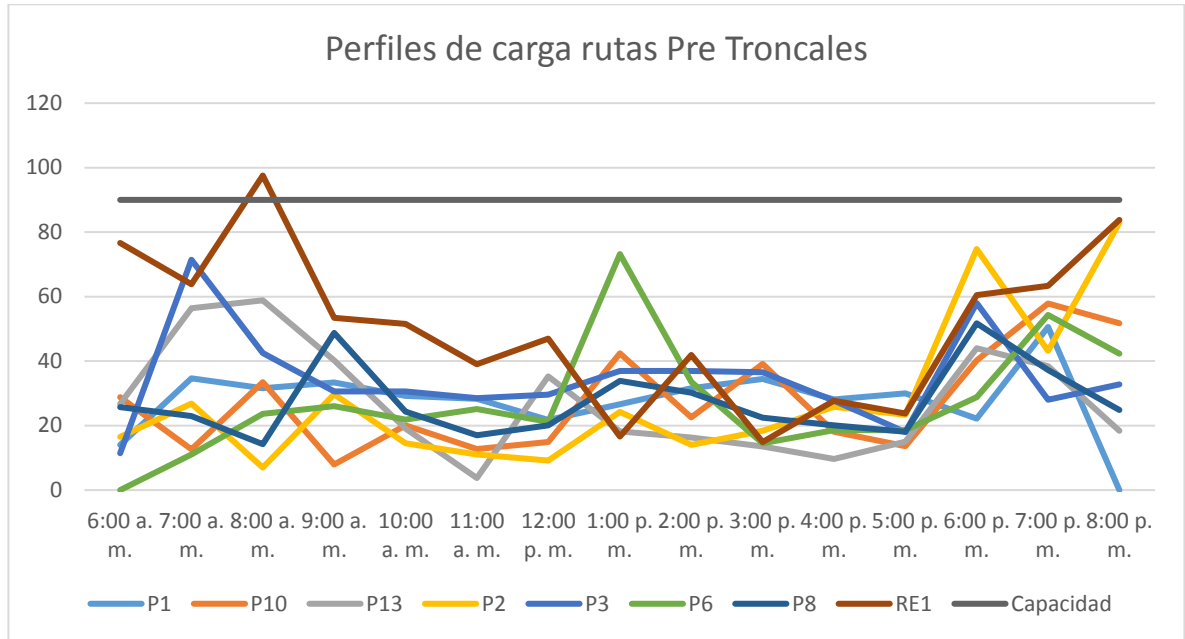
Fuente: Elaboración Propia, Utilizando información de los aforos hechos en campo

Figura 3. Perfil de carga rutas alimentadoras Piedecuesta



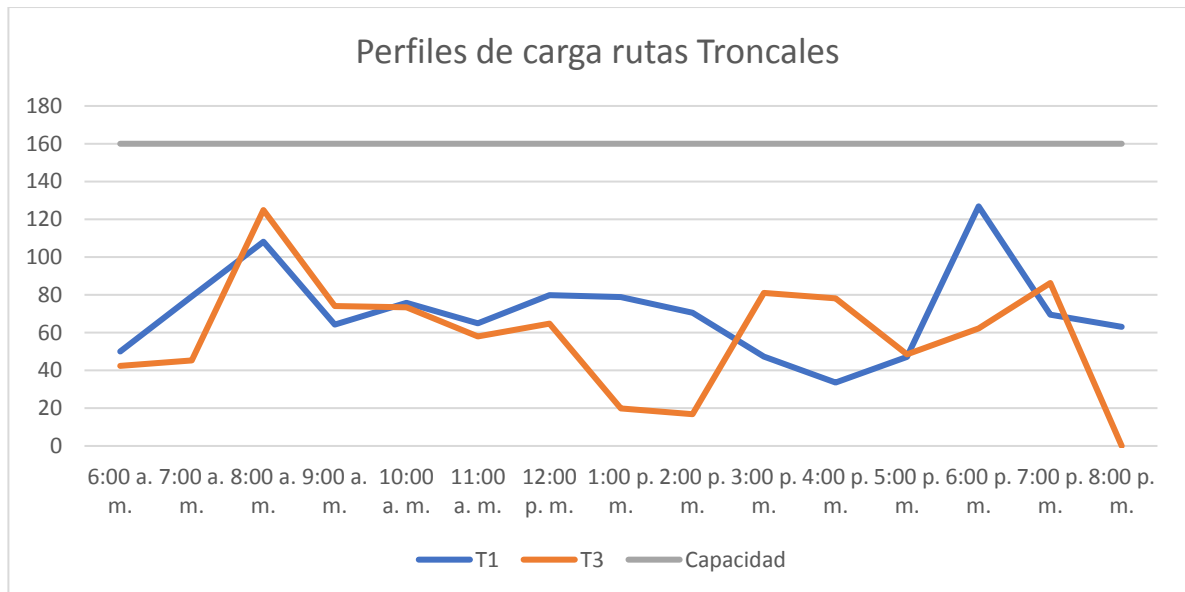
Fuente: Elaboración Propia, Utilizando información de los aforos hechos en campo

Figura 4. Perfil de Carga Rutas Pre troncales



Fuente: Elaboración Propia, Utilizando información de los aforos hechos en campo

Figura 5. Perfil de Carga rutas Troncales



Fuente: Elaboración Propia, Utilizando información de los aforos hechos en campo

1.1 Perfiles de carga de rutas alimentadoras

- Rutas como AB2, AF2, AP2, APD6, APD7 tienen un flujo de pasajeros alto durante las horas picos, y en las horas valle poseen un flujo constante.
- Se observa que la ruta APD8 presenta un flujo pésimo en todo el transcurso del día.
- El promedio de flujo de usuarios durante el transcurso del día en la mayoría de las rutas alimentadoras varía entre 10 y 15 pasajeros, para una capacidad de 45 personas su eficiencia es entre el 22% y 33%.

1.2 Perfiles de carga de rutas Pre Troncales

- La ruta RE1 posee un flujo que sobrepasa la capacidad de los vehículos en horas pico de la mañana y en de la noche.
- Las rutas P3 y P8 tienen sus mejores tiempos de flujo en las horas picos de la mañana y de la noche, en el transcurso del día se mantienen en promedio, entre 20 y 40 pasajeros a bordo.
- La ruta P6 tienen un comportamiento adecuado en las horas picos del medio día y de la noche.
- Los pasajeros optan por la ruta P2 en las horas de la noche, como su medio de transporte a elegir ya que su flujo incrementa drásticamente a comparación del resto del día.

1.3 Perfiles de carga de rutas Troncales

- La capacidad de las rutas troncales es adecuada en casi toda la trayectoria del día, exceptuando las horas pico de la mañana y de la noche, observando que en ciertos puntos del aforo se sobrepasó la capacidad del vehículo.
- La demanda de las rutas troncales es la más elevada del sistema teniendo en cuenta que durante los recorridos que circulan su capacidad oscila al rededor 50%.

2. COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE PASAJEROS DE CADA UNA DE LAS RUTAS

El IPK es un indicador que permite evaluar la forma como el principal producto del sistema, los kilómetros recorridos en operación se reflejan en su principal resultado operacional, los pasajeros pagos o en otras palabras establece la eficiencia del sistema al medir el número promedio de pasajeros que se suben en cada kilómetro de recorrido. La Unidad de medida es Pasajeros pagos diarios sobre kilómetros recorridos diarios.

Esta variable es una de las más importantes dentro de lo que se establece la prestación de un buen servicio y eficiente, así lo compararemos con los documentos COMPES que son la máxima autoridad nacional de planeación y se desempeña como organismo asesor del Gobierno en todos los aspectos relacionados con el desarrollo económico y social del país.

2.1 Metodología de cálculo del IPK

Se obtuvo la demanda de pasajeros pagos en un día hábil, en troncales, pre-troncales y alimentadores mediante el método de ascenso y descenso de pasajeros, posteriormente se realizaron las respectivas mediciones con la herramienta de Google maps estableciendo la distancia recorrida de cada una de las rutas comparando además estas mediciones con los proyectos que se trabajan en paralelo para obtener mediciones más exactas, luego dividir la demanda diaria de la ruta que establecimos ya anteriormente entre la cantidad de Kilómetros.

La siguiente tabla fue se basada en el COMPES 3260 para tener una visualización más amplia y rangos establecidos que nos permitan evaluar la eficiencia de las rutas para así poder compararlo con los parámetros establecidos inicialmente por el documento COMPES.

Tabla 1. Rangos de Calificación para el IPK

RANGO IPK		CALIFICACIÓN
0	1	Pésimo
1	2	Malo
2	3	Regular
3	4	Aceptable
4	5	Bueno
5	6	Optimo
6	7	Consolidado

Fuente: Planteamiento de la propuesta del mejoramiento del SITM

Analizaremos el sistema comparándolo con el documento CONPES 3260 de 15 de diciembre de 2003, que en sus páginas 13 y 14, dice “ De acuerdo con los parámetros operativos y de inversión para este tipo de sistemas, los diseños operativos deben garantizar, sobre la base de una ocupación media diaria de los vehículos superior a 1.000 en vehículos de alta capacidad (articulados) y 500 pasajeros en vehículos de mediana capacidad (padrones), que el índice de pasajeros kilometro (IPK) no sea inferior a 4.0”[4].” Y más adelante nos dice que el sistema debería operar con un IPK consolidado de 7.5, así basados en esta información para que las rutas del sistema cumplan debe tener como mínimo un IPK de 4.

- a) Pésimo: Para esta Calificación analizaremos todos los atributos que corresponden a la ruta, pero lo recomendable es eliminar y trasladar el recurso bus a otra ruta eficiente.
- b) Malo: Integración con el bus convencional
- c) Regular: Integración con el bus convencional
- d) Bueno: se encuentran dentro de los parámetros establecidos, sin embargo, se debe analizar todos los atributos para mejorar
- e) Optimo: Se encuentra en los parámetros establecidos, para las rutas con esta calificación se debe analizar perfil de carga y desempeño con sus respectivos intervalos de paso ya que se debe evitar buses con sobre carga.

- f) Consolidado: A esta calificación es a la que se pretende llegar, sin embargo, se debe analizar perfil de carga y desempeño con sus respectivos intervalos de paso ya que se debe evitar buses con sobre carga.

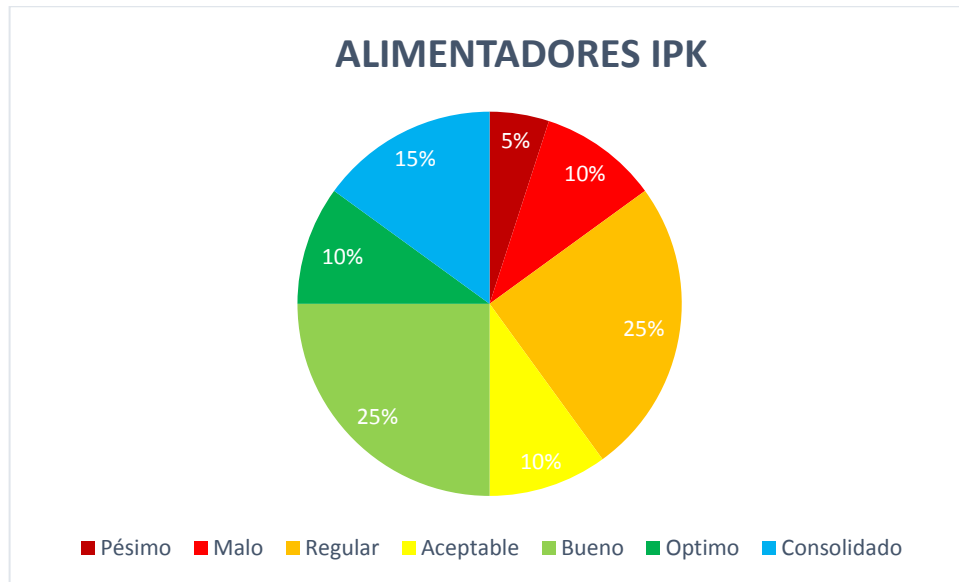
2.2 IPK para rutas alimentadoras

Tabla 2.Eficiencia de las rutas alimentadoras según su IPK

RUTA	IPK	EFICIENCIA
Código	Pasajeros/km	Descriptiva
AB1	3.0	Regular
AB2	4.5	Bueno
AB3	3.5	Aceptable
AC1	2.0	Malo
AC4	5.0	Bueno
AF1	5.3	Optimo
AF2	4.5	Bueno
AN1	2.3	Regular
AP1	3.0	Regular
AP12	5.0	Bueno
AP2	2.0	Malo
AP3	8.0	Consolidado
AP5	3.4	Aceptable
AP7	6.0	Optimo
APD1	7.0	Consolidado
APD2	3.0	Regular
APD4	7.0	Consolidado
APD6	3.0	Regular
APD7	5.0	Bueno
APD8	1.0	Pésimo
Promedio	4.2	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Distribución porcentaje del IPK en rutas alimentadoras



Fuente: Elaboración propia

- El índice de pasajeros kilometro para las rutas alimentadoras es 4,2 se establece con una calificación buena (Tabla 2).
- Observamos dos alimentadoras con una calificación mala AC1 Y AP2 y una con una calificación pésima APD8, lo que sugiere que posiblemente se tengan pérdidas (Tabla 2).
- Observando (Tabla 2) podemos concluir que un 15% de la calificación de las rutas está por debajo de 2, considerado malo para el sistema, el 35% está entre 2-4, que tampoco es aceptable para el sistema, y un 50% de los alimentadores esta entre bueno y consolidado que de acuerdo con lo mencionado del documento CONPES, siendo que se encuentran con una calificación por encima de 4.
- Observamos (Figura 6) que el 50% de los alimentadores se encuentran por encima de una calificación de 4 que es el mínimo para IPK lo que es preocupante ya que se quiere llegar a un IPK consolidado.

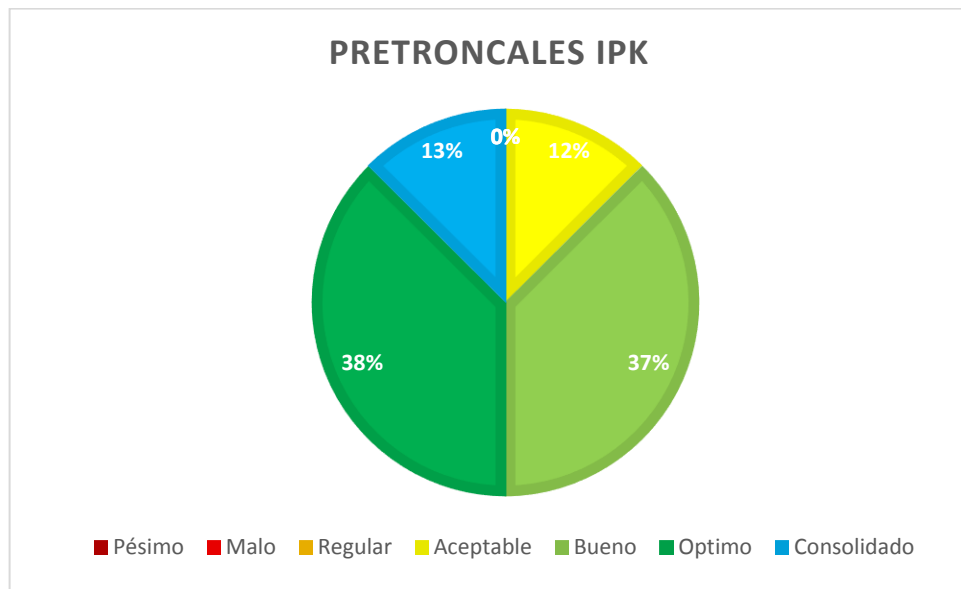
2.3 IPK para rutas pre-troncales

Tabla 3. Eficiencia de las rutas Pre-Troncales según su IPK

RUTA	IPK	EFICIENCIA
P1	6.0	Optimo
P10	8.0	Consolidado
P13	5.7	Optimo
P2	4.7	Bueno
P3	5.9	Optimo
P6	4.0	Aceptable
P8	5.0	Bueno
RE1	5.0	Bueno
Promedio	5.5	Optimo

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Distribución porcentaje del IPK en rutas Pre-Troncales



Fuente: Elaboración propia

- Resalta de los valores del IPK para las rutas Pre troncales la ruta P6 que se encuentra con la más baja eficiencia (Tabla 3).

- En general el 88% de las pre-troncales tiene un valor de IPK por encima de 4 (Tabla 3).
- El P10 tiene un IPK consolidado (Tabla 3).
- Se observa que en las rutas pre-troncales solo hay que está en el límite establecido, así también tenemos un 13% consolidado, lo que es muy poco.

2.4 IPK para rutas troncales

Tabla 4. Eficiencia de las rutas Troncales según su IPK.

RUTA	IPK	EFICIENCIA
T1	7	Consolidado
T3	7	Consolidado
Promedio	7	Consolidado

Fuente: Elaboración propia

- Resalta en las rutas troncales una eficiencia consolidada siendo estas el eje principal del sistema de transporte masivo (Tabla 4).

2.5 IPK total del sistema

Calculado un IPK para el sistema en total de 4.7, el cual se encuentra como “bueno” dentro de los parámetros establecidos inicialmente, sin embargo, lo recomendado por los documentos CONPES para Metrolínea sobre la consolidación del sistema con el que debería operar es de un IPK superior a 7.05[2].

3 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN Y DE INGRESOS DEL SISTEMA

Para el análisis de costos del sistema solo se tendrá en cuenta los costos de operación por kilómetro y los ingresos del sistema en un día de operación, los resultados obtenidos a continuación deben ser tomados en cuenta sabiendo que SITM funciona gracias a diferentes entidades, las cuales le corresponden sus porcentajes acordados en la siguiente información suministrada por Metrolínea.

Teniendo en cuenta que el cálculo realizado en este estudio, no se tuvo en cuenta el porcentaje de distribución de los ingresos del SITM, solo los ingresos netos por ruta del sistema por validación de pasajeros por ruta del sistema.

Tabla 5. Porcentajes de distribución de ingresos del SITM

PARTICIPANTE	PORCENTAJE
TISA	13.5 %
METROLINEA S.A.	6.85%
FUNCIONAMIENTO SITM(mantenimiento)	4.79%
CONTINGENCIAS JUDICIALES	1.87%
AMB	\$5 cda/validación

Fuente: Metrolinea

Con el porcentaje restante se paga a los concesionarios de flota (Metrocinco y Movilizamos), a quienes no se les paga por porcentaje sino por km recorrido dependiendo de la tipología de vehículo (Tabla 5).

El sistema integrado de transporte masivo está diseñado para que los alimentadores faciliten la llegada de los pasajeros a los buses pre troncales y las troncales, sin embargo estas también aportan su propia demanda, por lo tanto se realizó una mediación mediante los aforos de un porcentaje aproximado de incidencia en la demanda, ya que no se puede tener en cuenta como pasaje cobrado a un usuario que realice uno o más transbordos. Haciendo un conteo en horas específicas del ingreso de pasajeros con respecto a salida de los mismos en las estaciones principales en horas de fácil medición (primer viaje y ultimo), para reducir la incertidumbre de inexactitud de la demanda total en el día de operación.

El ajuste se realizó teniendo en cuenta las estaciones de salida y de llegada de las rutas Troncales (La estación temprana de Piedecuesta y la estación de la Quebrada seca). Observando la cantidad de pasajeros que llegan a la estación a una hora determinada, contrarrestando con los pasajeros que llegan a la estación por medio de los alimentadores que llegan a la estación a la hora determinada; con esto encontramos un porcentaje aproximado de pasajeros que validan su pasaje

directamente en la estación y toman el bus troncal. Haciendo la salvedad de la incertidumbre de no conocer si los pasajeros que llegan a la estación no abordan el bus troncal, por lo tanto, se realizó la observación de estos comportamientos a lo largo del día en las dos estaciones para lograr encontrar una iteración de los factores de reducción del porcentaje de pasajeros que validan su pasaje para cada tipología del sistema.

Tabla 6. Factores de reducción en la demanda según la tipología de vehículos del sistema

Transbordo Troncal	0.1
Transbordo Pre-Troncal	0.65
Transbordo alimentador	0.5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Demanda ajustada del sistema

Demanda de pasajeros total sistema	224699
Demanda ajustada total sistema	118700

Fuente: Elaboración Propia

En el análisis de costos el valor asignado al costo por kilómetro recorrido es obtenido de estudios para el SITM en Bucaramanga y el valor del pasaje actual para el 2017 en función de las variables por ruta:

- Longitud
- Los ciclos realizados en el día
- La demanda de pasajeros
- Flota efectiva actual de Metrolínea

EL análisis de costos del sistema fue analizado mediante un valor promedio de costo de operación para todas las rutas del sistema y un costo de operación para cada tipología frente al costo de validación del pasaje.

Para cada una de las rutas con los valores:

Tabla 8. Costos de operación y tarifa del sistema

Costo Kilómetro recorrido	\$ 3600
Costo pasaje a usuarios	\$ 2100

Fuente: Metrolinea y estudios en desarrollo del cálculo de la tarifa para los operadores de Metrolinea.

Tabla 9. Costos de operación por tipología del sistema y tarifa del sistema

Costo por kilómetro Troncal	\$ 5630.97
Costo por kilómetro Pre Troncal	\$ 3905.71
Costo por kilómetro alimentador	\$ 3597.18

Fuente: Metrolinea y estudios en desarrollo del cálculo de la tarifa para los operadores de Metrolinea.

3.1 Rutas alimentadoras por sectores

Tabla 10. Rendimiento económico de las rutas Alimentadoras en un día de operación

RUTA	Ganancias/Perdidas (total) valor promedio	Ganancias/Perdidas (total) valor por tipología
código	\$	\$
AB1	\$ 3,935,991.26	\$ 3,933,384.00
AB2	\$ 14,116,683.22	\$ 14,111,292.00
AB3	\$ 1,138,515.60	\$ 1,137,696.00
AC1	-\$ 739,399.28	-\$ 740,700.00
AC4	\$ 710,201.66	\$ 708,894.00
AF1	\$ 1,705,752.75	\$ 1,703,250.00
AF2	\$ 1,101,530.98	\$ 1,098,720.00
AN1	-\$ 2,703,576.38	-\$ 2,707,380.00
AP1	-\$ 274,280.01	-\$ 276,450.00
AP12	\$ 959,000.00	\$ 956,582.70
AP2	-\$ 2,077,571.42	-\$ 2,079,480.00
AP3	\$ 2,153,453.90	\$ 2,152,080.00
AP5	-\$ 6,018.52	-\$ 7,416.00
AP7	\$ 1,733,927.66	\$ 1,732,080.00
APD1	\$ 2,367,888.96	\$ 2,366,400.00
APD2	-\$ 237,202.80	-\$ 238,500.00
APD4	\$ 1,961,003.70	\$ 1,960,200.00
APD6	-\$ 30,082.82	-\$ 31,230.00
APD7	\$ 1,346,448.38	\$ 1,344,277.20
APD8	-\$ 677,037.27	-\$ 677,716.20

Fuente: Elaboración Propia

Interpretando:

- De las 20 rutas alimentadoras 8 presentan valores negativos lo cual refleja la baja demanda de estas (Tabla 10).
- La única ruta que representa ingresos significativos al SITM es la AB2 con un valor de \$14.111.292, el resto de las rutas poseen valores positivos que indican que su funcionalidad solo da abasto para cubrir sus costos de operación (Tabla 10).

3.2 Rutas Pre Troncales

Tabla 11. Rendimiento económico de las rutas Pre- Troncales en un día de operación

RUTA	Ganancias/Perdidas (total) valor promedio	Ganancias/Perdidas (total) valor por tipología
código	\$	\$
P1	\$ 10,227,984.00	\$ 9,536,785.92
P10	\$ 22,948,086.00	\$ 22,519,407.21
P13	\$ 6,650,640.00	\$ 6,147,135.63
P2	\$ 5,675,265.00	\$ 5,058,678.50
P3	\$ 10,261,680.00	\$ 9,455,110.02
P6	\$ 5,087,772.00	\$ 4,443,203.86
P8	\$ 15,363,180.00	\$ 14,463,108.62
RE1	\$ 12,098,925.00	\$ 10,360,046.52

Fuente: Elaboración Propia

Se concluye (Tabla 11):

- Todas las rutas Pre Troncales muestran ganancias para el sistema.
- La ruta P8 tiene un elevado índice de ganancias con respecto a las otras Pre Troncales debido a que tiene aproximadamente el doble de longitud de recorrido, por lo tanto, sus costos de operación son más altos que los demás sin embargo sigue obteniendo resultados positivos.

Se concluye de la tabla:

- Todas las rutas Pre Troncales muestran ganancias para el sistema (Tabla 11).

3.3 Rutas Troncales

Tabla 12. Rendimiento económico de las rutas Troncales en un día de operación.

RUTA	Ganancias/Perdidas (total) valor promedio	Ganancias/Perdidas (total) valor por tipología
código	\$	\$
T1	-\$ 7,420,560.00	-\$ 14,244,619.20
T3	-\$ 5,896,800.00	-\$ 12,152,187.60

Fuente: Elaboración propia

- Las rutas troncales presentan aparentes pérdidas ya que el 90% de sus usuarios son provenientes de rutas alimentadoras y Pre Troncales, teniendo en cuenta que el sistema funciona con transbordo entre vehículos.

3.4 Conclusión análisis de costos

Los ingresos del sistema, aunque al finalizar el día son positivos, no son los esperados por los planes de desarrollo para Metrolínea [1], lo cual es índice de la necesidad de implementar medidas para aumentar la demanda y por lo tanto los ingresos del sistema.

4. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE LAS RUTAS

Para determinar la eficiencia del SITM se midió en función de la velocidad comercial y la velocidad operacional, las cuales dependen de la longitud de cada ruta y ciclo, además para el cálculo de la velocidad operacional se realizó el cálculo de tiempos de aceleración y de desaceleración de los vehículos, que permite determinar la velocidad operacional a partir de la fórmula:

$$\text{Vel. OP: } \frac{X_i}{\frac{X_i}{\text{Vel. max}} + p(t_a + t_d) + \sum T_{ap}} \quad (1)$$

- X_i : extensión del tramo
- Vel.max: velocidad máxima para el tramo x_i
- P : número de paradas en el tramo x_i
- T_a : tiempo de aceleración del vehículo
- T_d : tiempo de desaceleración del vehículo
- T_{ap} : tiempos de atención en las paradas

Del análisis las velocidades obtenidas se llegó a el desempeño a partir de

$$\% \text{Desempeño} = \frac{\text{Vel. Comercial}}{\text{Vel. Operacional}} * 100 \quad (2)$$

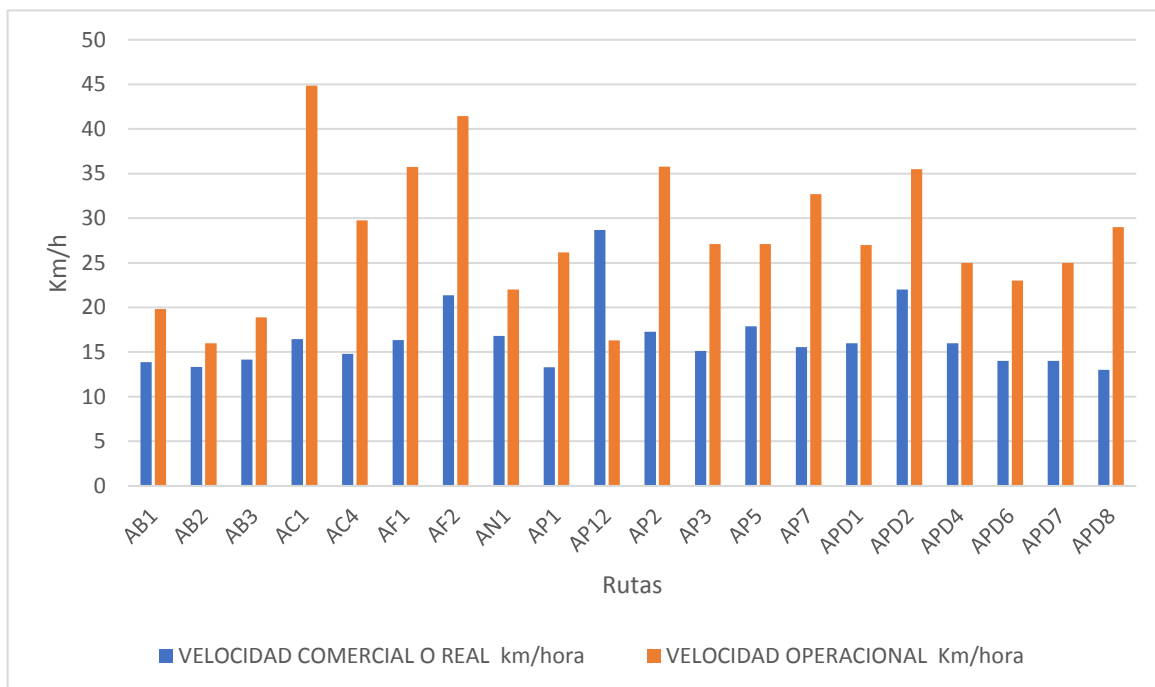
4.1 Desempeño rutas alimentadoras

Tabla 13. Desempeño de las rutas alimentadoras según sus velocidades comerciales y operacionales.

RUTA	VEL. COMERCIAL	VEL. OPERACIONAL	Desempeño
Código	km/hora	Km/hora	%
AB1	13.9	19.8	70%
AB2	13.3	16.0	84%
AB3	14.2	18.9	75%
AC1	16.5	44.8	37%
AC4	14.8	29.8	50%
AF1	16.3	35.7	46%
AF2	21.4	41.4	52%
AN1	16.8	22.0	76%
AP1	13.3	26.2	51%
AP12	28.7	16.3	57%
AP2	17.3	35.8	48%
AP3	15.1	27.1	56%
AP5	17.9	27.1	66%
AP7	15.6	32.7	48%
APD1	16.0	27.0	59%
APD2	22.0	35.5	62%
APD4	16.0	25.0	64%
APD6	14.0	23.0	61%
APD7	14.0	25.0	56%
APD8	13.0	29.0	45%

Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Velocidades Comerciales y Velocidades operacionales de las rutas alimentadoras



Fuente: Elaboración propia

De la tabla (Tabla 13):

- La ruta AC1 es la que cuenta con un mayor desempeño en comparación a las demás rutas alimentadoras.
- De las 20 rutas alimentadoras ,5 de ellas poseen desempeño por debajo del 50%.
- Las rutas más destacadas son las AB con desempeños superiores al 70%.

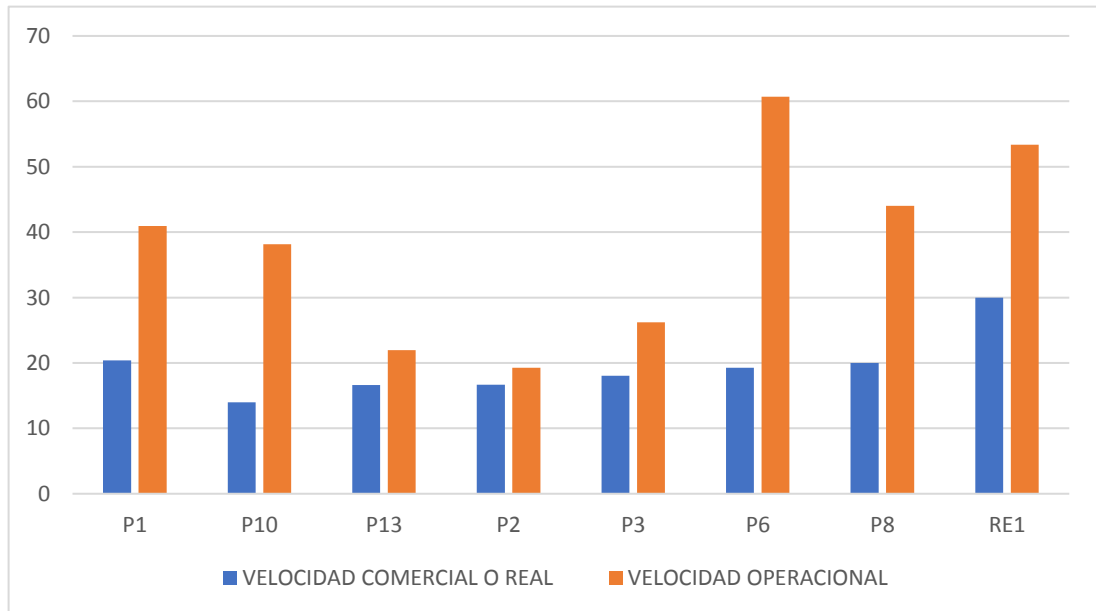
4.2 Desempeño rutas Pre Troncales

Tabla 14. Desempeño de las rutas Pre Troncales según sus velocidades comerciales y operacionales.

RUTA	VEL. COMERCIAL	VEL. OPERACIONAL	DESEMPEÑO
código	km/hora	Km/hora	%
P1	20.4	40.9	49%
P10	14.0	38.2	37%
P13	16.6	22.0	76%
P2	16.7	19.3	87%
P3	18.0	26.2	69%
P6	19.3	60.7	32%
P8	20.0	44.0	45%
RE1	30.0	53.4	56%

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Velocidades Comerciales y Velocidades operacionales de las rutas Pre-Troncales



Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se infiere (Tabla 14):

- Aunque la ruta P2 presenta una baja velocidad de circulación posee un buen desempeño con respecto a su velocidad de operación.
- La ruta P6 posee el desempeño más bajo de las rutas Pre Troncales.

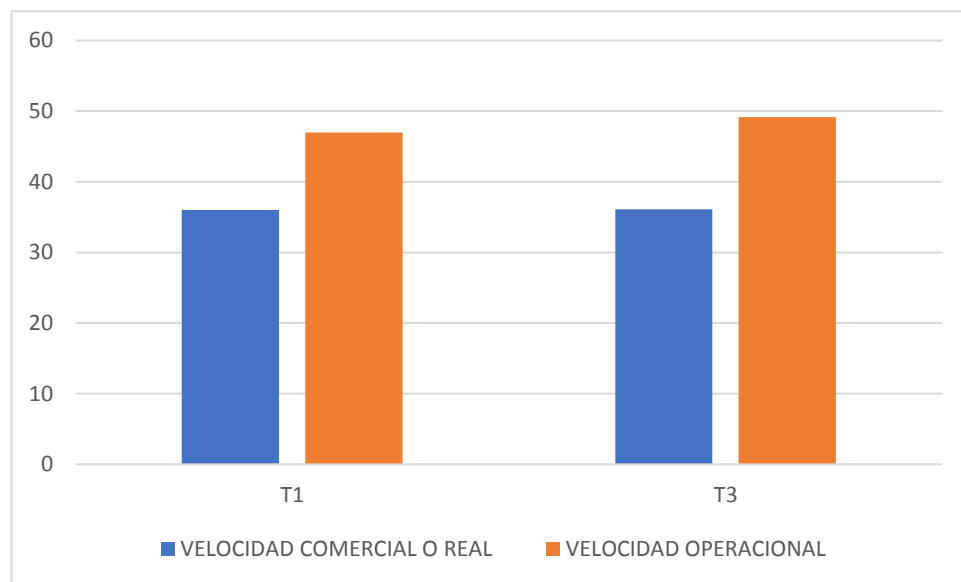
4.3 Desempeño rutas Troncales

Tabla 15. Desempeño de las rutas Troncales según sus velocidades comerciales y operacionales.

RUTA	VEL. COMERCIAL	VEL. OPERACIONAL	DESEMPEÑO
código	km/hora	Km/hora	%
T1	36.0	47.0	77%
T3	36.1	49.2	73%

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Velocidades Comerciales y Velocidades operacionales de las rutas Troncales



Fuente: Elaboración propia

De la tabla (Tabla 15):

- Las rutas troncales tienen un desempeño elevado gracias a sus carriles exclusivos [6].

5. ANÁLISIS DE LA FLOTA DEL SITM

En este proyecto trabajamos con las tres tipologías que existen en el sistema integrado de transporte masivo (SITM).

BUS ARTÍCULADO

La tipología de estas rutas es un bus articulado con Capacidad para 160 personas Compuesto por 2 vagones, se desplaza por la vía troncal únicamente tiene puertas de acceso en la parte izquierda para acceso en las Estaciones, tiene dos puertas a la derecha que se usan en caso de emergencia. (Marcas Volvo B12M y Mercedes Benz Carrocerías Marcopolo Gran Viale y Busscar Urbanuss Pluss)

Figura 11. Tipología bus articulado



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/>

BUS PADRÓN

Capacidad para 90 personas. Vehículo con capacidad de 90 pasajeros tiene puerta de acceso en el lado izquierdo y derecho este tiene paradas tanto en Estaciones como en el andén de los corredores pe-troncales. (Marcas Volvo B9R y Mercedes Benz Carrocerías Marcopolo Gran Viale y Busscar Urbanuss Pluss)

Figura 12. Tipología bus Padrón



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/>

BUS ALIMENTADOR

Capacidad para 45 personas. Se encargará de movilizar a los usuarios hacia y desde los barrios hasta las Estaciones, tiene acceso únicamente por la parte derecha. (Marca Mercedes Benz, Carrocerías Marcopolo Senior y Busscar Masster)

Figura 13. Tipología bus Alimentador



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/>

Análisis de las flotas

Para el análisis de la flota operacional según la información obtenida del estudio de los aforos a partir de las variables número de pasajeros que abordan por parada, los tiempos de espera de cada uno de ellos y el ciclo de la ruta. Teniendo en cuenta que la necesidad de cada ruta se marca por la demanda máxima durante todos los recorridos, en este caso no se determina una flota promedio entre el transcurso del día sino el valor máximo obtenido durante el día esto quiere decir la flota demandada en la hora pico.

5.1 Análisis de la flota para rutas alimentadoras

De la tabla (Tabla 16) se observa:

- La flota con la que opera actualmente Metrolinea es de casi 3 veces más de la calculada.
- Ya que la flota actual es tan elevada, esto genera un alto valor en costos de operación condicionados a pagar gastos de todos los buses, cuando la cantidad podría ser ajustada para disminuir costos.
- Al tomar medidas del aumento de la velocidad operacional, esto genera una disminución entre el intervalo de las rutas, lo cual puede generar el mejoramiento de la flota para el SITM.

Tabla 16. Flota operacional y actual del sistema para rutas alimentadoras

RUTA	FLOTA OPERACIONAL	FLOTA ACTUAL
código	Vehículos	Vehículos
AB1	2	7
AB2	3	13
AB3	1	2
AC1	1	3
AC4	2	3
AF1	1	5
AF2	1	4
AN1	1	6
AP1	1	5
AP12	1	5
AP2	1	4
AP3	1	4
AP5	1	4
AP7	1	4
APD1	3	4
APD2	3	2
APD4	3	3
APD6	2	3
APD7	2	7
APD8	1	5
Flota de Reserva	3.2	
Total	32	93

Fuente: Elaboración propia e información suministrada por metrolínea

5.2 Análisis de la flota para rutas pre-troncales

Tabla 17. Flota operacional y actual del sistema para rutas Pre Troncales

RUTA	FLOTA OPERACIONAL	FLOTA ACTUAL
Código	Buses	vehículos
P1	4	8
P10	32	14
P13	6	9
P2	15	9
P3	7	11
P6	10	9
P8	32	15
RE1	7	15
Flota de Reserva	11.3	
Total	113	90

Fuente: Elaboración propia e información suministrada por Metrolinea

Se observa (Tabla 17):

- La flota actual de Metrolinea para las turas pre troncales no es suficiente para abarcar la demanda necesaria.

5.3 Análisis de la flota para rutas pre-troncales

Tabla 18. Flota operacional y actual del sistema para rutas Troncales

RUTA	FLOTA OPERACIONAL	FLOTA ACTUAL
Código	Buses	vehículos
T1	10	8
T3	13	8
Flota de Reserva	2,3	
Total	26	16

Fuente: Elaboración propia e información suministrada por Metrolínea

De la tabla:

- La flota actual de Metrolínea para las turas Troncales no posee suficientes vehículos para cumplir con la demanda actual del sistema (Tabla 18).

6. CONCLUSIONES

- Según los análisis realizados el SITM opera con un IPK de 4.7 el cual se encuentra dentro de una calificación “Buena” sin embargo en el documento CONPES 3370 del 2005 establece que el sistema debería operar con un IPK consolidado de 7.5. y como mínimo un IPK de 4.0 [7].
- El perfil de carga para todas las rutas del sistema se tiene un comportamiento conforme a las horas pico y valle sin embargo existen casos en los que la capacidad del vehículo no cumple con la demanda exigida, lo que ocasiona demora en tiempos de llegada he incomodidad para el transporte de los pasajeros, esto conlleva a la elección del transporte informal o al transporte particular para evitar las externalidades negativas del SITM. Las principales rutas que presentan esta sobre capacidad de los vehículos en las horas picos son AB2, AF2 y APD7 de las rutas alimentadoras, de las Pre Troncales RE1, P2 y P3 por ultimo las dos rutas troncales presentan en algunos momentos del día su capacidad superada.
- El desempeño de las rutas del SITM rondan alrededor de un 59%, lo que es aceptable sin embargo existen rutas que debido a la falta de flota requerida en horas pico, generan una baja en la velocidad operacional con la cual fue medido el desempeño. También se tuvo en cuenta los buenos resultados de las rutas troncales las cuales al poseer la flota más adecuada con respecto a la recomendada según el estudio, además un factor importante en su cumplimiento es que esas poseen los carriles exclusivos.
Lo cual nos lleva a pensar en la necesidad de buscar soluciones para bajar la densidad de vehículos en el área metropolitana de Bucaramanga para que permita una mejor circulación, teniendo en cuenta una unión entre el sistema del masivo y el colectivo convencional para que en lugar de competir entre sí colaboren para mejorar el sistema de transporte en la ciudad.

- Los ingresos diarios del sistema los cuales fueron medidos en función de la demanda diaria ajustada a los indicadores del transbordo de pasajeros son positivos como resultado, obteniendo un aproximado ingreso del día del aforo de \$ 101'442.155 millones. Sin embargo hay que tener en cuenta los planes de desarrollo de Metrolinea los cuales nos muestran que esta cifra no es la esperada para los planes del sistema, ya que en el plan de desarrollo del sistema de los años 2013 a 2015 las directivas de Metrolinea se propusieron completar la meta con respecto a la demanda de 150000 pasajeros al día ,que al ser comparado con los del día del estudio la cual fue de 118699 nos dice que los ingresos totales de un día de operación no son buenos ya que apenas se cumple aproximadamente con el 79% de la demanda de pasajeros siendo que este objetivo fue tomado para el año 2015 .

Lo anterior mencionado únicamente nos sugiere la necesidad de plantear medidas que permitan aumentar los ingresos del sistema para que este sea viable.

- La demanda obtenida para la flota operacional del sistema de los buses alimentadores es aproximadamente la tercera parte de la efectiva actualmente siendo la operacional de 32 y la efectiva de 93.

Esto demuestra la ineficiencia del sistema ante una pobre demanda con una oferta de vehículos operando en rutas especialmente alimentadoras que no corresponden a una eficiente formulación del sistema en general.

7. RECOMENDACIONES

- Eliminar la ruta APD8 debido a que la demanda suministrada es muy baja por lo tanto presenta bajo IPK e ingresos negativos, trasladando el parque automotor a otra ruta eficiente.
- Realizar una intervención en el parque automotor de las rutas alimentadoras ya que este excede casi 3 veces más de la flota recomendada y mejorado estos recursos invertir en la flota faltante para los buses padrones y articulados
- El valor de IPK de los alimentadores en hora valle es de mala calificación, por lo que se sugiere que en horas valle deba hacerse la alimentación con buses del sistema colectivo convencional con el montaje de validadores, debido que el costo por kilómetro de recorrido es más económico.
- Para el mejoramiento del desempeño es necesario crear medidas que disminuyan la densidad de vehículos para que permitan un mejor flujo del transporte público e incite a optar por el uso del sistema masivo.
- Combatir el transporte informal que moviliza el 20% del transporte de la ciudad dejando a la ciudad con un promedio mensual aproximado de 100.000 pasajeros diarios para Metrolínea.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]AREVALO DURAN, Luis David. Documento del planteamiento la propuesta de mejoramiento del SITM y STPC. Cotrausan. Pag 83-89.
- [2]Consejo de Bucaramanga. Informe de gestión a diciembre de 2016. En internet : <http://www.redalyc.org/pdf/1053/105316842005.pdf>
- [3]Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento 3370. En internet:
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Econ%C3%B3micos/3370.pdf>
- [4]Consejo Nacional de Política Económica y Social, Documento 3370. En internet:
[https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/CONPES/CONPES_3260_TRANSPORT E_MASIVO.pdf](https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/CONPES/CONPES_3260_TRANSPORT_E_MASIVO.pdf)
- [5]El espectador. Alerta roja en el transporte Masivo. En internet:
<https://www.elespectador.com/noticias/nacional/alerta-roja-en-el-transporte-masivo-articulo-696644>
- [6]Manual de cálculo de los indicadores de monitoreo y evaluación de proyectos de transporte urbano en Colombia. Índice Pasajeros Kilometro. En internet:
http://portal.mintransporte.gov.co:8080/transporte_urbano/Manual%20de%20Indicadores.pdf
- [7]Metrolinea. Plan de desarrollo 2013-2015. En internet:
<https://neogestion.neoinf.com/publico/documentos/38/70-101.6.1.F0.pdf>