

Estimación del costo de transición de buses Diésel a eléctrico en el sistema Metrolínea de
Bucaramanga

Brayam Alexis Ardila Martínez

Camilo Andrés López Alba

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Miller Humberto Salas Rondón

Ing.Ph.d. En Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga

2020

Dedicatoria

Mi paso por la universidad ha marcado el inicio productivo de mi vida, llegué divagante, sin tener claro que quería y para donde iba en este mundo tan relativo y difícil, pero la universidad cumplió, me dotó de herramientas suficientes para afrontar la vida, gracias mi querida UIS

A mis padres, hermanos, tíos y primos que con su enorme esfuerzo y amor me han apoyado y siempre han estado allí para mí.

A mis amigos de infancia y de colegio del pueblo, con quienes logré evidenciar la dificultad del trabajar en el campo, de donde provengo a mucho honor.

A mis amigos y compañeros de carrera con los que me forje durante esta travesía que comenzó en Socorro (Santander).

A mis profesores que compartieron sus conocimientos con pedagogía y rigor permitiendo formarme con criterio, ética profesional y mucho carácter.

A mi novia, por ser tan diferente a mí, y apoyarme.

A mi abuelo que murió sin darme tiempo de mostrarle donde voy.

Brayam Alexis Ardila Martínez

Dedicatoria

“¿How many roads must a man walk down before you call him a man?”

Muchas gracias a mis papas, hermano y familiares que me apoyaron y me ayudaron a comenzar este largo camino, igualmente como a todas aquellas personas que me fui encontrando a lo largo de esta grata experiencia.

¡Gracias totales!

Camilo Andrés López Alba.

Agradecimientos

De antemano damos sinceros agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander por permitirnos realizar y culminar esta investigación con éxito, a nuestro director el Ingeniero Miller Humberto Salas Rondón, a todos los funcionarios del Metrolínea que nos prestaron su asesoría y disposición, igualmente a los funcionarios del AMB que nos facilitaron información y nos brindaron datos importantes para la realización de este proyecto.

Tabla de Contenido

1. Objetivos.....	15
1.1. Objetivo General	15
1.2. Objetivos Específicos	15
2. Movilidad sostenible	16
2.1. Movilidad sostenible en ciudades principales de Colombia.....	17
2.1.1 Bogotá.....	18
2.1.2 Valle de Aburrá	18
2.1.3 Santiago de Cali	19
2.1.4 Bucaramanga.....	19
3. Beneficios ambientales de la implementación de buses eléctricos	20
4. Antecedentes de los buses eléctricos.....	22
4.1. China.....	22
4.2. Europa.....	23
4.3. América latina	24
4.3.1 Chile	25
4.3.2 Ecuador	26
4.3.3 Argentina	26
4.3.4 Brasil.....	27
4.3.5 Uruguay	27
4.3.6 Paraguay.....	28

4.3.7 Perú.....	28
4.3.8 Colombia.....	29
4.3.8.1 Santiago de Cali.....	29
4.3.8.2 Medellín	29
4.3.8.3 Bogotá.....	30
5. Marco de referencia.....	30
5.1. Diagnóstico del transporte público Metrolínea en Bucaramanga	30
5.1.1 Uso del SITM en el Área Metropolitana de Bucaramanga.....	30
5.1.2 Esquema operacional.....	31
5.1.3 Diagnostico Situación actual en infraestructura.....	31
5.1.4 Diagnóstico financiero de la flota	34
5.2. Tipos de buses eléctricos ofertados y estudio de mercado	35
5.2.1 Empresas oferentes de buses eléctricos en Colombia	35
5.2.1.1 BYD (Build Your Dreams).....	35
5.2.1.2 SUMWIN Bus Corporation	35
5.2.1.3 BUSSCAR	36
5.2.2 Buses eléctricos ofertados por las empresas en Colombia actualmente.....	36
5.3. Descripción de los costos.....	38
5.3.1 Costo operacional SITM.....	38
5.3.1.1 Costos variables.....	39
5.3.1.1.1 Costo energético	39
5.3.1.1.2 Lubricantes.....	39
5.3.1.1.3 Llantas.....	40

5.3.1.1.4 Mantenimiento.....	40
5.3.1.1.5 Servicio de estación	40
5.3.1.2 Costos fijos.....	41
5.3.1.2.1 Recursos humanos	41
5.3.1.2.2 Gastos administrativos	41
5.3.1.2.3 Parqueadero.....	42
5.3.1.2.4 Impuestos	42
5.3.1.2.5 Seguros.....	42
6. Metodología.....	43
6.1. Análisis de los costos y beneficios de los buses eléctricos.....	43
6.1.1 Análisis costos operacionales, administrativos y de capital de buses eléctricos.	44
6.1.1.1 Costo operacional SITM.....	44
6.1.1.1.1 Costo energético Kwh.....	44
6.1.1.1.2 Lubricantes.....	45
6.1.1.1.3 Llantas.....	45
6.1.1.1.4 Mantenimiento.....	46
6.1.1.1.5 Recaudo Centralizado	47
6.1.1.1.6 Recurso humano (salarios).....	48
6.1.1.2 Costos Administrativos.....	48
6.1.1.2.1 Parqueadero.....	48
6.1.1.2.2 Administración	49
6.1.1.2.3 Servicio de estación	49
6.1.1.2.4 Impuestos	50

6.1.1.2.5 Seguros.....	50
6.1.1.3 Costo de capital	51
6.1.1.3.1 Margen	51
6.1.1.3.2 Recuperación de capital	51
6.1.2 Análisis costos totales por kilómetro de buses Diesel actuales.	52
6.1.3 Costos y beneficios por kilómetro de buses eléctricos en comparación con los buses Diesel actuales.	52
7. Resultados y discusión	53
7.1. Margen neto del proyecto	53
7.1.1 Padrón.....	53
7.1.2 Articulado	54
7.2. Comparación margen neto actual y futuro.....	54
7.2.1 Padrón.....	55
7.2.2 Articulado.	55
8. Conclusiones.....	56
9. Recomendaciones.....	57
10. Trabajos futuros	57
Referencias bibliográficas	59
Apéndices	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Características técnicas Buses Diésel	33
Tabla 2. Balance operacional acumulado del SITM (Millones)	34
Tabla 3. Especificaciones técnicas buses eléctricos	37
Tabla 4. Costos del consumo energético padrón.....	44
Tabla 5. Costos del consumo energético articulado	45
Tabla 6. Costos de mantenimiento padrón.....	46
Tabla 7. Costos de mantenimiento articulado	47
Tabla 8. Componentes del servicio de estación	49
Tabla 9. Costo por impuestos padrón y articulado.....	50
Tabla 10. Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa actual padrón.....	53
Tabla 11. Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa actual articulado	54
Tabla 12. Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa propuesta padrón	55
Tabla 13. Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa propuesta articulado	55

Lista de Figuras

Figura 1. Rutas del SITM.....	31
Figura 2. Bus padrón eléctrico Sumwin 12 M LF.....	38
Figura 3. Bus articulado eléctrico Sumwin Piso Alto	38

Lista de Apéndices

Apéndice A. Costos y beneficios por kilómetro de buses eléctricos Diésel y eléctrico.....	62
Apéndice B. Costos medios por Kilómetro y anuales de vehículo eléctrico PADRON	63
Apéndice C. Costos por kilómetro y anuales de un vehículo eléctrico padrón	63
Apéndice D. Costos medios por Kilómetro y anuales de vehículo eléctrico PADRON.....	64
Apéndice E. Costos por kilómetro y anuales de un vehículo eléctrico articulado.....	64
Apéndice F. Estados financieros con tarifa actual de vehículo eléctrico padrón.....	65
Apéndice G. Estados financieros con tarifa alternativa de vehículo eléctrico padrón	65
Apéndice H. Estados financieros con tarifa actual de vehículo eléctrico articulado	66
Apéndice I. Estados financieros con tarifa alternativa de vehículo eléctrico articulado.....	66

Resumen

Título: Estimación del costo de transición de buses diésel a eléctrico en el sistema Metrolínea de Bucaramanga. *

Autores: Brayam Alexis Ardila Martínez, Camilo Andres López Alba. **

Palabras Clave: Movilidad sostenible, electromovilidad, buses eléctricos, medio ambiente, contaminación.

Descripción:

Los altos niveles de contaminación ambiental generados en las ciudades por su transporte público han encendido las alarmas mundiales por su enorme consumo de combustible fósil, el cual se encuentra ligado a diferentes enfermedades que afectan la salud de los ciudadanos. Una solución ambiental a este problema es contribuir hacia la movilidad sostenible, en donde se alienta a las ciudades a emprender proyectos como el cambio de sus flotas de buses diésel a buses eléctricos. En este trabajo se compararon y evaluaron todos los costos de adquisición, administración y operación de buses padrones y articulados eléctricos para que a futuro reemplacen los buses que actualmente funcionan con Diesel en el SITM Metrolínea de Bucaramanga. Los resultados muestran la viabilidad, beneficios, ventajas ambientales y la tarifa que se requiere para que entre en operación buses eléctricos en la ciudad, con lo cual se requiere un apoyo tanto del gobierno nacional como a nivel local.

* Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miller Humberto Salas Rondón
PhD. en Gestión Territorial e Infraestructuras de Transporte

Abstract

Title: Estimate of the cost of transition from diesel to electric buses in the Metrolínea de Bucaramanga system. *

Authors: Brayam Alexis Ardila Martínez, Camilo Andrés López Alba. **

Key Words: Weather station, precipitation, temperature, anomaly, consistency, suspicious data.

Description:

The high levels of environmental pollution generated in cities by public transport have set off world alarms for its enormous consumption of fossil fuel, which is linked to different diseases that affect the health of citizens. An environmental solution to this problem is to contribute towards sustainable mobility, where cities are encouraged to undertake projects such as changing their fleets from diesel buses to electric buses. In this work, all the costs of acquisition, administration and operation of standard and articulated electric buses were compared and evaluated so that in the future they replace the buses that currently operate with Diesel at the SITM Metrolínea de Bucaramanga. The results show the viability, benefits, environmental advantages, and the rate that is required for electric buses to come into operation in the city, which requires the support of both the national government and the local level.

*Degree Thesis

** Faculty of Engineering Physics-Mechanics. School of Civil Engineering. Directed by Miller Humberto Salas Rondon Ph.D. in in Territory Management and Transport Infrastructures

Introducción

La ciudad de Bucaramanga cuenta con niveles considerables de contaminación, esta proviene en gran medida del alto consumo de combustible fósil, el cual se encuentra ligado a diferentes enfermedades que afectan la salud pública. Por ello se hizo necesario buscar una solución a través del cambio de buses de diésel usados a buses eléctricos. Esta investigación se desarrolló teniendo en cuenta que se está a tiempo de encontrar alternativas que impidan el crecimiento acelerado de la gran brecha de contaminación que hoy hay en todo el mundo, y todo este proyecto está formulado a partir de un estudio económico a desarrollar el cual nos va a permitir cuantificar de manera exacta el valor de la transición de las flotas de buses Diésel a sistemas eléctricos y permitir sacar conclusiones que más adelante contribuyan en una posible implementación de este sistema de transporte alternativo.

Todo esto sin olvidar que un cambio de esta envergadura conlleva una inversión inicial de dinero considerable y si se buscan ganancias monetarias se verán a largo plazo, pero se debe tener en cuenta que se obtiene una utilidad directa a corto plazo: cuidado del “medio ambiente”. Todo esto y sumado a múltiples factores hacen de estos proyectos poco rentables a corto plazo dado que para su infraestructura (estaciones de carga, redes, entre otras) y vehículos se requiere una gran inversión, pero ya después que se tenga un sistema eléctrico organizado los costos disminuirán y viabilizarán estos proyectos.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Estimar los costos y beneficios de cambiar la flota de vehículos Articulados y Padrones del Sistema de Transporte Masivo Metrolínea que actualmente funcionan con diésel a vehículos Eléctricos.

1.2. Objetivos Específicos

Dar a conocer mediante un cuadro comparativo los costos y beneficios por kilómetro de la utilización de los vehículos eléctricos para Metrolínea.

Determinar el margen neto del proyecto con la tarifa actual a 15 años.

Proponer una tarifa alternativa y comparar el margen neto futuro versus el ya establecido.

2. Movilidad sostenible

Como consecuencia del abuso indiscriminado de recursos naturales no renovables para atender la demanda de transporte de pasajeros en las ciudades, se han visto en la obligación de encontrar soluciones sostenibles a esta problemática mundial, donde el cuidado del medio ambiente pasa a ser el eje central de las ciudades.

La movilidad sostenible se centra en la utilización de medios de transportes alternativos y amigables con el medio ambiente, es un modelo de movilidad que busca reducir el impacto negativo al medio ambiente que los medios de transportes convencionales generan a diario, igualmente se preocupa por la calidad de vida y el bienestar de las personas. Según el informe Nuestro Futuro Común presentado por la por la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU (Bloomberg New Energy Finance, 2018), la sostenibilidad indica que el medio ambiente es el principal factor a tener en cuenta a la hora de buscar soluciones en los problemas de la movilidad urbana, no solo relaciona los factores ambientales, económicos y sociales sino que establece una jerarquía entre ellos, encontrando que la destrucción del aspecto ambiental debilitaría en materia de salud la población y a su vez imposibilitaría el progreso económico de la región (Guillamón & Hoyos, 2019), por lo tanto se han visto obligados en encontrar soluciones a los grandes volúmenes de contaminación provocados por el transporte público masivo.

A lo largo de la historia reciente, se han desarrollado diferentes estrategias para orientar las políticas mundiales hacia la movilidad sostenible, el informe del parlamento europeo 2015 que trata temas sobre movilidad urbana sostenible, exhorta a los países miembros a que concedan prioridad a los métodos de transporte que produzcan menos emisiones, entre ellas la

electromovilidad y los vehículos propulsados por combustibles alternativos, hace énfasis en la utilización de estos sistemas en el uso del transporte público (Europeo, 2019). En el escenario de movilidad futuro, contemplado en los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS) ampliamente aceptados por los países europeos, se pueden englobar en 4 pilares los factores más importantes, con la intención de encontrar la proporción justa entre la civilización y el ambiente, estos pilares son:

1. La reducción de la necesidad de transporte; planificación urbana, reducción de emisiones, reducción de transporte motorizado.
2. La potencialización del cambio modal; uso de modos de transporte alternativo al vehículo particular.
3. Desarrollo de sistemas de transporte limpios; vehículos con bajas emisiones y uso de combustibles alternativos.
4. Mejoramiento de la eficiencia del transporte; reducción de impactos ambientales a través del control de los flujos vehiculares, la organización y gestión del tráfico (González, 2015).

2.1. Movilidad sostenible en ciudades principales de Colombia

En Colombia estamos viendo los primeros pasos en materia de movilidad sostenible, los gobiernos departamentales y municipales han comenzado a crear y probar estrategias que involucran un actuar diferente en la movilidad de sus ciudades. A los diferentes esfuerzos de las ciudades colombianas de transformar su aumento de demanda de transporte en oportunidades, el gobierno nacional de Colombia a través de la ley 1964, está promoviendo la utilización de vehículos eléctricos y de cero emisiones con el objetivo de contribuir a una movilidad sostenible y a la reducción de gases invernadero y emisiones de contaminantes. En esta ley se aclaran y

enumeran las diferentes ventajas tributarias y logísticas que contarán los vehículos eléctricos a lo largo del país, así como los diferentes objetivos que tiene el gobierno en materia de infraestructura para la carga de estos (Congreso de Colombia, 2019).

2.1.1 Bogotá. En la capital colombiana se están adelantando programas sociales que animan al ciudadano a movilizarse en transportes alternativos, se encuentran proyectos recientes en donde busca que la principal avenida de la ciudad, la avenida séptima, se motive el uso de energías limpias además que privilegie a los ciclistas y peatones. En acciones coordinadas con la alcaldía de Bogotá, la alcaldesa ha decretado medidas para el aumento de la cobertura de las bicicletas públicas y la ampliación de la red de ciclo rutas además de los espacios peatonales a lo largo de la ciudad, en ciertas zonas de la capital colombiana se incentiva el uso de patinetas (Scooter) eléctricas, asimismo ha involucrado en su transporte público masivo buses eléctricos que operan en toda la ciudad, todo esto por consecuencia de la mala calidad del aire reportado en los últimos años (Cindy Castiblanco, 2020).

2.1.2 Valle de Aburrá. El valle de Aburrá con cabeza en Medellín, considerada como una de las ciudades vanguardistas de Colombia, se han adelantado diferentes programas sociales para impulsar la utilización de transportes alternativos, Al igual que la capital colombiana, el área metropolitana del Valle de Aburrá que consta de 10 municipios, apuesta por la ciclocaminabilidad al construir 120 km de cicloinfraestructura donde prioriza el mejoramiento del espacio público para sus habitantes.

El valle cuenta con Encicla un programa de bicicletas públicas que a lo largo del Valle de Aburrá cuenta con 150 estaciones, donde se busca integrar esta movilidad limpia al Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá-SITVA. La alcaldía de la ciudad está preparando a los conductores de las empresas transporte público en conducción ecológica, en donde se centra en el manejo eficiente para evitar la quema injustificada de combustible (Secretaría de Cambio Climático y Medio Ambiente. UGT Confederal, 2018).

2.1.3 Santiago de Cali. El gobierno municipal de Santiago de Cali, en el marco de sus funciones legales, a través del departamento administrativo de planeación municipal, ha conformado El observatorio de movilidad sostenible (el observatorio Movis), con el objetivo de evaluar la oferta y la demanda de diferentes modelos de transporte, para formular propuestas en pro de una movilidad en la ciudad con bases en la sostenibilidad, en acciones emprendidas con el aval y el seguimiento del observatorio Movis se encuentran, la ampliación de cobertura y ambientalización de las redes peatonales a lo largo de la ciudad, el estudio y la puesta en marcha para robustecer la infraestructura de las ciclo rutas (Ilárraz Rodríguez, 2019). Cali es pionero en el país en la utilización de buses eléctricos en su sistema de transporte masivo.

2.1.4 Bucaramanga. En la ciudad de Bucaramanga se ha creado un sistema de bicicletas públicas (Metrobici), este sistema se encuentra estratégicamente distribuido en 8 puntos de la ciudad y que cuentan con más de 200 bicicletas.

A la par de esta iniciativa se ha proyectado la construcción de 17,4 km de los cuales ya se han construido 2,6 km de ciclo-infraestructura para impulsar a la ciudadanía a movilizarse en sistemas

alternativos no motorizados, esta unión de esfuerzos muestra una ciudad comprometida en la implementación de una movilidad sostenible (Félix Cristancho, 2020).

3. Beneficios ambientales de la implementación de buses eléctricos

Como consecuencia de la utilización desmedida de combustibles fósiles, como principal fuente de energía para los buses que transitan en la ciudad, la calidad de vida y la salud de los ciudadanos se ha visto afectada por el importante porcentaje de contaminación atmosférica, debido a los altos niveles de dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono y partículas en suspensión que este genera. Los recientes avances en las tecnologías verdes se han centrado en el acoplamiento de nuevos tipos de energías limpias en los diferentes tipos de vehículos que encontramos en las ciudades, por lo tanto, el mejoramiento del transporte público como principal foco de contaminación, se ha convertido a nivel mundial en una tendencia cada vez más positiva, para así alcanzar la meta propuesta por la ONU.

El empleo de la energía eléctrica como fuente impulsadora de la flota de buses públicos es una tecnología relativamente nueva, pero ha demostrado grandes resultados a la hora de reducir la generación de gases nocivos al ambiente, un estudio realizado en el 2016 nos indica que la utilización de buses eléctricos en el transporte público tiene el potencial de reducir hasta en un 75% de las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente, mejorando la calidad del aire de la ciudad y marca un gran avance hacia la lucha contra los gases invernaderos que contribuyen al calentamiento global, los buses eléctricos comparados con los buses diésel tienen la capacidad de reducir en un 98,4 % la emisión de gases contaminantes a la atmosfera (Mahmoud, Garnett, Ferguson, & Kanaroglou, 2016).

Avanzar hacia las ciudades seguras y resilientes propuestas por la ONU, conlleva enormes retos logísticos y de infraestructura a la hora de enfrentar los diferentes tipos de contaminación ambiental generado por el transporte público masivo. Las principales causas de ruidos molestos en las ciudades provienen del transporte público y obras de construcción. Conceptuando el ruido como aquel sonido que no alcanza niveles lo suficientemente alto, pero representan un peligro para la audición y el bienestar psíquico de las personas (Amable et al., 2017), se asocia el ruido con diferentes tipos de enfermedades como accidentes cerebrovasculares, hipertensión, demencia y coronaria cardiopatía, se sabe que los buses eléctricos operan con niveles de sonido 17 dB menor a los buses diésel, pasando de un promedio de 70 dB a 60 dB. Medidos en escala logarítmica corresponde a la reducción de la mitad del ruido generado por los buses diésel, el cambio de la zona afectada se reduce en un 66% debido a que los sonidos producidos por los motores diésel viajan una distancia 3 veces mayor que los eléctricos (GGGI and CSTEP, 2016).

El mercado de los buses eléctricos ha ido en aumento, gracias a la creciente preocupación ambiental generado por los increíbles volúmenes de contaminación que son arrojados al aire cada año por las flotas de buses diésel. Numerosos gobiernos y ciudades se han unido a la transición de sus flotas de buses diésel a buses eléctricos, con el objetivo de mejorar la calidad del aire, siendo esta energía limpia la más efectiva en la lucha contra la contaminación, comparada con otros tipos de vehículos ecológicos como los propulsados por el gas natural o los vehículos híbridos que también se considera energías limpias, además de que se pueden encontrar una gran variedad de estos en el mercado, por lo tanto, los buses eléctricos son la mejor opción para contrarrestar los efectos nocivos de la contaminación en las ciudades, mejorando la salud de las personas que viven en ella y reduciendo la posibilidad de sufrir enfermedades respiratorias graves (JafarzadehFadaki, Abbasi1, & Esmailzadeh, 2018).

4. Antecedentes de los buses eléctricos

4.1. China

El principal productor de buses eléctricos en el mundo es China, por lo cual es el país que está liderando la implementación de este tipo de buses en su transporte público, para nadie es un secreto que la industrialización del país asiático ha traído consigo enormes problemas de contaminación y muy mala calidad de aire. Para mejorar la situación actual del país el gobierno chino ha incentivado la utilización de este tipo de vehículos con subsidios nacionales y locales que permiten la adquisición de estos y una fuerte inversión en infraestructura eléctrica para su recarga, gracias a las ayudas recibidas el 17% de los buses que transitan en China son con energía eléctrica. Se estima que cada 5 semanas se ponen en funcionamiento 9000 buses eléctricos en el gigante asiático por lo cual este país se encuentra liderando e incentivando la implementación de estos buses por las carreteras urbanas (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

Actualmente en China se encuentran rodando el 99% de los buses eléctricos en el mundo (Bloomberg New Energy Finance, 2018), una cifra que se puede explicar fácilmente al encontrar que BYD es la compañía más grande de buses eléctricos en el mundo y tiene su centro de operaciones en China, esta compañía cuenta con 30 unidades industriales por todo el mundo. BYD en este momento tiene operaciones en más de 200 ciudades y en el 2019 esta empresa vendió alrededor de 90000 buses solo en China.

Shenzhen: Es la primera ciudad del mundo que cuenta con una flota de buses de transporte público 100% eléctrica (Bloomberg New Energy Finance, 2018), esta ciudad de 12 millones de habitantes y más de 6000 años de antigüedad comenzó la transición de su flota en el año 2010, los primeros autobuses eléctricos se concentraron en cubrir la zona universitaria de la metrópolis china, entre los años 2015 y 2017 Shenzhen adquirió la mayoría de los buses eléctricos logrando

la increíble hazaña. En la actualidad se estima que 17 000 buses eléctricos recorren Shenzhen junto con este gigantesco esfuerzo se han entregado 510 estaciones de carga que suman más de 8000 puntos de recarga a lo largo y ancho de la ciudad China. Según las estadísticas de la comisión municipal de transporte de Shenzhen se pudo evidenciar una reducción total de emisiones de CO₂ de 1353 toneladas que corresponde al 48,3%, además de una disminución de contaminantes como los dióxidos de nitrógeno, los hidrocarburos no metanos y material particulado en al menos 431,6 toneladas anuales.

4.2. Europa

De la mano del séptimo programa de investigación y desarrollo tecnológico (7PM) del 2013, que corresponde a la herramienta más importante de la unión europea, encargada de la realización y financiación de diferentes tipos de investigaciones tecnológicas, encontramos que, en sus prioridades están la formulación de un cambio en materia de energía en el transporte público y protección del medio ambiente en sus ciudades (Europeas, 2007).

En consecuencia, de estos esfuerzos, se conformó el proyecto Zero Emissions Urban Bus System (ZeEUS), el proyecto ZeEUS se centra en la utilización e investigación de buses eléctricos en diferentes ciudades a lo largo de toda Europa. Con un presupuesto de 22,2 millones de euros y más de 40 socios en los que se pueden encontrar universidades, grupos económicos importantes, empresas pioneras en la movilidad eléctrica en Europa, diseñadores y productores de buses eléctricos en busca de incorporar la energía eléctrica como principal fuente de energía de locomoción del transporte público.

El proyecto ZeEUS centra sus operaciones en nueve ciudades con diferentes condiciones operativas para tener mayor rango de estudio en cuanto a sus capacidades económicas sociales y

ambientales. Entre los principales objetivos del proyecto, se encuentra poder adoptar estos buses eléctricos en los transportes públicos masivos de las grandes ciudades a lo largo de Europa, evaluar la viabilidad económica, social y ambiental de este tipo de tecnología en las grandes ciudades y encontrar las soluciones a los problemas que se presenten en la adopción de estos tipos de proyectos.

Al proyecto ZeEUS se le suman más proyectos de movilidad eléctrica liderados por las naciones unidas, como lo son Green eMotion y Unplugged, las cuales se vinculan a la iniciativa mundial de movilidad sostenible para disminuir de manera significativa la polución en las ciudades. Estos programas al igual que ZeEUS encuentran en los vehículos eléctricos soluciones viables.

Debido al incremento en la demanda de buses eléctricos alrededor del mundo, se han conformado varias empresas europeas que se encargan de desarrollar y construir estos buses, empresas como VDL bus coach con centro de operaciones en Holanda se le suma la compañía Solaris bus & coach que se encuentra en Polonia. Grandes compañías como Volvo que nació en Suecia han detenido la producción de sus autobuses diésel para concentrarse en el diseño y construcción de buses eléctricos. Otras compañías de increíble trayectoria como Mercedes e Iveco han comenzado a desarrollar sus propios buses eléctricos porque se han dado cuenta que la tendencia mundial al cuidado del medio ambiente en las ciudades encuentra un increíble aliado en estos buses.

4.3. América latina

En esta parte del continente, la implementación de estos nuevos tipos de buses se remonta a pocos años atrás, aunque ya se han visto varios gobiernos comprometidos en actualizar sus flotas del transporte público masivo. Actualmente la mayoría de los países de América latina cuenta con

buses eléctricos en las calles de algunas de sus ciudades, como lo muestra la página ebusradar.org que actualiza en tiempo real el número de los vehículos de transporte público eléctricos rodado por América Latina (LABMOB, 2020).

4.3.1 Chile. En este momento Chile cuenta con la flota de buses eléctricos más grande de Latinoamérica, en su capital Santiago de Chile se encuentran rodando 384 de estos buses de la compañía China BYD, este gran paso fue dado por la empresa que regula el transporte público de la capital Transantiago. Esta transición comenzó en el 2016 con la llegada de un bus que se encargaba de hacer viajes gratuitos por la capital, a finales del 2017 se integran formalmente al SITP Transantiago 2 buses para fundar las bases de la electromovilidad en el país, a finales del 2018 Transantiago integra 100 buses más a su flota eléctrica para ser pionero en la movilidad sostenible el continente, a mediados del 2019 llegaron al país otra flota de 100 de estos buses, para ese momento se encontraban rodando 203 buses eléctricos por las carreteras de la capital chilena, la última flota que llegó al país lo hizo a finales del 2019 y comienzos del 2020 donde llegaron al país 183 buses. Con la implementación de los buses en Santiago de Chile se construyeron 3 electroterminales para suplir la demanda energética de estos buses y volverlos funcionales para suplir su función los cuales se demoran de 3 a 4 horas en cargar cada bus. Estos buses fueron diseñados para brindar un mayor confort a los usuarios, cuentan con conexión wifi, cargadores USB y aire acondicionado que vuelven más placentero el viaje.

El gobierno chileno prometió en la cumbre sobre el cambio climático de las Naciones Unidas (COP25) que el 100% de los buses de transporte público en el país será eléctrico para 2050, por lo cual deja entrever su preocupación por el medio ambiente y la salud de sus ciudadanos guiándolos hacia una movilidad sostenible.

4.3.2 Ecuador. Siguiendo las tendencias mundiales, Ecuador se suma a la nueva ola de la electromovilidad, sus primeros pasos se dieron a mediados del 2017 al incluir un bus eléctrico a modo de prueba en la ciudad de Guayaquil, se quería probar el rendimiento en la ruta debido a grandes pendientes que se pueden encontrar en la ciudad, el autobús paso la prueba con un gran desempeño sorteando sin problemas las grandes pendientes, por lo cual a mediados del 2019 entraron al país 20 buses eléctricos que van a estar gestionados por la empresa Saucinc, esta adquisición de estos buses se hacen con el apoyo articulado del gobierno nacional y municipal de la ciudad de Guayaquil que tiene como objetivo en sentar las bases de electromovilidad en el país, gracias a estos esfuerzos a finales del 2019 la capital quito anuncio su intención de mejorar su flota de buses al iniciar la licitación de la compra de 300 de estos buses.

4.3.3 Argentina. En argentina se dio inicio a un plan piloto de buses eléctricos, su objetivo general es probar los buses eléctricos de 3 diferentes marcas reconocidas como Zhongtong, Higer Bus Company y Zhengtong Yutong Bus Co Ltd., con estas empresas se busca probar diferentes tipos de buses así como diferentes tipos de carga para encontrar el bus ideal que se adapte mejor a la capital Argentina y así comenzar a mover su flota hacia la electrificación, en total son 8 buses que están rodando en la capital argentina, estos esfuerzos hacen parten de una tarea conjunta entre empresas del estado y la nación en el marco de un plan de desarrollo de movilidad limpia para el 2035.

Por otro lado, en la ciudad de Mendoza a mediados del 2019 llego su primera flota de buses, en total fueron 20 que comenzaron a operar en la empresa de buses Andesmar, estos buses hacen parte de la compañía china BYD que actualmente lidera el mercado latinoamericano. Con las

nuevas directrices dictadas por el gobierno nacional y con la ayuda de la corporación andina de fomento (CAF) Argentina espera en un futuro no muy lejano volverse líder en la movilidad sostenible en la región.

4.3.4 Brasil. Actualmente en la ciudad Campinas Brasil se encuentra una filial de la compañía BYD que se encarga de la construcción de chasis 100% eléctrico, por lo tanto, no es de asombrarse que estos buses se encuentren en fase de pruebas en más de 8 ciudades de Brasil las cuales son: Sao pablo, Bauru, Santos, Campinas, Brasilia, Volta Redonda, Curitiba y Maringa, en total son 50 buses que se encuentran rodando las carreteras de las diferentes ciudades. Actualmente el gobierno brasileño está impulsando leyes que favorecen el mercado de energías renovables, en miras de llevar al país a la movilidad sustentable el senado aprobó la ley PLS 454/2017, la cual establece que para el año 2060 quedaran totalmente prohibidos los vehículos que funcionen con combustible fósil y para incentivar el uso de los vehículos eléctricos el gobierno les ha quitado los aranceles impositivos a estos vehículos desde el 2015. En el 2018 el senado aprobó una ley que obliga a las empresas eléctricas a instalar cargadores eléctricos en puntos estratégicos de la ciudad (LABMOB, 2020).

4.3.5 Uruguay. Actualmente Uruguay es un país que está comenzando el proceso de electrificación de su transporte público, desde el 2014 el gobierno uruguayo ha comenzado a incentivar su uso por medio de alianzas para la electrificación gradual de sus flotas de vehículos (LABMOB, 2020).

En materia de buses eléctricos en abril del 2020 llego la primera flota de buses a la ciudad de Montevideo provenientes de China, esta primera incursión de estos buses se dio gracias a un

convenio entre las empresas Cutcsa, Come, Ucot y Coetc que son las encargadas del transporte público en la capital. Esta flota se compone de 30 unidades, 20 del fabricante BYD y 10 provenientes de la empresa Yutong que se distribuyen entre las 4 empresas implicadas. El gobierno nacional está buscando otras alternativas en materia de movilidad eléctrica para incentivar en las diferentes ciudades del país la movilidad sostenible.

4.3.6 Paraguay. A finales del 2019 llegaron al país los primeros 2 buses eléctricos del país, gracias a la compañía Magno S.A que se encarga del transporte público en Asunción, estos 2 buses provenientes de la empresa China Zhongtong cuentan con distintivos únicos para que las personas vayan familiarizándose con estos buses que llegaron para quedarse, estos buses cuentan con una autonomía de 300 km y una batería de 314 kilovatios, su tiempo de recarga dura 4 horas. Otras compañías de la capital comenzaron diálogos con la empresa Timbo encargada de la adquisición de estos buses para mirar la factibilidad de la compra, por lo tanto, se espera que al país ingresen nuevos buses de estas características en los próximos años.

4.3.7 Perú. En este momento y desde mediados del 2019 se encuentra rodando en la ciudad de Lima y Arequipa 1 bus eléctrico en cada ciudad gracias a la compañía Enel X, con estos buses se busca recolectar datos en su rendimiento en ciudades de grandes alturas para mirar la viabilidad de la masificación de este tipo de bus en su transporte público, el gobierno peruano ha anunciado su intención de trasladar su flota de buses diésel a energías renovables como la electricidad buscando los grandes éxitos que se han dado en países como Chile y Colombia.

4.3.8 Colombia. Colombia es el segundo país a nivel latinoamericano que se encuentra comprometido con la energía eléctrica en su flota de buses, y así lograr mejorar de manera significativa la calidad de vida de las personas que se encuentran en grandes ciudades como Cali, Medellín y la capital Bogotá. Destacamos que en Colombia se encuentran varias normas ambientales vigentes para los vehículos y en especial a los del transporte público, con el objetivo de mitigar el impacto en la salud, aunque nos damos cuenta que estos esfuerzos no son suficientes a la hora de contrarrestar los efectos nocivos de los combustibles fósiles en la calidad del aire en las ciudades (United Nations Environment, 2018). Las ciudades más importantes han dado un paso a delante en materia de movilidad sostenible al entender que la mayor fuente de contaminación ambiental se encuentra en los medios de transporte público, en este caso en los buses y por este motivo apuestan a los beneficios de los buses eléctricos.

4.3.8.1 Santiago de Cali. Santiago de Cali es la primera ciudad de Colombia en apostar por los buses eléctricos, a mediados del 2019 llegaron a la ciudad 26 buses de marca Sunwin que corresponden a la fase 1 de este ambicioso plan, este hito en el país se dio gracias a la operación articulada entre el Masivo Integrado de Occidente (MIO) la alcaldía municipal y la empresa prestadora de servicio Blanco y Negro. Estos buses cuentan con un ambiente más ameno para los usuarios, cuentan con cámaras de seguridad integradas y puertos USB para sus teléfonos. Se espera que en los próximos meses arriben a la ciudad la segunda flota de estos buses para que en total sean 136 buses eléctricos rodando por la capital del valle de auca.

4.3.8.2 Medellín. Hasta el momento Medellín cuenta con una flota de 64 buses eléctricos de la compañía BYD en su sistema de transporte público masivo Metroplus, este proceso comenzó con la llega de 12 buses a la capital de Antioquia con el objetivo de probar su rendimiento en las calles.

Probando sus condiciones de ascenso, descenso, tracción, sistema de frenado y sus condiciones de carga, al superar estas pruebas, a finales del 2019 llegaron a la capital antioqueña el resto de los buses para completar la flota. Esta apuesta a la sostenibilidad en materia de transporte se debe a la actual crisis que vive la ciudad en materia de calidad del aire que en reiteradas ocasiones llegó a niveles perjudiciales para la salud humana.

4.3.8.3 Bogotá. La capital colombiana está en camino de convertirse en la principal ciudad latinoamericana en materia de uso de electricidad como fuente propulsora de servicio de transporte público masivo, Transmilenio en su fase V cuenta con una licitación para adquirir 594 buses eléctricos que serán repartidos por toda la ciudad, se concentrarán en 5 puntos estratégicos de la ciudad los cuales son Perdomo, Suba, Centro, Fontibón y Usme. Con esta nueva fase de Transmilenio, Bogotá quiere dejar claro que está lista y haciendo un esfuerzo gigante para acoplar una movilidad sostenible, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y reducir de manera significativa los grandes niveles de contaminación que esta genera diariamente.

5. Marco de referencia

5.1. Diagnóstico del transporte público Metrolínea en Bucaramanga

5.1.1 Uso del SITM en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Según un estudio adelantado por la firma Ipsos Napoleón Franco y contratada por el Programa ‘Bucaramanga Metropolitana Cómo Vamos’, acerca de cómo se movilizan los habitantes del área metropolitana de Bucaramanga en donde se preguntó a los encuestados ¿Qué medio de transporte utiliza para moverse? La mayoría contestaron que el transporte que más utilizaban para moverse después de los colectivos y las motos era el Metrolínea.

Estas cifras nos muestran la importancia que tiene el SITM para el transporte en toda el AMB y cuán importante es la implementación de nuevas tecnologías que permiten mayor eficiencia en el servicio y mucha más prestación a nivel ambiental, social y económica.

5.1.2 Esquema operacional. El sistema de transporte público Metrolínea está conformado principalmente por: Rutas troncales, Rutas Pretroncales y Rutas alimentadoras las cuales conforman un sistema de transporte público en donde cualquier usuario encuentra transporte sea por medio de las rutas alimentadoras que cubren el área de los barrios para luego incorporarse al sistema o utilizar las rutas pretroncales que comunican a todos los barrios entre sí o llegado el caso por medio de las rutas troncales las cuales se encargan de conectar a los municipios.

RUTAS SITM	Rutas Troncales	T1, T2, T3
	Rutas Pretroncales	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P8, P10, P13, P15, RE1
	Rutas Alimentadoras	AB1, AB2, AB3, AN1, AN2
		AP1, AP2, AP3, AP4, AP5, AP7, AP12
		AC1, AC4, AF1, AF2
APD1, APD2, APD3, APD4, APD6, APD7, APD9		

Figura 1. Rutas del SITM. Adaptado de (Metrolínea, 2020)

5.1.3 Diagnostico Situación actual en infraestructura. Hoy en día Metrolínea cuenta con estaciones en el municipio de Bucaramanga, Piedecuesta y Floridablanca las cuales están distribuidas en puntos estratégicos de estos municipios.

Es importante también tener en cuenta las deficiencias que presenta el sistema en ciertos puntos del Área metropolitana de Bucaramanga como es el municipio de Girón donde aún no se presta el servicio y en Piedecuesta donde la estación es muy pequeña para la cantidad de usuarios.

Además, actualmente se está llevando a cabo la construcción de un nuevo portal en Girón y se finalizó hace poco la estación de Piedecuesta, todo esto con el fin de ofrecer una mejora en el servicio y logrando minimizar la necesidad de transporte público presente en estas comunidades.

Gracias a la ampliación de la cobertura con la construcción de estos nuevos portales se logra el aumento del número de usuarios del servicio y con esto se incrementa la productividad y la eficiencia del sistema.

Además de toda esta infraestructura Metrolínea cuenta con Patios de Alimentación y Patios de Operación y Talleres los cuales son el conjunto de terrenos e instalaciones ubicados en sitios estratégicos en donde se lleva a cabo el parqueo de la flota y se desarrollan todas las reparaciones necesarias para el alistamiento y posterior funcionamiento de los buses del sistema de transporte Masivo.

El transporte público masivo Metrolínea cuenta con diferentes tipos de buses en la modalidad de Alimentador, Padrón y Articulado, en el caso de este estudio de proyecto de grado abordaremos solamente el tipo de bus articulado: MARCOPOLO CHASIS (O500 – MA) y padrón: MARCOPOLO GRAN VIALE (VOLVO) y a futuro se recomienda analizar los diferentes tipos de buses que conforman el sistema en cada una de sus categorías y contemplar su transición a buses eléctricos.

En diciembre del año 2019 se llevó a cabo una revisión externa e interna general de la flota de buses en donde se evidenció las deficiencias que algunos de estos no cumplían con los mínimos

requerimientos técnicos para su circulación y por consiguiente fueron declarados como no operativos 10 Articulados y 9 Padrones.

Los buses presentaron fallas externas en: Estado de faros, estado de las direccionales, rutero frontal lateral posterior, cocuyos laterales, espejos externos, boceles, llantas y rines, cocuyos traseros, abolladuras o impactos, aditamentos decorativos, funcionamiento de plumillas, imagen corporativa y fallas internas en: Señalización interna, carga y presencia de extintores, conos, botiquín completo, frenos de seguridad, operación de puertas de servicio, vidrio panorámico, estado del timón, bocina, espejos internos, plataforma discapacitados y llave, funcionamiento desempañadores, revisión silla del operador, cinturón de seguridad y alarma, cinturón de seguridad discapacitados, luces internas, presencia de martillos, luces puertas de servicio entre otras.

La información y características principales de los buses tipo Padrón y articulado Diesel actuales en Metrolínea seleccionados para el estudio son:

Tabla 1.
Características técnicas Buses Diésel

Tipo	Cap.	Llantas		Chasis
		N	Tipo de llantas	
Padrón	90	6	HSR2 SA 295/80 R22.5	Volvo B7R
Articula	160	10	HSR2 SA 295/80 R22.5	Mercedez O500MA

5.1.4 Diagnóstico financiero de la flota. Según el balance de operaciones acumulado del SITM desde el año 2010 hasta la actualidad se vienen presentando pérdidas económicas en la operación de Metrolínea, pues los ingresos que genera el SITM desde el año 2010 hasta la actualidad son inferiores a los egresos en ese mismo rango de tiempo.

Tabla 2.
Balance operacional acumulado del SITM (Millones)

Año	Ingresos	Egresos	Resultado
2012	41.286.44	45.701.07	-4.414.62
2013	71.968.25	72.618.43	-650.19
2014	71.264.17	77.028.89	-5.764.72
2015	76.870.66	82.911.32	-6.040.66
2016	77.600.49	84.468.93	-6.868.45
2017	72.340.24	78.638.64	-6.298.40
2018	77.663.41	82.358.47	-4.695.07
2019	78.764.34	85.042.90	-6.278.56

Sin embargo, según el Balance Operacional con corte a 23 de diciembre de 2018 este ascendía a \$ -4.695.068.602 y en el mismo periodo del año 2017 fue de \$ -6.298.399.981 lo cual muestra una mejora en el resultado de \$ 1.603.331.379 del año 2017 al 2018. Hasta la fecha aún no se cuenta con catorcenos completos para el año 2019 por lo cual el análisis solo se puede hacer con datos de 2018 y 2017.

Conociendo la situación económica actual de Metrolínea se debe tener en cuenta que al momento de realizar una inversión en una flota de buses eléctricos esta deberá ser financiada por el Estado o por algún ente privado a menos que la situación financiera del sistema de transporte masivo mejore en los siguientes años.

5.2. Tipos de buses eléctricos ofertados y estudio de mercado

5.2.1 Empresas oferentes de buses eléctricos en Colombia. En Colombia hay muchas empresas que ofertan buses eléctricos. pero actualmente las principales firmas que permiten la adquisición de estos vehículos son:

5.2.1.1 BYD (*Build Your Dreams*). Es una marca de coches multinacional independiente China especializada en vehículos y autobuses híbridos y eléctricos con sede principal en Shenzhen China. creada en 2003 la cual tiene una sólida experiencia en baterías recargables y en componentes generales de vehículos eléctricos. todos esto gracias a sus 22 años de desarrollo tecnológico en donde su principal objetivo es ofrecer vehículos 100% libres de emisiones.

Actualmente BYD Ha ampliado con éxito sus soluciones de energía renovable a nivel mundial con operaciones en más de 50 países y en Latinoamérica tiene sedes en Chile. Brasil. Ecuador. México y Colombia en donde pretende ser líder en la comercialización de estos tipos de vehículos.

5.2.1.2 SUMWIN Bus Corporation. Empresa China con sede principal en Shanghái que actualmente cuenta con una capacidad de producción anual de 2000 autobuses completos y 3000 chasis. Hace poco formó una nueva línea de productos orientados a vehículos eléctricos; la empresa cuenta con amplia trayectoria y su línea de producción está enfatizada en buses de transporte masivo. Además. estos vehículos disfrutan de la tecnología de Siemens empresa alemana que provee el motor del vehículo y los sistemas que obtienen energía de las baterías.

5.2.1.3 BUSSCAR. Esta empresa es la mayor ensambladora de buses articulados y biarticulados del país. Nació a comienzos de este siglo tras la fusión entre la firma colombiana Carrocerías de Occidente y Busscar Onibus, originaria de Brasil. Sin embargo, a partir de 2014 Busscar de Colombia compró la participación de la firma extranjera y a partir de ese año se convirtió en una empresa 100% colombiana.

Desde su fundación, la compañía ha fabricado 7.000 unidades Diesel para los sistemas de transporte masivo y colectivo en América Latina. Esta empresa utiliza el chasis de marcas como Volvo y Mercedes Benz para la fabricación de los vehículos. Entre sus clientes nacionales destacan Transmilenio en Bogotá, Metrolínea de Bucaramanga, el Mío de Cali, entre otros.

Todas estas empresas tienen una amplia trayectoria en Colombia en donde han puesto en marcha la mayoría de los buses de transporte masivo con los que actualmente cuenta el país; pero algunas de ellas aun no pueden ofrecer buses en cantidades significativas. Las únicas empresas que puede ofrecer la cantidad que se desee de buses eléctricos son SUMWIN y BYD.

Estas empresas han implementado la mayoría de los buses eléctricos que hay en Colombia en la actualidad, y normalmente el concepto general de estos buses en cada una de las ciudades es bastante favorable, pues hasta el momento su operación en cada una de las poblaciones se ha desarrollado sin ningún inconveniente.

5.2.2 Buses eléctricos ofertados por las empresas en Colombia actualmente. Después de realizar un sondeo de los diferentes buses eléctricos que se encuentran en operación en las diferentes ciudades y que pueden llegar a ser implementados en el SITM y de pedir a cada una de las empresas las especificaciones técnicas, precios y generalidades de los buses.

las principales empresas que tienen actualmente buses eléctricos padrón y articulado a la venta y pueden proveer la flota de buses eléctricos a Metrolínea son BYD y SUMWIN. A continuación, se muestra las especificaciones técnicas y la información general de los buses que pueden llegar a ser implementados:

Tabla 3.
Especificaciones técnicas buses eléctricos

Nombre	Capacidad	Chasis	vida útil (años)	
			Carrocería	Chasis
Padrón eBus Andino-12	70	BYD tren motriz	12	24
Articulado eBus Andino-18	140	BYD tren motriz	12	24
Padrón 12 m LF	80	Sunwim SMS	12	24
Articulado Piso Alto	160	Sunwim SMS	12	24

Después de realizar este estudio de oferta de buses eléctricos en el mercado colombiano, podemos concluir que actualmente en Colombia y particularmente en Bucaramanga se pueden llevar a cabo proyectos de modernización de flotas de buses sin ningún inconveniente.

Para el estudio de los costos se escogió el bus Articulado eléctrico Piso Alto y Padrón eléctrico 12 M LF ambos de la empresa China SUMWIN, pues después de estudiar los buses que actualmente se ofertan en el mercado, son los más económicos en aspectos como precio de venta bus, capacidad de pasajeros y de más factores.



Figura 2. Bus padrón eléctrico Sumwin 12 M LF.

. Adaptado de (Dual. 2020)



Figura 3. Bus articulado eléctrico Sumwin Piso Alto. Adaptado de (Corporation. 2020).

5.3. Descripción de los costos

5.3.1 Costo operacional SITM. El costo operacional del transporte público de Colombia se rige por la resolución 4350 de 1998 denominado el método roda. el cual establece el procedimiento para la elaboración de los costos que sirven de fundamento para la fijación de las tarifas de transporte público municipal de pasajeros (Nacional. 1998).

5.3.1.1 Costos variables. La resolución del ministerio de transporte se establece como costos variables aquellos rubros que varíen de acuerdo con el volumen de su utilización como el combustible. lubricantes. llantas. el mantenimiento y servicio de estación.

5.3.1.1.1 Costo energético. En el costo energético por kilómetro se tiene cuenta ciertos factores que alteran la apreciación de este rubro. se incluyen la edad del vehículo y el impacto de este con la infraestructura (Planeación. 2008).

$$\$_c = \left[\frac{C_c * \$_c}{R_c * (1 - D_{aa}) * \frac{(1 - D_c)}{-VU_{cha}} * (P - 1) + R_c * (1 - D_{aa})} \right]$$

C_c : Cantidad de combustible

$\$_c$: Precio de combustible

R_c : Rendimiento del combustible

D_{aa} : Desgaste del aire acondicionado

D_c : Desgaste del combustible

VU_{cha} : Vida útil del chasis

P : Periodo

5.3.1.1.2 Lubricantes. La resolución colombiana tiene en cuenta la utilización de los lubricantes de motor. los lubricantes de la caja y los filtros. los cuales se suman para establecer su rendimiento por kilometro

$$\$_l = \sum_j \left[\frac{C_l^j * \$_l^j}{R_l^j} \right] * F_j$$

C_l^j : Cantidad de lubricante

$\$_l^j$: Precio de lubricante

R_l^j : Rendimiento del lubricante

F_j : Factor

5.3.1.1.3 *Llantas*. El rubro de las llantas se estima partiendo de la suma del costo de las llantas y sus respectivas refracciones por lo cual su costo por kilómetro queda registrado de la siguiente manera:

$$\$_u = \sum_j \left[\frac{C_u^j * \$u^j}{R_u^j} \right] * F_j$$

C_u^j :Cantidad de llantas

$\$_u^j$:Precio de llantas

R_u^j :Rendimiento de llantas

F_j :Factor

5.3.1.1.4 *Mantenimiento*. En el costo del mantenimiento por kilómetro se tiene en cuenta la incorporación o cambio de piezas. partes o repuestos y la frecuencia de dichos cambios (Planeación. 2008).

$$\$_m = \left[\frac{[(\$_{car} + \$_{aa} + \$_{el}) - (\$_u * C_u)] * F_m * P}{F_{rec}} \right] * F_i$$

$\$_{car}$:Precio de carrocería

$\$_{aa}$:Precio de aire acondicionado

$\$_{el}$:Precio de elevador

F_m :Factor de mantenimiento

P :Periodo

F_{rec} :Rendimiento de recorrido

F :Factor

5.3.1.1.5 *Servicio de estación*. En este rubro entra el aseo de los buses en la estación. su lavado. la petrolizada. el lavado del motor y el engrase todo esto multiplicado por un factor de infraestructura.

$$\$_{se} = \sum_j \left[\frac{C_{se}^j * \$_{se}^j}{R_{se}^j} \right] * F_i$$

C_{se}^j :Cantidad de servicio

$\$_{se}^j$: Costo del servicio de estacion

R_{se}^j : Rendimiento de la estacion de servicio

F_i :Factor de infraestructura

5.3.1.2 Costos fijos. Los costos fijos corresponden a los rubros administrativos para que la gestión del transporte funcione. Los costos de los diferentes recursos humanos, administración, el parqueadero, los seguros y los impuestos.

5.3.1.2.1 Recursos humanos. Los recursos humanos corresponden a la suma de los salarios de los conductores, y los colaboradores de calle multiplicados por todos beneficios prestacionales que dicte la ley colombiana.

$$\$_{rh} = \sum_j \frac{C_{rh}^j * \$_{rh}^j}{F_{rec}}$$

C_{rh} : Cantidad de recursos humanos

$\$_{rh}$:Costo de recursos humanos

F_{rec} :Factor de recorrido

5.3.1.2.2 Gastos administrativos. Los gastos administrativos corresponden a aquellos gastos de oficina incluyendo sus respectivos recursos humanos, este rubro se representa en la resolución como una relación entre los gastos administrativos y la distancia recorrida (Planeación, 2008).

$$\$_{adm} = \frac{F_{adm} * PR_{rh} + F_{gg} * PR_{rh}}{F_{rec}}$$

F_{adm} :Factor de administracion

PR_{rh} :Precio de recurso humano

F_{gg} :Factor gastos generales

PR_{rh} : Precio recurso humanos

F_{rec} :Factor de recorrido

5.3.1.2.3 *Parqueadero*. Este costo operacional corresponde a los gastos relacionados con los arrendamientos de los parqueaderos, el mantenimiento del lugar y los trabajadores (Planeación, 2008).

$$\$_{par} = \frac{C_{par} * \$_{par}}{F_{rec}}$$

C_{par} :Cantidad de parqueos

$\$_{par}$: Costo de parqueadero

F_{rec} : Factor de recorrido

5.3.1.2.4 *Impuestos*. En este rubro se incluyen todos los montos de los impuestos vehículo como lo son la revisión técnico-mecánica, el impuesto de rodamiento, la matricula, la tarjeta de operación.

$$C_{i.rod} = \frac{[7.131 * (P + 1)^3 - 255.348 * (P + 1)^2 - 1290655 * (P + 1) + 939000000]}{F_{rec}}$$

P :Periodo

F_{rec} : Factor de recorrido

5.3.1.2.5 *Seguros*. Este costo se deriva de los seguros obligatorios del vehículo como el SOAT y de una póliza todo-riesgo como condición de crédito (ver ecuación)

$$Todo\ Riesgo = F_{seg} * \left[\frac{\$_{cha_com} + \$_{carr_com} + \$_{bat_com}}{F_{rec}} \right]$$

$\$_{cha_com}$:Costo chasis comercial

$\$_{carr_com}$:Costo de carrocería comercial

$\$_{bat_com}$:Costo de batería comercial

F_{rec} : Factor de recorrido

6. Metodología

A continuación, se presenta las etapas que se llevaron a cabo para la ejecución de la investigación divididas en tres fases: análisis de costos, margen neto del proyecto y por último comparación margen neto actual y futuro.

6.1. Análisis de los costos y beneficios de los buses eléctricos

La tecnología eléctrica en buses tiene como una de sus ventajas la vida útil del chasis: 24 años (Nacional, 1998). No obstante, su carrocería tiene vida útil de 12 años. Dentro de las múltiples variables que pueden hacer variar el costo del chasis su rango va desde US\$82.000 hasta US\$98.400, y la carrocería puede costar US\$33.500 (US\$8.600 adicionales por adicionar aire acondicionado, y US\$4.800 más si se le incorpora elevador). Además, se necesita una batería especial que puede costar entre US\$24.700 y US\$29.500 la cual tiene vida útil de aproximadamente 6 años en función de los ciclos de recarga.

Para la elaboración de este análisis de costos tomamos de referencia diferentes libros y documentos de apoyo en los cuales ciertas cifras y números estaban dadas para los años en que fueron realizadas, por consiguiente, antes de realizar el análisis fue necesario aplicar la fórmula de valor presente del año 2013 al año 2020 (año de inicio del estudio) en donde obtuvimos el valor futuro al presente año, todo esto con el fin de Indexar los valores a razón de la inflación nacional desde los diferentes años pasados hasta 2020.

Entre 2013 y 2020 hay 7 años y la tasa promedio de inflación ha sido del 4.1572%, así que:

$$VF = \$1 * (1 + 0.041572)^7 = \$1.33$$

VF : Valor futuro

VP : Valor presente

i : Tasa de interés

n : Número de periodos entre el valor presente y valor futuro

6.1.1 Análisis costos operacionales, administrativos y de capital de buses eléctricos.

6.1.1.1 Costo operacional SITM

6.1.1.1.1 Costo energético Kwh. El costo unitario del combustible - Energía eléctrica es de COP\$496 por kWh domiciliario en el Área Metropolitana de Bucaramanga. aunque se estima un potencial descuento para el transporte público. pues en otras ciudades donde se ha implementado buses eléctricos el costo del kWh bajó en COP\$46 por consiguiente el costo sería de COP\$450 (fuente ESSA). El rendimiento de estos vehículos es del orden de 0.77km/kWh para buses Padrones y 0.6 km/kWh para buses Articulados. Las afectaciones por edad del vehículo o por la tenencia de aire acondicionado pueden asumirse como en los vehículos Diesel en los que se estima que el aire acondicionado puede afectar este rendimiento entre 20% y 30%. Adicionalmente. en el último año de la vida útil del chasis el rendimiento puede disminuirse aproximadamente en 20%. con tendencia lineal desde el primer año toda vez que los indicadores allí presentados se encuentran en términos relativos (porcentajes del rendimiento) (Planeación. 2008).

Padrón:

Tabla 4.
Costos del consumo energético padrón

Año (Periodo)	Consumo *km (COP\$)	Consumo*año (COP\$)
1	\$ 964	\$ 68.865.669
2	\$ 973	\$ 69.549.951
3	\$ 983	\$ 70.247.968
4	\$ 993	\$ 70.960.138
5	\$ 1.003	\$ 71.686.896

6	\$ 1.013	\$ 72.428.694
7	\$ 1.024	\$ 73.186.005
8	\$ 1.035	\$ 73.959.319
9	\$ 1.046	\$ 74.749.151
10	\$ 1.057	\$ 75.556.034
11	\$ 1.069	\$ 76.380.528
12	\$ 1.080	\$ 77.223.214
13	\$ 1.093	\$ 78.084.702
14	\$ 1.105	\$ 78.965.628
15	\$ 1.117	\$ 79.866.657

Articulado:

Tabla 5.

Costos del consumo energético articulado

Año (Periodo)	Consumo *km (COP\$)	Consumo*año (COP\$)
1	\$ 1.152	\$ 82.339.387
2	\$ 1.164	\$ 83.157.550
3	\$ 1.175	\$ 83.992.136
4	\$ 1.187	\$ 84.843.643
5	\$ 1.199	\$ 85.712.593
6	\$ 1.212	\$ 86.599.525
7	\$ 1.224	\$ 87.505.005
8	\$ 1.237	\$ 88.429.621
9	\$ 1.251	\$ 89.373.985
10	\$ 1.264	\$ 90.338.737
11	\$ 1.278	\$ 91.324.544
12	\$ 1.292	\$ 92.332.104
13	\$ 1.306	\$ 93.362.144
14	\$ 1.321	\$ 94.415.425
15	\$ 1.336	\$ 95.492.743

6.1.1.1.2 *Lubricantes*. Por las características del motor, esta tecnología vehicular no requiere de lubricantes.

6.1.1.1.3 *Llantas*. El costo unitario ponderado de las llantas puede variar entre COP\$1'688.700 y COP\$2'259.670 en función de las marcas y el volumen comprado. Cuando se

involucran procedimientos como el reencauche que se hace a las llantas del eje trasero el rendimiento puede corresponder a 300.000km.

Padrón:

Costo por kilómetro: COP\$ 40

Costo por año: COP\$ 2.858.824

Articulado:

Costo por kilómetro: COP\$ 67

Costo por año: COP\$ 4.764.706

6.1.1.1.4 Mantenimiento

La estimación de los coeficientes del mantenimiento partió de asumir el 10% adicional al costo del mantenimiento en el último año de la vida útil de un vehículo Diésel. Así, el coeficiente para un vehículo eléctrico es 0.00672 para costos medios.

Padrón:

Tabla 6.

Costos de mantenimiento padrón

Año (Periodo)	Mantenimiento *km (COP\$)	Mantenimiento *año (COP\$)
1	\$ 58	\$ 4.113.446
2	\$ 81	\$ 5.758.825
3	\$ 121	\$ 8.638.237
4	\$ 161	\$ 11.517.650
5	\$ 201	\$ 14.397.062
6	\$ 242	\$ 17.276.475
7	\$ 282	\$ 20.155.887
8	\$ 322	\$ 23.035.300
9	\$ 363	\$ 25.914.712
10	\$ 403	\$ 28.794.125
11	\$ 443	\$ 31.673.537

12	\$ 483	\$ 34.552.950
13	\$ 524	\$ 37.432.362
14	\$ 564	\$ 40.311.775
15	\$ 604	\$ 43.191.187

Articulado:

Tabla 7.

Costos de mantenimiento articulado

Año (Periodo)	Mantenimiento *km (COP\$)	Mantenimiento* año (COP\$)
1	\$ 102	\$ 7.297.920
2	\$ 143	\$ 10.217.088
3	\$ 214	\$ 15.325.632
4	\$ 286	\$ 20.434.176
5	\$ 357	\$ 25.542.720
6	\$ 429	\$ 30.651.264
7	\$ 500	\$ 35.759.808
8	\$ 572	\$ 40.868.352
9	\$ 643	\$ 45.976.896
10	\$ 715	\$ 51.085.440
11	\$ 786	\$ 56.193.984
12	\$ 858	\$ 61.302.528
13	\$ 929	\$ 66.411.072
14	\$ 1.001	\$ 71.519.616
15	\$ 1.072	\$ 76.628.160

6.1.1.1.5 *Recaudo Centralizado*. El costo del recaudo centralizado por pasajero en un SITM puede variar entre COP\$ 116.4 y COP\$ 140.448 (Gleave & AKIRIS. 2007). por consiguiente. se hace un promedio y se escoge COP\$ 128.4 (Indexado a razón de la inflación nacional desde 2007 hasta 2020.)

Padrón y articulado

Costo por kilómetro: COP\$ 269.5

Costo por año: COP\$ 19.261.725

6.1.1.1.6 Recurso humano (salarios). Existen dos variables que condicionan significativamente este costo. teniendo en cuenta las implicaciones en el factor prestacional:

- Cantidad promedio de conductores por vehículo. Depende fundamentalmente de la cantidad de horas que opere el sistema por día. Con una operación de aproximadamente 16 horas diarias. se puede asumir que por vehículo hay 2.0 conductores (Jornada laboral de 8 horas). y 0.4 colaboradores relacionados con la coordinación in-situ de la operación.
- Ingreso promedio de cada conductor. El ingreso medio de los conductores es de 1.5SMMLV.

Padrón y articulado

Costo por kilómetro: COP\$ 826

Costo por año: COP\$ 59.004.991

6.1.1.2 Costos Administrativos

6.1.1.2.1 Parqueadero. Metrolínea cuenta con sitios para parqueo de su flota por consiguiente se calcula el costo del parqueo siguiendo la ecuación dada para parqueadero (Ec. 7-8) y la Resolución 4350 de 1998 (Nacional. 1998).

Padrón y articulado

Costo por kilómetro: COP\$ 8.23

Costo por año: COP\$ 588.225

6.1.1.2.2 *Administración*. El factor de administración y el factor de gastos generales mencionado en el subcapítulo 3.1.2.2 (Ec.7-7) corresponde a 9.0% y 1.5% respectivamente (Planeación. 2008).

Padrón y articulado

Costo por kilómetro: COP\$ 83.07

Costo por año: COP\$ 5.937.377

6.1.1.2.3 *Servicio de estación*. Los diferentes costos y rendimientos de este componente se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8.
Componentes del servicio de estación

Componente	Rendimiento (Km)	Costo (COP)	Costo *km
limpieza general	5000	\$ 47.880	\$ 10
Engrase	1500	\$ 15.960	\$ 11
Grafitado	5000	\$ 19.285	\$ 4
Limpieza motor	5000	\$ 15.960	\$ 3
Limpieza extintor	700	\$ 19.285	\$ 28
Limpieza parcial	200	\$ 6.650	\$ 33
		TOTAL	\$ 88

Padrón y articulado

Costo por kilómetro: COP\$ 88.07

Costo por año: COP\$ 6.294.057

6.1.1.2.4 Impuestos. Se considera la matrícula o registro inicial y la tarjeta de operación (anual), que según la secretaría de tránsito de Bucaramanga cuestan COP\$125.000 y COP\$84350, respectivamente. La revisión técnico-mecánica puede costar COP\$322.400 anualmente en centros particulares autorizados.

Finalmente, el impuesto de rodamiento depende únicamente de la edad del vehículo. Pues a medida que pasan los años el impuesto se hace más bajo, es decir que el de rodamiento es variable a medida que pasan los años. Para la aproximación a 15 años los valores de Costo por Kilómetro y Costo por año están dados así:

Padrón y articulado

Tabla 9.

Costo por impuestos padrón y articulado

Año (Periodo)	Impuesto* km	Impuesto* Año
1	\$ 89.5	\$ 6.395.444
2	\$ 88.5	\$ 6.323.882
3	\$ 87.5	\$ 6.252.320
4	\$ 86.5	\$ 6.180.758
5	\$ 85.5	\$ 6.109.197
6	\$ 84.5	\$ 6.037.635
7	\$ 83.5	\$ 5.966.073
8	\$ 82.5	\$ 5.894.511
9	\$ 81.5	\$ 5.822.950
10	\$ 80.5	\$ 5.751.388
11	\$ 79.5	\$ 5.679.826
12	\$ 78.5	\$ 5.608.264
13	\$ 77.5	\$ 5.536.702
14	\$ 76.5	\$ 5.465.140
15	\$ 75.5	\$ 5.393.579

6.1.1.2.5 Seguros. El SOAT puede costar aproximadamente COP\$644.500 anuales, y la póliza de responsabilidad civil contractual y extracontractual con cobertura hasta 80 SMMLV cuesta COP\$1'395.000 anuales. la póliza todo riesgo, puede ser estimada como el 4.0% del valor

comercial del vehículo [27]. Esta estimación busca involucrar las múltiples variables que afectan el valor del seguro.

Padrón

Costo por kilómetro: COP\$ 337

Costo por año: COP\$ 24.103.244

Articulado

Costo por kilómetro: COP\$ 340

Costo por año: COP\$ 24.272.489

6.1.1.3 Costo de capital

6.1.1.3.1 Margen. Parte de la tasa de margen que espera el inversionista. Según los inversionistas esta tasa puede corresponder al DTF con una diferencia de tasas que varía entre 3.0% y 6.0%. Por otro lado, el Banco de la República de Colombia sugiere que para ejercicio de prospectiva se utilice una tasa inflacionaria entre el 2.0% y el 4.0%.

6.1.1.3.2 Recuperación de capital. Este componente requiere conocer la vida útil del chasis y la carrocería (con o sin aire acondicionado o elevador), que no necesariamente son iguales, por lo tanto, su depreciación es diferente. La vida útil de un chasis eléctrico es de 24 años (Durán, 2009), y la vida útil de la carrocería puede asumirse igual.

6.1.2 Análisis costos totales por kilómetro de buses Diésel actuales. Después de realizar el análisis de costos esperado para los buses eléctricos procedemos a realizar los costos de operación actuales que tienen los buses padrón y articulado de Metrolínea actualmente.

Toda la información necesaria para el cálculo del costo por km y costo por año fue solicitada a Metrolínea. con el fin de contar con datos reales al año 2020 y así poder realizar el estudio aproximado de la variación en el precio entre un bus eléctrico supuesto y un bus Diésel actual.

Padrón:

Costo por kilómetro: COP\$ 4100 - 4500

Costo por año: COP\$ 293.027.000 -321.615.000

Articulado:

Costo por kilómetro: COP\$ 6700-7000

Costo por año: COP\$ 478.849.000-500.290.000

6.1.3 Costos y beneficios por kilómetro de buses eléctricos en comparación con los buses Diésel actuales. Después de hallar los diferentes costos de la implementación de los buses eléctricos y de tener los datos actualizados de los costos del Metrolínea Diésel actual comparamos los costos operacionales anuales del año 1 en combustible. lubricante y mantenimiento y además diferentes componentes de análisis como la estructura del vehículo. sistema eléctrico. sistema de monitoreo. cámaras. imagen general y ventanas.

Esta tabla comparativa se presenta en el anexo #1 en donde se permite evidenciar las diferencias entre la implementación de cada una de estas tecnologías.

7. Resultados y discusión

7.1. Margen neto del proyecto

Después de llevar a cabo todo el análisis de costos operativos del sistema realizamos los estados financieros para un vehículo eléctrico teniendo en cuenta que para los ingresos operacionales se tomó la tarifa actual de Metrolínea la cual tiene un valor de COP\$ 2550. además, también se tuvo en cuenta factores como la depreciación de chasis. carrocería. batería e intereses e impuestos.

Al momento de hallar los ingresos operacionales se asumió una tarifa constante a través de los 15 años de estudio pues se tuvo en cuenta que. así como se incrementa el valor del pasaje cada año también aumentan los costos de operación

Después de realizar este análisis se obtuvo resultados en los cuales se observó un Margen neto positivo para los primeros 10 años. pero después de este año hasta el año 15 fue negativo:

7.1.1 Padrón

Tabla 10.

Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa actual padrón

Año	Utilidad neta	Utilidad neta acumulado	Margen neto
1	\$ 14.48	\$ 14.48	5.74%
2	\$ 16.08	\$ 30.56	6.38%
3	\$ 16.70	\$ 47.25	6.62%
4	\$ 12.11	\$ 59.37	4.80%
5	\$ 11.90	\$ 71.27	4.72%
6	\$ 7.42	\$ 78.69	2.94%
7	\$ 0.70	\$ 79.39	0.28%
8	\$ 2.27	\$ 81.66	0.90%
9	\$ 3.06	\$ 84.72	1.21%
10	\$ 0.91	\$ 85.63	0.36%
11	-\$ 1.13	\$ 84.50	-0.45%
12	-\$ 1.45	\$ 83.05	-0.58%
13	-\$ 14.96	\$ 68.08	-5.93%
14	-\$ 14.97	\$ 53.12	-5.93%
15	-\$ 12.75	\$ 40.37	-5.06%

7.1.2 Articulado

Tabla 11.

Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa actual articulado

Año	Utilidad neta	Utilidad neta acumulado	Margen neto
1	\$ 36.33	\$ 36.33	12.14%
2	\$ 36.52	\$ 72.84	12.20%
3	\$ 34.77	\$ 107.61	11.62%
4	\$ 27.82	\$ 135.43	9.30%
5	\$ 25.23	\$ 160.66	8.43%
6	\$ 18.38	\$ 179.04	6.14%
7	\$ 9.38	\$ 188.42	3.13%
8	\$ 8.47	\$ 196.89	2.83%
9	\$ 6.88	\$ 203.77	2.30%
10	\$ 2.34	\$ 206.11	0.78%
11	-\$ 2.09	\$ 204.02	-0.70%
12	-\$ 4.81	\$ 199.22	-1.61%
13	-\$ 20.72	\$ 178.50	-6.92%
14	-\$ 21.62	\$ 156.88	-7.23%
15	-\$ 22.81	\$ 134.07	-7.62%

Teniendo en cuenta los resultados se puede evidenciar que el margen neto del proyecto en los primeros 10 años tanto para buses tipo padrón como articulado es positivo. esto quiere decir que para esos primeros años se obtienen ganancias implementando esta nueva tecnología.

Después de pasado los 10 años se comienzan a ver márgenes netos negativos. todo esto dado principalmente por factores como la recuperación de capital y el margen pues al ser vehículos tan costosos estos costos son bastante elevados.

7.2. Comparación margen neto actual y futuro

Después de hallar el margen neto con la tarifa actual a 15 años. hallamos el margen neto con una tarifa propuesta de COP\$ 2750. COP\$ 200 más que la tarifa actual.

7.2.1 Padrón.

Tabla 12.

Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa propuesta padrón

Año	Utilidad neta	Utilidad neta acumulada	Margen neto
1	\$ 42.10	\$ 42.10	15.49%
2	\$ 42.74	\$ 84.84	15.73%
3	\$ 42.33	\$ 127.17	15.58%
4	\$ 38.01	\$ 165.18	13.99%
5	\$ 36.98	\$ 202.16	13.61%
6	\$ 32.73	\$ 234.89	12.05%
7	\$ 26.76	\$ 261.66	9.85%
8	\$ 27.08	\$ 288.74	9.97%
9	\$ 26.79	\$ 315.52	9.86%
10	\$ 24.27	\$ 339.80	8.93%
11	\$ 21.84	\$ 361.63	8.04%
12	\$ 20.69	\$ 382.32	7.61%
13	\$ 9.62	\$ 391.94	3.54%
14	\$ 8.33	\$ 400.27	3.07%
15	\$ 9.32	\$ 409.59	3.43%

7.2.2 Articulado.

Tabla 13.

Margen neto del proyecto a 15 años con tarifa propuesta articulado

Año	Utilidad neta	Utilidad neta acumulada	Margen neto
1	\$ 59.73	\$ 59.73	18.51%
2	\$ 59.92	\$ 119.64	18.57%
3	\$ 58.17	\$ 177.81	18.03%
4	\$ 51.22	\$ 229.03	15.88%
5	\$ 48.63	\$ 277.66	15.08%
6	\$ 41.78	\$ 319.44	12.95%
7	\$ 32.78	\$ 352.22	10.16%
8	\$ 31.87	\$ 384.09	9.88%
9	\$ 30.28	\$ 414.37	9.39%
10	\$ 25.74	\$ 440.11	7.98%
11	\$ 21.31	\$ 461.42	6.61%
12	\$ 18.59	\$ 480.02	5.76%
13	\$ 2.68	\$ 482.70	0.83%
14	\$ 1.78	\$ 484.48	0.55%
15	\$ 0.59	\$ 485.07	0.18%

Al hallar el margen neto a 15 años con la tarifa propuesta de COP\$ 2750 podemos concluir que para buses tipo padrón se presentan márgenes netos positivos. logrando obtener ganancias en estos 15 años de estudio al igual que para buses tipo articulado.

8. Conclusiones

Dado que Bucaramanga presenta índices de polución muy altos. un proyecto de modernización de la flota de Metrolínea sería una alternativa que ayudaría a minimizar el impacto que genera este tipo de contaminación en toda la población.

Conociendo la situación económica actual de Metrolínea se debe en cuenta que. al momento de realizar una inversión en una flota de buses eléctricos. esta deberá ser financiada por el Estado. algún ente privado o alguna organización internacional que incentive el cuidado del medio ambiente. pues a menos que la situación financiera del sistema de transporte masivo mejore en los siguientes años solamente la empresa Metrolínea no podría hacer esta inversión.

Después de ver los costos y beneficios por Kilómetro de los 2 tipos de buses eléctricos (Padrón y Articulado) ofertados en el mercado y comparar estos indicadores con la flota actual Diesel. se concluyó que los buses eléctricos son más eficientes por kilómetro. pero su alto precio en el mercado hace que los costos en la recuperación de capital y margen sean muy altos ocasionando que la eficiencia económica baje notoriamente. Por consiguiente, se recomienda esperar unos años a que surjan nuevas investigaciones y que estas nuevas tecnologías sean implementadas en muchos más lugares para que el costo de los buses disminuya y así lograr una eficiencia económica notable.

Al calcular el margen neto futuro con una tarifa propuesta y comparar este con el margen neto actual se obtuvo un aumento en la eficiencia económica notable en los dos tipos de buses. pues se

evidenciaron márgenes netos positivos en los 15 años de estudio para buses tipo padrón y buses articulados.

Después de realizar este estudio de oferta de buses eléctricos ofertados en el mercado colombiano, podemos concluir que actualmente en Colombia se pueden llevar a cabo proyectos de modernización de flotas de buses.

La topografía de la ciudad no presenta ningún inconveniente para la operación de los buses eléctricos pues estos pueden llegar a soportar pendientes de hasta 20%.

9. Recomendaciones

Estudios y diseños para acondicionar las zonas de parqueo y maniobra y las obras civiles requeridas para la instalación de cargadores eléctricos, con sus obras complementarias del sistema Metrolínea.

Construcción de las obras civiles requeridas para la instalación de cargadores eléctricos, con sus obras complementarias del sistema Metrolínea en el patio-taller.

Como consecuencia del alto costo del mercado de estos buses y el aumento de COP\$ 200 en la tarifa, se recomienda subsidiar este proyecto con entidades internacionales que apoyen este tipo de iniciativas como lo son el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.

10. Trabajos futuros

Para una implementación completa de los buses eléctricos en el SITM se deberá hacer un análisis financiero y espacial de la ubicación y posterior funcionamiento de las estaciones de cargar eléctrica en el Área Metropolitana de Bucaramanga pues además de poder abastecer de energía a

los buses también se deben tener en cuenta los vehículos particulares eléctricos los cuales también utilizarían estas estaciones de carga.

Para estudios posteriores se recomienda realizar un estudio financiero más profundo en el que se hallen factores como el total de activos, pasivos y patrimonio y además se deberá hacer una evaluación financiera que permita hallar el valor presente neto, todo esto con el fin de tener más información financiera que permita tomar decisiones a la hora de implementar buses eléctricos en el SITM.

Referencias bibliográficas

- Amable. I. Méndez. J.. Delgado. L.. Acebo. F.. de Armas. J.. & Rivero. M. (2017). Contaminación ambiental por ruido. *Revista Médica Electrónica*. 39(3). 640–649. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rme/v39n3/rme240317.pdf>
- Bloomberg New Energy Finance. (2018). *Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2*. 63. Retrieved from https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1726_BNEF_C40_Electric_buses_in_cities_FINAL_APPROVED_%282%29.original.pdf?1523363881
- Cindy Castiblanco. (2020). Cifras para reflexionar sobre movilidad sostenible. Calidad del aire. | Bogota.gov.co. Retrieved August 30, 2020. from <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/cifras-para-reflexionar-sobre-movilidad-sostenible-calidad-del-aire>
- Congreso de Colombia. (2019). *Ley N° 1964*. 6.
- Corporation. S. B. U. S. (2020). *Autobuses eléctricos sunwin*.
- Dual. P. A. (2020). *SWB6120BEVHF 12m Eléctrico Urbano Oferta Autobuses Eléctricos SUNWIN*.
- Durán. V. *Energía eléctrica: Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia. Bogotá D.C.: Codensa SA ESP. . (2009)*.
- Europeas. C. (2007). EL SÉPTIMO PROGRAMA MARO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (7PM). *Comisión Europea*. Retrieved from www.ec.europa.eu/research/fp7/
- Europeo. P. (2019). *Informe sobre movilidad urbana sostenible*.
- Félix Cristancho. (2020. June 2). Más de 33.400 viajes se han realizado en Metrobici – Prensa

- Alcaldía de Bucaramanga. Retrieved August 30, 2020. from Prensa BGA website: <https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/mas-de-33-400-viajes-se-han-realizado-en-metrobici/>
- GGGI and CSTEP. (2016). Electric Buses in India : Technology . Policy and Benefits. *Electric Buses in India: Technology. Policy and Benefits. GGGI. Seoul. Republic of Korea. August. 82.* Retrieved from <https://gggi.org/site/assets/uploads/2016/10/2016-08-Electric-Buses-in-India-Technology-Policy-and-Benefits.pdf>
- Gleave, S. D.. & AKIRIS. (2007). *Estructuración técnica, legal y financiera de sistema de recaudo centralizado para ciudades intermedias.*
- González, R. Q. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente urbano Sustainable transport and its role in the development of urban environment. *Revista Ingeniería y Región. 14(2).* 87–97. Retrieved from <http://img.diariodelviajero.com/2010/07/>
- Guillamón, D.. & Hoyos, D. (2019). Movilidad Sostenible de la teoría a la práctica. *Manu Robles - Arangiz Institutua. 1er(N/A).* 49. Retrieved from <http://www.bantaba.ehu.es/obs/ocont/dessost/desdoc/movsosten/>
- Ilárraz Rodríguez, I. (2019). *Movilidad sostenible y equidad.* 337–342. Retrieved from <http://www.euskomedia.org/PDFAnlt/congresos/16/16337342.pdf>
- JafarzadehFadaki, S., Abbasi, M. H., & Esmailzadeh, S. (2018). *Study of Electric Buses and Their Impact on The Environment in Urban Networks.* (February 2018). 15. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/323336803_Study_of_Electric_Buses_and_Their_Impact_on_the_Environment_in_Urban_Networks#:~:text=Measurement of the noise pollution,vehicles to reduce environmental pollutants.
- LABMOB. (2020). E-BUS RADAR. Retrieved August 30, 2020. from

<https://www.ebusradar.org/es/home-es/>

Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62(July), 673–684.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>

Metrolínea. (2020). Metrolínea. Retrieved August 31, 2020, from

<https://www.metrolinea.gov.co/v3.0/>

Nacional, G. *Resolución 4350 de 1998. Bogotá D.C.: República de Colombia.* . (1998).

Planeación, D. N. de. (2008). *Manual De Tarifa*. 1–2.

Secretaría de Cambio Climático y Medio Ambiente. UGT Confederal. (2018). Movilidad Sostenible. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

United Nations Environment. (2018). *Electric Mobility in Latin America*. 42. Retrieved from <https://movelatam.org/wp-content/uploads/2019/06/MOVE-Regional-Report-2018-ES.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Costos y beneficios por kilómetro de buses eléctricos Diésel y eléctrico

Figura A1. Costos y beneficios por kilómetro de buses eléctricos en comparación con los buses Diésel actuales.

Componente de análisis		Tipo de Vehículo				
		Vehículo Diesel		Vehículo eléctricos		
Estructura		Actualmente los buses no cuentan con ningún sistema de monitoreo		Están equipados con un moderno sistema Multiplexado que permite un diagnóstico completo de la unidad en tiempo real a través de un display en el panel de instrumentos.		
Camaras		Actualmente los buses no cuentan con ningún sistema de monitoreo por camaras		El sistema cuenta con dos camaras de video una en las puertas traseras activadas cuando de la apertura de la puerta y otra en la parte trasera activada automáticamente cuando se ejecuta la operación de reversa.		
Sistema eléctrico		Sistema eléctrico estandar, Actualmente los buses no cuentan con ningún sistema de monitoreo de sistema eléctrico		Los Autobuses Sunwin están equipados con un moderno sistema Multiplexado que permite un diagnóstico completo de la unidad en tiempo real a través de un display en el panel de instrumentos.		
Sistema de monitoreo		Actualmente los buses no cuentan con ningún sistema de monitoreo		Para asegurar la vida de las baterías se utiliza un sistema de monitoreo en tiempo real donde se puede, a distancia, verificar las condiciones de los vehiculos y de las baterías a través de una central de monitoreo con geolocalización,acompañamiento del manejo en tiempo real,Consumo, desempeño, fallas y mensajes.		
ventanas		las ventanas son estandar las cuales cumplen con todos los requerimientos de seguridad		Están equipadas con ventanas pegadas que permite un mejor acabado y un mejor visual de la unidad ademas de un sistema anti robo. El vehiculo está equipado con martillos para romper los cristales en caso de emergencia y dos salidas de emergencia en el techo.		
Imagen general		Los vehiculos cuentan con una imagen en su carrasería estandar para vehiculos de transporte masivo		Ademas de su tecnología los Autobuses Sunwin poseen un diseño moderno y atractivo a los usuarios. Esto permite cambiar el imagen de la ciudad creando un espacio armónico entre buses y espacio publico.		
Costo operacional Anual año 1	*kilometro	Tipo de bus	Padron	articulado	Padron	articulado
		Combustible	\$ 81,865,669	\$ 96,867,387	\$ 68,865,669	\$ 82,339,387
		Lubricantes	\$ 3,591,000	\$ 4,562,000	\$ 0	\$ 0
		Mantenimien	\$ 5,500,000	\$ 8,100,000	\$ 4,113,446	\$ 7,297,920
Costo Vehículo			\$ 215,000,000	\$ 361,000,000	\$ 735,000,000	\$ 1,400,000,000

Apéndice B. Costos medios por Kilómetro y anuales de vehículo eléctrico PADRON

Figura B1. Costos medios por Kilómetro y anuales de vehículo eléctrico PADRON.

Costo por kilómetro en COP_2020

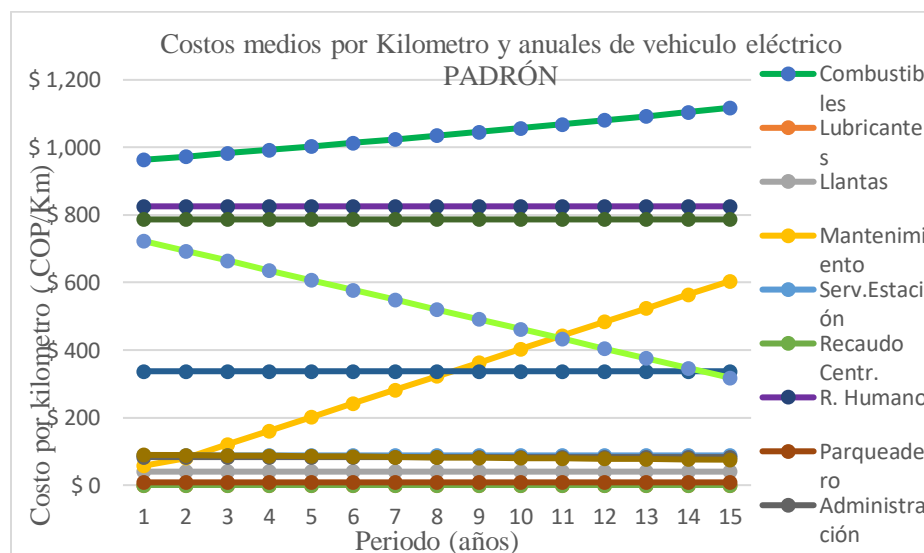
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Combustibles	\$ 964	\$ 973	\$ 983	\$ 993	\$ 1.003	\$ 1.013	\$ 1.024	\$ 1.035	\$ 1.046	\$ 1.057	\$ 1.069	\$ 1.080	\$ 1.093	\$ 1.105	\$ 1.117
Lubricantes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Llantas	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40
Mantenimiento	\$ 58	\$ 81	\$ 121	\$ 161	\$ 201	\$ 242	\$ 282	\$ 322	\$ 363	\$ 403	\$ 443	\$ 483	\$ 524	\$ 564	\$ 604
Serv.Estación	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88
Recaudo Centr.	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
R. Humano	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826
Parqueadero	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8
Administración	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83
Impuestos	\$ 89	\$ 88	\$ 87	\$ 86	\$ 85	\$ 84	\$ 83	\$ 82	\$ 81	\$ 80	\$ 79	\$ 78	\$ 77	\$ 76	\$ 75
Seguros	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337	\$ 337
Rec. Cap	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787	\$ 787
Margen	\$ 723	\$ 694	\$ 665	\$ 636	\$ 607	\$ 578	\$ 549	\$ 520	\$ 491	\$ 462	\$ 434	\$ 405	\$ 376	\$ 347	\$ 318
Total	\$ 4.002	\$ 4.005	\$ 4.025	\$ 4.045	\$ 4.066	\$ 4.087	\$ 4.108	\$ 4.129	\$ 4.150	\$ 4.172	\$ 4.194	\$ 4.216	\$ 4.238	\$ 4.261	\$ 4.284

Costo por año en COP_2020

Combustibles	\$ 68.87	\$ 69.55	\$ 70.25	\$ 70.96	\$ 71.69	\$ 72.43	\$ 73.19	\$ 73.96	\$ 74.75	\$ 75.56	\$ 76.38	\$ 77.22	\$ 78.08	\$ 78.97	\$ 79.87
Lubricantes	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Llantas	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86	\$ 2.86
Mantenimiento	\$ 4.11	\$ 5.76	\$ 8.64	\$ 11.52	\$ 14.40	\$ 17.28	\$ 20.16	\$ 23.04	\$ 25.91	\$ 28.79	\$ 31.67	\$ 34.55	\$ 37.43	\$ 40.31	\$ 43.19
Serv.Estación	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29
Recaudo Centr.	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84	\$ 12.84
R. Humano	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00
Parqueadero	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59
Administración	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94
Impuestos	\$ 6.40	\$ 6.32	\$ 6.25	\$ 6.18	\$ 6.11	\$ 6.04	\$ 5.97	\$ 5.89	\$ 5.82	\$ 5.75	\$ 5.68	\$ 5.61	\$ 5.54	\$ 5.47	\$ 5.39
Seguros	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10	\$ 24.10
Rec. Cap	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23	\$ 56.23
Margen	\$ 51.64	\$ 49.58	\$ 47.51	\$ 45.45	\$ 43.38	\$ 41.31	\$ 39.25	\$ 37.18	\$ 35.12	\$ 33.05	\$ 30.99	\$ 28.92	\$ 26.85	\$ 24.79	\$ 22.72
Total	\$ 298.88	\$ 299.07	\$ 300.51	\$ 301.96	\$ 303.43	\$ 304.92	\$ 306.42	\$ 307.93	\$ 309.46	\$ 311.01	\$ 312.58	\$ 314.16	\$ 315.77	\$ 317.39	\$ 319.03

Apéndice C. Costos por kilómetro y anuales de un vehículo eléctrico padrón

Figura C1. Costos por kilómetro y anuales de un vehículo eléctrico padrón.



Apéndice D. Costos medios por Kilómetro y anuales de vehículo eléctrico PADRON

Figura D1. Costos medios por Kilómetro y anuales de vehículo eléctrico PADRON.

Costo por KILOMETRO en COP_2020

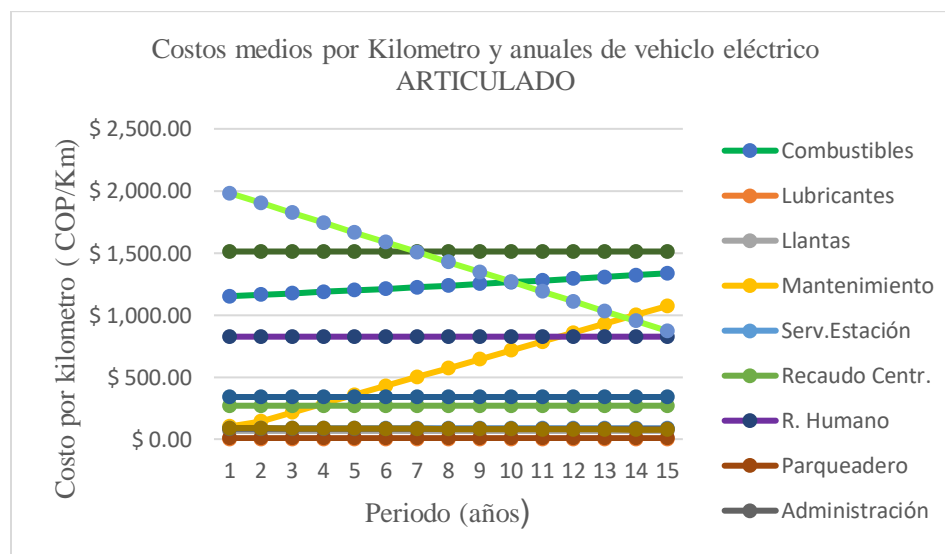
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Combustibles	\$ 1,152	\$ 1,164	\$ 1,175	\$ 1,187	\$ 1,199	\$ 1,212	\$ 1,224	\$ 1,237	\$ 1,251	\$ 1,264	\$ 1,278	\$ 1,292	\$ 1,306	\$ 1,321	\$ 1,336
Lubricantes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Llantas	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67	\$ 67
Mantenimiento	\$ 102	\$ 143	\$ 214	\$ 286	\$ 357	\$ 429	\$ 500	\$ 572	\$ 643	\$ 715	\$ 786	\$ 858	\$ 929	\$ 1.001	\$ 1.072
Serv.Estación	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88	\$ 88
Recaudo Centr.	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270	\$ 270
R. Humano	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826	\$ 826
Parqueadero	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8	\$ 8
Administración	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83	\$ 83
Impuestos	\$ 89	\$ 88	\$ 87	\$ 86	\$ 85	\$ 84	\$ 83	\$ 82	\$ 81	\$ 80	\$ 79	\$ 78	\$ 77	\$ 76	\$ 75
Seguros	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340	\$ 340
Rec. Cap	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512	\$ 1,512
Margen	\$ 1,982	\$ 1,903	\$ 1,824	\$ 1,744	\$ 1,665	\$ 1,586	\$ 1,506	\$ 1,427	\$ 1,348	\$ 1,269	\$ 1,189	\$ 1,110	\$ 1,031	\$ 951	\$ 872
Total	\$ 6,518	\$ 6,490	\$ 6,493	\$ 6,496	\$ 6,500	\$ 6,503	\$ 6,507	\$ 6,511	\$ 6,516	\$ 6,520	\$ 6,525	\$ 6,531	\$ 6,536	\$ 6,542	\$ 6,548

Costo por AÑO en COP_2020

Combustibles	\$ 82.34	\$ 83.16	\$ 83.99	\$ 84.84	\$ 85.71	\$ 86.60	\$ 87.51	\$ 88.43	\$ 89.37	\$ 90.34	\$ 91.32	\$ 92.33	\$ 93.36	\$ 94.42	\$ 95.49
Lubricantes	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Llantas	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76
Mantenimiento	\$ 7.30	\$ 10.22	\$ 15.33	\$ 20.43	\$ 25.54	\$ 30.65	\$ 35.76	\$ 40.87	\$ 45.98	\$ 51.09	\$ 56.19	\$ 61.30	\$ 66.41	\$ 71.52	\$ 76.63
Serv.Estación	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29
Recaudo Centr.	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26	\$ 19.26
R. Humano	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00
Parqueadero	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59
Administración	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94
Impuestos	\$ 6.40	\$ 6.32	\$ 6.25	\$ 6.18	\$ 6.11	\$ 6.04	\$ 5.97	\$ 5.89	\$ 5.82	\$ 5.75	\$ 5.68	\$ 5.61	\$ 5.54	\$ 5.47	\$ 5.39
Seguros	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27
Rec. Cap	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05	\$ 108.05
Margen	\$ 141.67	\$ 136.00	\$ 130.34	\$ 124.67	\$ 119.00	\$ 113.34	\$ 107.67	\$ 102.00	\$ 96.33	\$ 90.67	\$ 85.00	\$ 79.33	\$ 73.67	\$ 68.00	\$ 62.33
Total	\$ 465.88	\$ 463.88	\$ 464.08	\$ 464.30	\$ 464.54	\$ 464.80	\$ 465.08	\$ 465.37	\$ 465.68	\$ 466.02	\$ 466.38	\$ 466.75	\$ 467.15	\$ 467.58	\$ 468.02

Apéndice E. Costos por kilómetro y anuales de un vehículo eléctrico articulado

Figura E1. Costos por kilómetro y anuales de un vehículo eléctrico articulado



Apéndice H. Estados financieros con tarifa actual de vehículo eléctrico articulado

Figura H1. Estados financieros con tarifa actual de vehículo eléctrico articulado

PERDIDAS & GANANCIAS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos operacionales	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2
Ingresos por tarifa técnica	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00	295.00
Otros ingresos	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200
Otros ingresos operacionales	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ingreso neto	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2	\$ 299.2
Gastos operacionales	\$ 172.7	\$ 176.4	\$ 182.3	\$ 188.3	\$ 194.3	\$ 200.3	\$ 206.3	\$ 212.3	\$ 218.4	\$ 224.5	\$ 230.5	\$ 236.7	\$ 242.8	\$ 249.0	\$ 255.2
Combustibles	\$ 82.34	\$ 83.16	\$ 83.99	\$ 84.84	\$ 85.71	\$ 86.60	\$ 87.51	\$ 88.43	\$ 89.37	\$ 90.34	\$ 91.32	\$ 92.33	\$ 93.36	\$ 94.42	\$ 95.49
Lubricantes	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Llantas	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76
Mantenimiento	\$ 7.30	\$ 10.22	\$ 15.33	\$ 20.43	\$ 25.54	\$ 30.65	\$ 35.76	\$ 40.87	\$ 45.98	\$ 51.09	\$ 56.19	\$ 61.30	\$ 66.41	\$ 71.52	\$ 76.63
Recauda centralizado	\$ 19.3	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725	19.261725
Salarios	\$ 59.0	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915	59.0049915
Otros operacionales	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0
Utilidad bruta	126.5312703	122.793939	116.85081	110.8907584	104.913265	98.9177883	92.9037642	86.8706047	80.8176968	74.7444008	68.6500495	62.5339459	56.395362	50.2335369	44.0476751
Margen bruto	42.3%	41.0%	39.1%	37.1%	35.1%	33.1%	31.1%	29.0%	27.0%	25.0%	22.9%	20.9%	18.8%	16.8%	14.7%
Gastos administrativos	\$ 43.5	\$ 43.4	\$ 43.3	\$ 43.3	\$ 43.2	\$ 43.1	\$ 43.1	\$ 43.0	\$ 42.9	\$ 42.8	\$ 42.8	\$ 42.7	\$ 42.6	\$ 42.6	\$ 42.5
Servicio de estación	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29
Parqueadero	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59
Administración	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94
Impuestos	\$ 6.40	\$ 6.32	\$ 6.25	\$ 6.18	\$ 6.11	\$ 6.04	\$ 5.97	\$ 5.89	\$ 5.82	\$ 5.75	\$ 5.68	\$ 5.61	\$ 5.54	\$ 5.47	\$ 5.39
Seguros	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27	\$ 24.27
Otros operacionales	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0	\$ 0.0
Depreciación y Amortización	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00	\$ 14.00
Depreciación (Chasis)	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50
Depreciación (Carrocería)	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50	\$ 5.50
Depreciación (Batería)	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00	\$ 3.00
Depreciación (Activo diferidos)	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
No operacionales	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Ingresos	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Egresos	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Interes & Impuestos	\$ 32.72	\$ 28.86	\$ 24.74	\$ 25.80	\$ 22.48	\$ 20.41	\$ 26.47	\$ 21.41	\$ 17.02	\$ 15.56	\$ 13.97	\$ 10.64	\$ 20.48	\$ 15.30	\$ 10.37
Intereses	\$ 29.93	\$ 27.13	\$ 22.48	\$ 22.88	\$ 20.48	\$ 22.08	\$ 25.80	\$ 18.22	\$ 14.90	\$ 12.90	\$ 10.51	\$ 8.78	\$ 20.48	\$ 15.30	\$ 10.37
Impuestos	\$ 2.79	\$ 1.73	\$ 2.26	\$ 2.93	\$ 2.00	\$ 1.33	\$ 0.67	\$ 3.19	\$ 2.13	\$ 2.66	\$ 3.46	\$ 1.86	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Utilidad neta	\$ 36.33	\$ 36.52	\$ 34.77	\$ 27.82	\$ 25.23	\$ 18.38	\$ 9.38	\$ 8.47	\$ 6.88	\$ 2.34	\$ -2.09	\$ -4.81	\$ -20.72	\$ -21.62	\$ -22.81
Utilidad neta acumulada	\$ 36.33	\$ 72.84	\$ 107.61	\$ 135.43	\$ 160.66	\$ 179.04	\$ 188.42	\$ 196.89	\$ 203.77	\$ 206.11	\$ 204.02	\$ 199.22	\$ 178.50	\$ 156.88	\$ 134.07
Margen neto	12.14%	12.20%	11.62%	9.30%	8.43%	6.14%	3.13%	2.83%	2.30%	0.78%	-0.70%	-1.61%	-6.92%	-7.23%	-7.62%

Apéndice I. Estados financieros con tarifa alternativa de vehículo eléctrico articulado

Figura I1. Estados financieros con tarifa alternativa de vehículo eléctrico articulado

PERDIDAS & GANANCIAS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos operacionales	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6
Ingresos por tarifa técnica	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40	318.40
Otros ingresos	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200	4.200
Otros ingresos operacionales	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ingreso neto	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6	\$ 322.6
Gastos operacionales	\$ 172.7	\$ 176.4	\$ 182.3	\$ 188.3	\$ 194.3	\$ 200.3	\$ 206.3	\$ 212.3	\$ 218.4	\$ 224.5	\$ 230.5	\$ 236.7	\$ 242.8	\$ 249.0	\$ 255.2
Combustibles	\$ 82.3	\$ 83.16	\$ 83.99	\$ 84.84	\$ 85.71	\$ 86.60	\$ 87.51	\$ 88.43	\$ 89.37	\$ 90.34	\$ 91.32	\$ 92.33	\$ 93.36	\$ 94.42	\$ 95.49
Lubricantes	\$ 0.0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Llantas	\$ 4.8	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76	\$ 4.76
Mantenimiento	\$ 7.3	\$ 10.22	\$ 15.33	\$ 20.43	\$ 25.54	\$ 30.65	\$ 35.76	\$ 40.87	\$ 45.98	\$ 51.09	\$ 56.19	\$ 61.30	\$ 66.41	\$ 71.52	\$ 76.63
Recauda centralizado	\$ 19.3	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26	19.26
Salarios	\$ 59.0	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00	\$ 59.00
Otros operacionales	\$ 0.0	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
Utilidad bruta	149.9312703	146.199939	140.25081	134.2907584	128.313265	122.3177883	116.3037642	110.2706047	104.2176968	98.1444008	92.0500495	85.9339459	79.795362	73.6335369	67.4476751
Margen bruto	46.5%	45.3%	43.5%	41.6%	39.8%	37.9%	36.1%	34.2%	32.3%	30.4%	28.5%	26.6%	24.7%	22.8%	20.9%
Gastos administrativos	\$ 43.5	\$ 43.4	\$ 43.3	\$ 43.3	\$ 43.2	\$ 43.1	\$ 43.1	\$ 43.0	\$ 42.9	\$ 42.8	\$ 42.8	\$ 42.7	\$ 42.6	\$ 42.6	\$ 42.5
Servicio de estación	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29	\$ 6.29
Parqueadero	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59	\$ 0.59
Administración	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94	\$ 5.94
Impuestos	\$ 6.40	\$ 6.32	\$ 6.25	\$ 6.18	\$ 6.11	\$ 6.04	\$ 5.97	\$ 5.89	\$ 5.82	\$ 5.75	\$ 5.68	\$ 5.61	\$ 5.54	\$ 5.47	\$ 5.39
Seguros	\$ 24.27	\$ 24.27													