UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Determinación de los costos de operación de vehículos eléctricos en el transporte como estrategia de movilidad sostenible. Caso de estudio Manizales

Ing. Daniela Ocampo González

Universidad Nacional de Colombia

Grupo de Investigación en Movilidad Sostenible

Manizales, Colombia

2019

Determination of the operating costs of electric vehicles in a transport as a sustainable mobility strategy.
Case estudy Manizales

Ing. Daniela Ocampo González

Trabajo de profundización presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería - Infraestructura y Sistemas de Transporte

Director:

Diego Alexander Escobar García, PhD

Línea de Profundización:

Tránsito y Transporte

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Movilidad Sostenible

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería civil

Manizales, Colombia

2019

Dedicatoria

A mis papás y mi hermanito Fabián, por ser simplemente el motor de mi vida

Resumen

El desconocimiento de los costos de operación del vehículo eléctrico en la sociedad se debe, principalmente, a un mercado monopolizado por vehículos que funcionan con combustibles fósiles, lo cual contribuye directamente al agotamiento de las fuentes de energía disponibles, debido a una explotación descontrolada de los recursos naturales. Dicha problemática asume aspectos políticos, abordados a partir de la falta de leyes que establezcan una metodología para el análisis de los costos de operación de los vehículos eléctricos, los cuales, debido al alto costo de adquisición, el estado de incertidumbre en su mantenimiento y la falta de infraestructura y carácter público-accequible de las estaciones de almacenamiento de energía eléctrica o electrolineras, no son comerciales en el mercado. Debido a lo anterior se requiere, dentro de un contexto de movilidad eléctrica sostenible con el transporte público de la ciudad, la determinación de los costos de operación y el cálculo de accesibilidad media global e integral en la ciudad de Manizales para este tipo de equipos.

Palabras clave: Vehículo Eléctrico, Movilidad, Accesibilidad, Costos, Tiempo de Viaje, Velocidad

Abstract

The ignorance of operation costs of the electrical vehicle in the society owes, principally, to a market monopolized by vehicles that work with fossil fuels, which contributes straight to the depletion of the available energy sources, due to an uncontrolled development of the natural resources. The above mentioned problems assumes political aspects tackled from the absence of laws that establish a methodology for the analysis of operation costs of the electrical vehicles, which due to the high acquisition cost, the uncertainly in its maintenance and the absence of infrastructure, public-accessibility character of the stations of electric storage power or called electric charge station, are not commercial in the market. Due to the above, within a context of sustainable electric mobility with the city's public transport, the determination of operating costs and the calculation of global and integral average accessibility in the city of Manizales for this type of equipment is required.

Keywords: Electric Vehicle, mobility, accessibility, costs, travel time, speed

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de gráficas ..... **XIII**

Lista de tablas ..... **XV**

Lista de fórmulas ..... **XIX**

Lista de Símbolos y abreviaturas ..... **XIX**

Introducción **1**

1. Estado del arte **5**

2. Antecedentes **15**
2.1 El vehículo eléctrico en Colombia 22
2.2 El vehículo eléctrico en Manizales 22
2.3 Movilidad Sostenible 23
2.4 Accesibilidad 24
2.4.1 La red vial 25
2.4.2 Velocidad operativa sobre la red 26

3. Objetivos **27**
3.1 Objetivo general 27
3.2 Objetivos específicos 27

4. Metodología **28**

5. Análisis y validacion de bases de datos **34**
5.1 Especificaciones técnicas 39
5.2 Cálculo de la velocidad promedio 44
5.3 Análisis de la velocidad promedio 46
5.4 Cálculo de los tiempos de viaje 50

6. Resultados y discusión 51
6.1 Determinación de los costos de operación 51
6.1.1 Costos variables....51
6.1.1.2 Combustible 52
6.1.1.2.1 Instalacion de estaciones de servicio 62
6.1.1.3 Lubricantes 64
6.1.1.4 Llantas y/o neumaticos....66
6.1.1.5 Filtros 68
6.1.1.6 Mantenimiento....70
6.1.1.7 Salario y prestaciones básicas 70
6.1.1.8 Servicios de estación 71
6.1.2 Costos fijos 71
6.1.2.1 Garaje 72
6.1.2.2 Impuestos 72
6.2 Análisis de accesibilidad 83
6.2.1 Accesibilidad media global bus eléctrico 84
6.2.2 Accesibilidad media global bus a combustión 89
6.2.3 Gradiente de ahorro entre la red del bus eléctrico y la red del bus a combustión 94
6.2.4 Accesibilidad media integral sector Los Cambulos....100
6.2.5 Accesibilidad media integral sector Mall Plaza 105
6.2.6 Accesibilidad media integral sector Tambo La Manuela 105
6.2.7 Accesibilidad media integral de todas las electrolineras 118

7. Conclusiones y recomendaciones 125
7.1 Conclusiones....125
7.1.2 Obtención de datos 126
7.1.2 Obtención de datos 126
7.1.3 Velocidad operativa sobre la red 127
7.1.4 Metodología de obtención de los costos de operación 127
7.1.5 Costos de operación vs accesibilidad....128
7.1 Recomendaciones 129

8. Bibliografía 131

Lista de gráficas

Pág.

Gráfica 1: Cifras y estadísticas del total de vehículos BEV registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS 16

Gráfica 2: Cifras y estadísticas del total de vehículos PHEV registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS 17

Gráfica 3: Cifras y estadísticas del total de vehículos PHEV registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS 18

Gráfica 4: Distribución poblacional según estratos socioeconómicos 32

Gráfica 5: Ruta del Bus eléctrico. CHEC – Sultana 35

Gráfica 6: Ruta del Bus a Combustión. CHEC – Enea..... 37

Gráfica 7: Pantalla inicial software Velocidades GPS 44

Gráfica 8: Pantalla tabla de atributos software ArcMap. Columna de velocidad promedio45

Gráfica 9: Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía. 55

Gráfica 10: Precios promedio diario del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía 56

Gráfica 11: Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Primer semestre del año 2019. Ministerio de Minas y de Energía 58

Gráfica 12: Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Primer semestre del año 2019. Ministerio de Minas y de Energía 59

Gráfica 13: Tarifa industrial y comercial de energía eléctrica. Mercado regulado. Año 2018 y 2019. Empresas Públicas de Medellin E.S.P. 61

Gráfica 14: Cobertura del seguro SOAT. Vehículo a combustión. Extracción de ficha de precios oficial para el 2019..... 84

Gráfica 15: Curvas isócronas. Accesibilidad media global. Bus eléctrico..... 88

Gráfica 16: Ojiva de cobertura. Accesibilidad media global. Bus eléctrico. 89

Gráfica 17: Curvas isócronas. Accesibilidad media global. Bus a combustión. 93

Gráfica 18: Ojiva de cobertura. Accesibilidad media global. Bus a combustión. 95

Gráfica 19: Gradiente de ahorro entre la red del bus eléctrico y el de combustión. 99

Gráfica 20: Ojiva de cobertura. Gradiente de ahorro.. 100

Gráfica 21: Curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico.. 105

Gráfica 22: Ojiva de cobertura. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico 106

Gráfica 23: Curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera Mall Plaza. Bus eléctrico. 110

Gráfica 24: Ojiva de cobertura. Electrolinera Mall Plaza. Bus eléctrico. 111

Gráfica 25: Curvas isócronas. Accesibilidad media integral.. Electrolinera Tambo La Manuela.Bus eléctrico.....116

Gráfica 26: Ojiva de cobertura. Electrolinera el Tambo La Manuela. Bus eléctrico.....119

Gráfica 27: Curvas isócronas. Accesibilidad integral de todas las electrolineras. Bus eléctrico.. 124

Gráfica 28: Ojiva de cobertura. Todas las electrolineras. Bus eléctrico 119

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1: Cifras y estadísticas del total de vehículos híbridos y eléctricos registrados en el RUNT en Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS... 15

Tabla 2: Cifras y estadísticas del total de vehículos a combustión registrados en el RUNT en Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS... 19

Tabla 3: Datos recolectados de la ruta del bus eléctrico. CHEC – Sultana. 35

Tabla 4: Síntesis de los recorridos realizados en la ruta del bus eléctrico. CHEC – Sultana. 36

Tabla 5: Datos recolectados de la ruta del bus a combustión. CHEC – Enea. 38

Tabla 6: Síntesis de los recorridos realizados en la ruta del bus a combustión. CHEC – Enea. 39

Tabla 7: Especificaciones generales. Manual técnico del bus eléctrico. Ebus BYD K7. .. 40

Tabla 8: Especificaciones del chasis. Manual técnico del bus eléctrico. Ebus BYD K7. .. 41

Tabla 9: Especificaciones del motor. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD. 42

Tabla 10: Especificaciones del chasis. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD. 42

Tabla 11: Especificación de las dimensiones. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD. 43

Tabla 12: Especificación de pesos y capacidades. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD.. 43

Tabla 13: Velocidades asignadas a la red de transporte público según tipología y pendiente media de la vía. Bus eléctrico... 46

Tabla 14: Velocidades asignadas a la red de transporte público según tipología y pendiente media de la vía. Bus a combustión... 46

Tabla 15: Diferencia de la velocidad promedio entre el bus eléctrico y el bus a combustión.. 47

Tabla 16: Porcentaje de la diferencia de las velocidades promedio entre el bus eléctrico y el bus a combustión.. 48

Tabla 17: Comparación de precios de combustibles. Bus eléctrico y bus a combustión.. 54

Tabla 18: Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía... 54

Tabla 19: Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía... 57

Tabla 20: Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Primer semestre año 2019. Ministerio de Minas y de Energía.....57

Tabla 21: Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Primer semestre año 2019. Ministerio de Minas y de Energía. 60

Tabla 22: Tarifa industrial y comercial de energía eléctrica. Mercado Regulado. Año 2018 y 2019. Empresas Públicas de Medellin E.S.P. 63

Tabla 23: Precios aproximados de la instalación de una electrolinera en la ciudad de Manizales. Cotización Chec. 65

Tabla 24: Precios de los lubricantes para ambos buses en estudio.....67

Tabla 25: Precios de las llantas para ambos buses en estudio.....68

Tabla 26: Precios de los filtros para ambos buses en estudio... 71

Tabla 27: Sueldo de los conductores de los buses en estudio.....73

Tabla 28: Impuestos a pagar por los buses en estudio.....73

Tabla 29: Precios de los seguros para ambos buses en estudio... 75

Tabla 30: Recopilación de costos fijos y costos variables. Bus eléctrico y bus a combustión... 77

Tabla 31: Distribución de costos a partir del precio contratado entre Chec y Promotur SAS. Bus a combustión... 79

Tabla 32: Registro de carga con fecha y porcentaje de carga. Bus eléctrico... 82

Tabla 33: Análisis del porcentaje de ahorro de costos entre los buses en estudio.....85

Tabla 34: Porcentaje de cobertura de área y de población de las curvas isócronas de accesibilidad media global. Bus eléctrico... 86

Tabla 35: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media global. Bus eléctrico... 87

Tabla 36: Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Accesibilidad media global. Bus eléctrico.. 90

Tabla 37: Porcentaje de cobertura de área y de población de las curvas isócronas de accesibilidad media global. Bus a combustión... 91

Tabla 38: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media global. Bus a combustión... 92

Tabla 39: Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Accesibilidad media global. Bus a combustión....96

Tabla 40: Porcentaje de cobertura de área y de población de las curvas isócronas del gradiente de ahorro... 97

Tabla 41: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas del gradiente de ahorro... 98

Tabla 42: Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Gradiente de ahorro... 101

Tabla 43: Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico. 103

Tabla 44: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico... 104

Tabla 45: Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico...107

Tabla 46: Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Mall Plaza. Bus eléctrico. 108

Tabla 47: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Electrolinera sector Mall Plaza. Bus eléctrico.. 109

Tabla 48: Porcentaje acumulado de la poblacion cubierta por las curvas isócronas dependiendo del estrato socioeconomico. Electrolinera Mall Plaza. Bus eléctrico. 112

Tabla 49: Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Tambo La Manuela. Bus eléctrico. 112

Tabla 50: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Electrolinera sector Tambo La Manuela. Bus eléctrico...114

Tabla 51: Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Electrolinera tambo la Manuela. Bus eléctrico...115

Tabla 52: Resumen de resultados obtenidos a partir de los análisis de accesibilidad media integral. Bus eléctrico..... 117

Tabla 53: Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Todas las electrolineras. Bus eléctrico. 120

Tabla 54: Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Todas las electrolineras. Bus eléctrico... **.....**122

Tabla 55: Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Todas las electrolineras. Bus eléctrico... **.....**122

Lista de fórmulas

Pág.

Fórmula 1: Cálculo del tiempo de viaje promedio... 15

Fórmula 2: Cálculo del precio mensual del seguro. Bus eléctrico... 19

Fórmula 3: Cálculo del precio mensual del seguro. Bus a combustión. 35

Fórmula 4: Cálculo del precio mensual del impuesto Bus a combustión..... 36

Fórmula 5: Cálculo del precio mensual de las llantas. Bus eléctrico. 38

Fórmula 6: Cálculo del precio mensual de las llantas. Bus a combustión. 39

Fórmula 7: Cálculo del precio mensual de los lubricantes. Bus eléctrico.. 42

Fórmula 8: Cálculo del precio mensual de los lubricantes. Bus a combustión.. 42

Fórmula 9: Cálculo del precio mensual de los filtros. Bus eléctrico..... 43

Fórmula 10: Cálculo del precio mensual de los filtros. Bus a combustión... 43

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CHEC	Central Hidroeléctrica de Caldas
EPM	Empresas Públicas de Medellín
DNP	Departamento Nacional de Planeación
GGGI	Green Growth Institute
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SiB	Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
PIB	Producto Interno Bruto
EPOC	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica
CO	Monóxido de Carbono
NOx	Óxidos de Nitrógeno
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
BEP	Barriles Equivalentes de Petróleo
PND	Plan Nacional de Desarrollo
IDEAM	Instituto de Estudios Ambientales
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
INDC	Intended nationally determined contributions
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
SCC	Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular
PST	Partículas Suspendidas Totales
OMS	Organización Mundial de la Salud
EAFO	European alternative fuels observatory
ANDEMOS	Asociación Nacional de Movilidad Sostenible
RUNT	Registro Único Nacional de Tránsito
BEV	Battery Electric Vehicle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle

HEV	Hybrid Electric Vehicle
EV	Electric Vehicle
ACPM	Aceite Combustible Para Motores
GNV	Gas Natural Vehicular
GLP	Gas Licuado de Petróleo
MME	Ministerio de Minas y Energía
PAI	Plan de Acción Institucional
BYD	Empresa especializada en tecnologías de Información, automóviles y nuevas fuentes de energía en China
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
GPS	Global Positioning System
ABS	Anti blockier system

Introducción

El hombre a través de la historia ha procurado generar un desarrollo que satisfaga sus necesidades más inmediatas, como es el caso de movilizarse. La movilidad es una práctica social de desplazamiento entre lugares con el fin de concretar actividades cotidianas (Gutiérrez, 2012), en la cual las energías no renovables representan la mayor demanda, en un mercado que limita la oferta de otros tipos de combustibles más acordes con el ciclo natural del medio ambiente y que representen un ahorro económico reflejado en los costos de operación que asume el consumidor al suplir dicha necesidad.

Desde el siglo XVIII, se registra la aparición de la energía eléctrica en el mundo como resultado de la interpretación de diversos estudios que ya se habían planteado por Tales de Mileto y otros pensadores antes de Cristo. Sin embargo, es en el siglo XIX en el que los científicos de la época profundizan en temas de electricidad, siendo Tomas Alba Edison el principal impulsador del suministro de la energía eléctrica en las ciudades, debido a la invención del foco eléctrico, lo que significó un notable desarrollo propio de la Revolución Industrial, pues se había pasado de ciudades alumbradas con petróleo a tener alumbrado eléctrico. Paralelamente con la aparición de la locomotora a vapor, nació el transporte público y con él la movilidad urbana de grandes masas, contrario al transporte existente de pasajeros realizado por tracción animal.

La crisis del petróleo y la necesidad de aumentar los rendimientos del galón de combustible, con el fin de reducir el consumo, controlar la dependencia política y energética de los países consumidores, permitieron retomar la iniciativa de potencial masificación de vehículos híbridos y eléctricos (Quintana, 2014). Estos vehículos datan su existencia desde el siglo XIX, con la implementación de las baterías en los autos de la época y permitiendo el desplazamiento de las personas en las ciudades, debido a que solo se disponía de energía eléctrica en dichas urbes. Lo anterior sumado a la poca autonomía, la falta de puntos de recarga y las bajas velocidades, fueron los inconvenientes que impidieron que la tecnología del auto eléctrico se perfeccionara y sobreviviera durante el siglo XX.

A lo anterior se le suma la creación de la Ford Motor Company en 1903 por el norteamericano Henry Ford, empresa destinada a la fabricación de automóviles en serie, con características sencillas que los hacían accequible para un público objetivo clase media, metodología que revolucionó la industria automovilística a nivel mundial. Fue así como los vehículos con motores de combustión interna lideraron y desplazaron del mercado al vehículo eléctrico, cuya reaparición se debió a consideraciones de conciencia ambiental, que surgieron como consecuencia de los altos índices de contaminación registrados por la actividad, los cuales, según la IEA en el 2017, oscilan entre un 20% y 30% del total de gases contaminantes emitidos a la atmosfera, y a la implementación de políticas que promueven los gobiernos con el fin de aumentar las ventajas de su tenencia y uso en comparación con los vehículos convencionales. Dentro de las ventajas reflejadas como incentivos económicos se encuentran exenciones al impuesto de compra, al pago de peajes y de estacionamiento y a la posibilidad de transitar por el carril del bus, lo anterior con el fin de evitar el problema de congestionamiento urbano común en las ciudades, en las cuales “surge la congestión en condiciones en que la demanda se acerca a la capacidad de la infraestructura transitada y el tiempo de tránsito aumenta a un valor muy superior al que rige en condiciones de baja demanda” Ortuzar & Willunsen, citado por (Thomson & Bull, 2001).

Es así como la determinación de los costos de operación de los vehículos eléctricos se convertirá en una herramienta para determinar las ventajas y desventajas de su implementación en el transporte y, a su vez, proporcionará criterios de cambio en un mercado monopolizado por vehículos que funcionan con combustibles fósiles. Lo anterior en el marco de una alternativa actual de desarrollo sostenible, propuesta en la ciudad de Manizales por la empresa CHEC grupo EPM, en donde se realiza un registro de los datos de carga de un bus 100% eléctrico, el cual funciona en una ruta del transporte de los funcionarios de dicha empresa. Dicho vehículo es de carácter privado y su operación se encuentra limitada por un único punto de recarga en servicio, el cual, se encuentra ubicado en las instalaciones de dicha empresa en el sector de la estación Uribe, hecho que limita su libre desplazamiento hacia lugares fuera de la ciudad debido a la autonomía desempeñada por estos vehículos.

En este proyecto se busca determinar el costo de operación del bus propiedad de la CHEC grupo EPM, a partir de la comparación de los costos fijos y variables entre un bus a combustión y el bus eléctrico mencionado. Lo anterior, con el fin de establecer un

criterio que califique el uso de vehículos eléctricos, sin considerar aspectos relacionados con las emisiones del CO2 ni generalidades de su incorporación en el transporte público de la ciudad, debido al tamaño tan reducido de la muestra. Además, se plantearán análisis de accesibilidad teniendo en cuenta las tres electrolineras proyectadas a instalarse en diferentes sitios de la ciudad, con las cuales se implementa el carácter público del servicio de recarga y su aceptación por parte de los ciudadanos. También, se contemplarán aspectos socioeconómicos, es decir, la población se analizará por los estratos a los cuales pertenece, para definir el porcentaje de habitantes que podrían llegar a acceder a las electrolineras, en unos tiempos de viaje promedio, calculados a partir del análisis de accesibilidad media global e integral. Dicho análisis geoestadístico finalizará con la obtención de las curvas isócronas de la red de transporte público en la ciudad de Manizales las cuales establecen las condiciones de accesibilidad ofrecida por la red de infraestructura de transporte para dicho modo.

La estructura de la presente tesis está conformada inicialmente por un estado del arte, que recopila datos y hechos importantes en el marco de vehículo eléctrico y movilidad sostenible, seguidamente unos antecedentes, sección en la que se presentan estadísticas del vehículo eléctrico a nivel nacional y local, publicadas por entidades competentes en el tema. Además, de la descripción de los enfoques, desde donde se abordará el problema. Dentro de esta sección también se aborda someramente el tema de movilidad sostenible, también se habla de accesibilidad y se realiza una descripción de la red vial y las velocidades de ésta. Luego, se continúa con los objetivos general y específicos, con el fin de puntualizar los logros que se pretenden alcanzar con el desarrollo del tema propuesto, siguiendo una metodología constituida por las actividades, que se convierten en los pasos lógicos a seguir para concluir satisfactoriamente los objetivos.

Posteriormente se plantea la metodología a seguirse y el desarrollo de ésta, teniendo en cuenta la recolección de los datos, el procesamiento de éstos, las fichas técnicas de los buses en estudio y finamente la determinación de los costos de operación. Para concluir con el estudio se exponen las conclusiones y recomendaciones.

1. Estado del arte

En el presente capitulo se aborda la problemática enfocada en el desconocimiento de los costos de operación del vehículo eléctrico en la sociedad, debido a un mercado monopolizado por vehículos que funcionan con combustibles fósiles, lo cual contribuye directamente al agotamiento de las fuentes de energía, debido a una explotación descontrolada de los recursos naturales. Seguidamente se continúa con una estructura de los costos de operación de vehículos eléctricos, dividida en dos grandes ítems, leyes y mercado y finalmente se evidencian los vacíos existentes de la problemática en cuestión.

Colombia cuenta con un robusto marco político y normativo con el cual se busca reducir los impactos ambientales de las actividades productivas que soportan el desarrollo económico. El país ha realizado un esfuerzo para armonizar el desarrollo y el crecimiento de la economía con la protección de los recursos naturales, sin embargo, los sectores aún son intensivos en el uso de los recursos y han generado impactos en el capital natural, que inciden tanto en su oferta como en su calidad (DNP, Fedesarrollo, GGGI y PNUMA, 2017) (Conpes 3934, 2018)

Aun cuando Colombia es un país muy rico en biodiversidad, es muy bajo el desarrollo de bio-productos y servicios basados en el uso sostenible del capital natural que permitan contribuir a la diversificación de la economía nacional, a la generación de valor agregado y nuevos empleos. Lo anterior, entre otras causas, debido a la limitada investigación y desarrollo en materia de biotecnología y a las dificultades institucionales y económicas para posicionar una bioeconomía (Departamento Nacional de Planeación, 2018b)

Por lo tanto, existen documentos de política como el Conpes 3934, en el cual se establece que para mantener e incrementar el ritmo de crecimiento económico que necesita el país, y así atender las problemáticas sociales, en materia de pobreza, desigualdad y construcción de paz, se requiere la búsqueda de nuevas fuentes de crecimiento que sean sostenibles a partir de la oferta de capital natural para la

producción de bienes y servicios ambientales, representada en más de 62.829 especies registradas, 24,8 millones de hectáreas con aptitud forestal y un potencial eólico de 29.500 Megavatios (SiB, 2018; UPRA, 2018; UPME, 2015), (Conpes 3934, 2018).
Igualmente, esta política reconoce que el desarrollo económico actual será insostenible a largo plazo, ya que degrada y agota la base de los recursos para la producción económica y genera altos costos para el ambiente y la sociedad, valorados en más de 16,6 billones de pesos, equivalente al 2,08 % del producto interno bruto (PIB) del 2015 (DNP, 2018). Lo anterior, hace necesario internalizar las externalidades negativas del desarrollo de manera que los sectores sean cada vez más competitivos, más sostenibles en el uso de los recursos y generen menos impactos ambientales. (Conpes 3934, 2018)

En la actualidad la contaminación ambiental es consecuencia de las actividades desarrolladas por el hombre, las cuales generan emisiones al aire provenientes de fuentes móviles y fijas, como una contribución significativa a la contaminación del aire. Las fuentes móviles son aquellas que, por razón de su uso o propósito, son susceptibles de desplazarse. Se dividen en fuentes dentro de la vía como buses, camiones, automóviles, taxis y motos, y fuentes fuera de la vía como trenes, aviones y maquinaria de construcción (Universidad de Los Andes y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2008).
Lo anterior repercute directamente en problemas de salud pública, es así como los efectos asociados a la contaminación del aire se encuentran: la inflamación y disminución de función pulmonar, aumento de casos o síntomas de asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), mayor morbilidad y mortalidad respiratoria y cardiovascular (Laumbach, 2010).

En cifras presentadas por The World Bank (2007), un estudio de Larsen (2004) reveló que en Colombia 6 mil personas (incluyendo 1100 niños y niñas), mueren cada año como consecuencia de la mala calidad del aire y especialmente por emisiones de partículas a la atmósfera (Morales Pinzon & Arias Mendoza, 2013). Adicionalmente, en el mundo, 4.2 millones de muertes se asociaron con la contaminación del aire en el año 2015, cuyas causas se distribuyeron así: Cardiopatía isquémica (40%), Accidente cerebrovascular (40%), Neumopatía obstructiva crónica (11%), Cáncer de pulmón (6%), Infección aguda de las vías respiratorias en niños (3%), lo anterior según

fuente de The Lancet Commission on pollution and health, 2017 - OMS, 2014- Gómez 1996-Universidad de Chile 2008, expuesta en el documento “Calidad del Aire, una prioridad de Política Publica en Colombia” (Departamento Nacional de Planeación, 2018c).

El uso de combustibles fósiles para el funcionamiento del motor de los vehículos libera contaminantes por el tubo de escape, por la evaporación del combustible en el tanque de almacenamiento y en el depósito de lubricante del motor. Entre los contaminantes emitidos se destaca el material particulado, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), los gases de efecto invernadero, las sustancias carcinogénicas y los metales pesados, entre otros (European Environment Agency, 2551). El aumento en la edad y el tiempo de uso de los vehículos ocasiona mayores emisiones contaminantes, debido a que por el diseño del motor la combustión es menos eficiente, además, carecen de sistemas de control de emisiones, tales como filtros de partículas. Las emisiones contaminantes aumentan cuando no se ha realizado mantenimiento periódico y preventivo del vehículo (Onursal & Gautam, 1997). Por esta razón, es necesario retirarlos de circulación mediante la desintegración, con la que se busca maximizar la proporción de los materiales de construcción del vehículo que son recuperados y clasificarlos por sus características para incorporarlos dentro de nuevos procesos productivos, diferentes a los del sector transporte, y así reducir los residuos generados en este proceso (Lopez Castro, 2013). Adicionalmente, sustituirlos por otros de menor edad y mejores tecnologías.

Es así como los vehículos eléctricos se convierten en una alternativa dentro del concepto de tecnología verde y mejoramiento de la calidad del aire a implementarse como política pública, debido a esto se publican los documentos Conpes 3934 y 3943 respectivamente (Departamento Nacional de Planeación, 2018a), en los cuales se proponen acciones para reducir las concentraciones de contaminantes en el aire a través de la renovación y modernización del parque automotor, la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la optimización de la gestión de la información, el desarrollo de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire.

Dentro de los ítems a considerase en dichos documentos se encuentra la renovación y modernización del parque automotor con el ingreso de tecnologías limpias al parque automotor, implementando una estrategia nacional para aumentar la incorporación de

tecnologías de cero y bajas emisiones como vehículos eléctricos, dedicados a gas natural, híbridos, diésel y gasolina de ultra bajo contenido de azufre, entre otras tecnologías, de acuerdo con la clasificación establecida en la normativa vigente, y en articulación con el desarrollo de la estrategia nacional de movilidad eléctrica que hace parte del Documento Conpes 3934.

Por lo tanto, en este documento se expresan las potenciales oportunidades de mejora para el sector transporte, a partir de cambios tecnológicos con base en el reemplazo de combustibles fósiles a sistemas de energía eléctrica. Por ejemplo, un bus eléctrico podría recorrer casi un 85 % más de distancia a partir de una unidad de barriles equivalentes de petróleo (BEP) con respecto a un bus a diésel. A ello debe sumarse la consideración del alto potencial del país para producir energía eléctrica a partir de fuentes no fósiles, tales como eólica o solar.

Desde el punto de vista del sector transporte, hay un vacío de una política integral respecto a la promoción de la electrificación de este sector, por lo cual no se han generado líneas de intervención que promuevan la entrada de vehículos eléctricos en el país, que incluyan vehículos particulares, de transporte público de pasajeros, de carga y motocicletas. Este vacío implica que no se cuenta con una clara definición de instrumentos técnicos, financieros y normativos para la instalación de la infraestructura requerida para la carga, ni mecanismos suficientes que faciliten la entrada al mercado de estas tecnologías en segmentos como los taxis y la flota del sector oficial.

Lo anterior, sin desconocer que se cuenta con avances en materia de incentivos tributarios como los contenidos en la Resolución 41286 de 2016 del Ministerio de Minas y Energía, la Resolución 1988 de 2017 del Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Resolución 585 de 2017 de la UPME y la Resolución 2000 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Así mismo, se cuenta con avances para la movilidad eléctrica en pilotos realizados en el sector oficial en Bogotá liderado por la UPME y el Ministerio de Minas y Energía, y en taxis eléctricos en la ciudad de Medellín con el apoyo de Empresas Públicas de Medellín (EPM). Por otra parte, es importante mencionar que hay una ausencia de la reglamentación requerida para el funcionamiento y operación de la flota de vehículos eléctricos, entre ellas la reglamentación del precio de recarga, el desarrollo de infraestructura de carga y sus condiciones de operación, y el tipo de tecnología para promover la electrificación a nivel nacional. De la misma manera, no se cuenta con evaluaciones exhaustivas para el

establecimiento de líneas férreas eléctricas, sin desconocer las disposiciones establecidas en el PND 2014-2018 para estimular la compra de material rodante férreo.

Dentro de la política de crecimiento verde expuesta en el Conpes 3934 se propone la línea de acción 27 para desarrollar un programa nacional de electrificación para el transporte con el fin de establecer una visión clara sobre la transición tecnológica en el sector de movilidad, para lo cual el Ministerio de Transporte, con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del Ministerio de Minas y Energía y de la UPME formulará entre los años 2018 y 2019 el Programa de Movilidad Eléctrica en Colombia. Este programa servirá de marco para establecer las acciones, metas y responsables que de manera comprensiva permitirán una incorporación gradual de vehículos eléctricos en el país.

La implementación de este programa estará relacionada con el desarrollo de acciones complementarias. En primer lugar, la UPME formulará entre 2018 y 2020 las bases para un programa de reemplazo tecnológico en la flota oficial del país, fomentando la adquisición de vehículos eléctricos e híbridos para las entidades públicas. A su vez, el Ministerio de Transporte deberá desarrollar durante los años 2019 al 2026, una propuesta de ajuste y creación de incentivos a la penetración de vehículos eléctricos en el transporte de carga, público de pasajeros y privado, la cual será presentada al Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Finamente, el Ministerio de Transporte incorporará el desarrollo de líneas férreas eléctricas dentro del Programa de Movilidad Eléctrica en Colombia en el año 2020.

Otro mecanismo que se identificó para generar mercado para las tecnologías de movilidad eléctrica está relacionado con la electrificación de la flota de taxis. Por ello, el Ministerio de Transporte desarrollará una propuesta de estrategia para la migración hacia taxis eléctricos, para lo cual evaluará durante 2022 los resultados del proyecto piloto de taxis eléctricos realizado en la ciudad de Medellín, y con base en estos resultados formulará la estrategia en el año 2023 y acompañará a las ciudades en implementación de esta a partir del año 2024 hasta el 2030.

En cuanto a los temas asociados a la infraestructura para la movilidad eléctrica, el Ministerio de Minas y Energía en coordinación con el Ministerio de Transporte, establecerá entre 2019 y 2020 los lineamientos de política para el desarrollo de la infraestructura, comercialización y operación de la movilidad eléctrica. Para esto, desarrollará en 2019 los estudios técnicos y de mercado con el fin de definir la estructura

operativa, comercial y tarifaria del uso de energía eléctrica en el sector transporte y establecerá en 2020 los reglamentos técnicos para infraestructura dedicada al abastecimiento, suministro, operación y disposición de energía eléctrica para uso en el sector transporte. Asimismo, el Ministerio de Transporte definirá en 2022 los parámetros mínimos de seguridad, homologación y condiciones de operación (incluyendo los requerimientos de revisión técnico-mecánica), de los vehículos eléctricos para los procesos de ensamble e importación. La entrada en operación de dichos parámetros se realizará a partir del año 2023.

Por otro lado, el estado plantea en el Proyecto de Ley N°075 de 2017 con el objetivo de otorgar incentivos al uso de vehículos eléctricos para promover el transporte de cero emisiones y la movilidad sostenible, contribuyendo al mismo tiempo al mejoramiento de la calidad del aire y disminución de enfermedades cardio-respiratorias relacionadas con la contaminación atmosférica en las ciudades.

En conclusión, debido a que el vehículo particular es uno de los principales medios de transporte en el país y a que estos mismos contribuyen a la contaminación atmosférica en las ciudades, promover el uso de vehículos eléctricos es supremamente importante ya que provee soluciones en términos ambientales y de movilidad sostenible. Por lo anterior es importante analizar la dependencia energética que tiene el país respecto al petróleo.
Según estudio revelado por la Contraloría General de la República a partir de 2021 la producción de petróleo no sería suficiente para abastecer las refinerías, debido a la pérdida de autosuficiencia petrolera que se presentará a partir del año 2019 para Ecopetrol, 2020 para la Nación (Ecopetrol + Regalías), 2021 para el país (Ecopetrol + Regalías + Contratos Asociación + Contratos Concesión) y 2023 para combustibles (capacidad instalada para refinación). Según el estudio “en términos de ingresos para el país lo que realmente preocupa es que no hay fuentes sustitutivas de los ingresos provenientes de la renta petrolera(...).”
Por lo anterior, incentivar el reemplazo de energías fósiles por energías renovables y sostenibles es una ventaja competitiva para el desarrollo económico y es necesario para garantizar la seguridad energética del país. Adicionalmente, el pronóstico de la Contraloría abre la discusión sobre la necesidad de buscar alternativas que sustituyan los combustibles fósiles como principal fuente de energía en el sector transporte.

A pesar de que Colombia sólo produce el 0.46% de emisiones globales con 224 millones de toneladas de CO2 equivalente, el país se comprometió a reducir sus emisiones de CO2 en un 20% (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCILLERÍA, 2015). Además, se estableció un objetivo condicional de reducir las emisiones hasta en un 30% si se recibe apoyo económico a través de ayudas internacionales.

El sector transporte es el tercero en producción de emisiones en el país con una producción de 10 toneladas de CO2 al año (IDEAM, 2016). Sin embargo, los objetivos establecidos y priorizados por el país como INDC en el marco del Acuerdo de París no incluyen medidas para disminuir las emisiones desde el sector transporte. Es por esto que consideramos primordial incluir la promoción del uso de vehículos eléctricos, así como la renovación de la flota automotriz con vehículos cero emisiones para contribuir a la meta total de disminuir las emisiones en un 20%.

A su vez, existen disposiciones constitucionales, en el artículo 79, la constitución política consagra que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano”. En consecuencia, es imperativo que el estado adopte medidas y estrategias tendientes a reducir la contaminación atmosférica generada por la emisión de material particulado y gases de efecto invernadero.

También disposiciones legales, Ley 23 de 1973, en la cual se pretende “prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional”. La misma indica que al ser el medio ambiente un “patrimonio común”, su “mejoramiento y conservación son actividades de utilidad pública” que requieren de la participación del Estado y los particulares; define además que el medio ambiente está constituido por la atmósfera y los recursos naturales. Adicionalmente, se indica que el aire, entre otros, se considera un bien contaminable. Se define en esta norma contaminación como la alteración del medio ambiente en cantidades “capaces de interferir con el bienestar y salud de las personas…” Además, la misma le otorga al Gobierno Nacional, la posibilidad de “crear incentivos y estímulos económicos para fomentar programas e iniciativas encaminadas a la protección del medio ambiente”. También la Ley 99 de 1993 y la Ley de 1994, se establecen que “El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.” y “tomando en cuenta las posibilidades de lograr una mayor eficiencia energética y de controlar las emisiones de

gases de efecto invernadero en general, entre otras cosas mediante la aplicación de nuevas tecnologías en condiciones que hagan que esa aplicación sea económica y socialmente beneficiosa." Establece además como compromiso de las partes el promover y apoyar prácticas y procesos que "controlen, reduzcan o prevengan las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero…en todos los sectores pertinentes, entre ellos la energía, el transporte…" respectivamente.

Por otro lado, existen decretos enfocados al mercado de los vehículos eléctricos, como es el caso del 1116 de 2017, el cual busca modificar parcialmente el arancel de aduanas al establecer contingentes para la importación de vehículos eléctricos, híbridos y sistemas de carga. Se establecen cupos para la importación con gravamen arancelario del 0% al año y hasta 2027.

Estas leyes, decretos y en general el marco normativo, fueron compilados en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente, Decreto 1076 de 2015 y permitieron orientar el mejoramiento progresivo de la calidad de los combustibles en el país.

En 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptó la Resolución 1988 que estableció como metas ambientales las de eficiencia energética definidas por el Ministerio de Minas y Energía en la Resolución 41286 de 2016, en la que el sector transporte contempló la introducción de vehículos eléctricos, dedicados a gas natural e híbridos. Adicionalmente, el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo expidió el Decreto 1116 de 2017 (MinComercio, 2017) mediante el cual se aprobó la reducción de arancel para vehículos eléctricos e híbridos con el 0 % y 5 % respectivamente, para un total de importación de 52.800 unidades. No obstante, la introducción al país de este tipo de vehículos ha sido baja debido a las deficiencias en el procedimiento de acceso a incentivos para su adquisición, además de la falta de infraestructura de recarga y falta de personal debidamente capacitado para los mantenimientos o arreglos de motor, hecho que se refleja cuando se identifican y cuantifican los costos de compra, de propiedad y de funcionamiento de vehículos eléctricos como ítems que integran el costo total de propiedad y así lograr diferenciar el costo entre vehículos de motor de combustión interna y vehículos eléctricos desde una perspectiva de ciclo de vida durante una periodo de 8 años, la anterior como metodología utilizada con el objetivo de evaluar la viabilidad de las limitaciones identificadas para la incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina, con el fin de ecualizar sus costos y evaluar la relación costo-beneficio.

Finalmente, los hallazgos encontrados en el estudio de incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina del BID (Gomez Gelvez, Mojica, Kaul, & Isla, 2016) son que los costos de operación son monetizados en base a estimativos nacionales (Plan decenal de descontaminación del aire) y americanos como el SCC, orientando los resultados hacia temas de salud pública; también que el costo de propiedad que arrojan los resultados en los países de América Latina donde se realiza el estudio, se refleja en el costo por tonelada de disminución de emisiones de CO2 que asume la sociedad.

Es así como el tema de calidad del aire se aborda a partir de los resultados del informe del monitoreo de contaminantes atmosféricos del aire y el ambiente realizado en Manizales durante el periodo de enero a diciembre de 2018 (Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) & Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental, 2018), en el cual se afirma que las Partículas Suspendidas Totales (PST) y partículas respirables con diámetros menores a 10 µm (PM10) cuyas fuentes se asocian al tráfico vehicular (emisiones y polvo en re suspensión), emisiones industriales y fenómenos naturales como las emisiones de ceniza del Volcán Nevado del Ruiz, presentan mayores niveles de concentración en zonas con alta influencia de tráfico vehicular, como es el caso del sector Fundadores con la estación Liceo con la mayor concentración promedio, donde la contaminación se asocia principalmente a la influencia de emisiones por fuentes vehiculares, y en menor medida las emisiones industriales en la zona de Milán. (Boletín Calidad del Aire en Manizales año 2018, IDEA Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales). En dicho informe además, se afirma que en ninguna de las estaciones de monitoreo de PM10 de la ciudad de Manizales se superaron los límites normativos para concentración diaria y anual colombiana establecida en la resolución 2254 de 2017, sin embargo, todas las estaciones de monitoreo superan el valor promedio anual de 20 µg/m3 para PM10 recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), hecho que refleja que en la ciudad se hace necesario implementar una estrategia de disminución de contaminación del aire, la cual puede ser la implementación mayoritaria de vehículos eléctricos en un porcentaje incremental acorde con la difusión en el mercado y la aprobación por parte de la sociedad.

2. Antecedentes

El desconocimiento de los costos de operación del vehículo eléctrico en la sociedad se debe, principalmente, a un mercado monopolizado por vehículos que funcionan con combustibles fósiles, lo cual contribuye directamente al agotamiento de las fuentes de energía, debido a una explotación descontrolada de los recursos naturales.

La participación del vehículo eléctrico en el mercado europeo en el año 2017 fue de 1.75% según estadísticas presentadas por la EAFO en el 2017, cifra que representa un valor alto en comparación con los datos colombianos, en los cuales, según la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible ANDEMOS, se registra una participación del 0.08% en el año 2017 y un notable aumento en los años siguientes, análisis realizado a partir de las cifras presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Cifras y estadísticas del total de vehículos híbridos y eléctricos registrados en el RUNT en Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS

MESES DEL AÑO	VEHICULOS HIBRIDOS Y ELECTRICOS								
	2017			2018			2019		
	BEV	PHEV	HEV	BEV	PHEV	HEV	BEV	PHEV	HEV
Enero	7	7	0	16	17	0	30	15	31
Febrero	15	5	0	18	13	0	52	38	80
Marzo	26	1	0	26	13	0	40	25	92
Abril	9	0	0	6	22	5	73	23	97
Mayo	12	5	0	25	29	1	78	66	94
Junio	8	7	1	35	21	1	47	34	56
Julio	5	4	0	27	15	0			
Agosto	10	1	0	18	19	10			
Septiembre	16	7	0	32	25	22			
Octubre	8	3	0	39	20	47			
Noviembre	16	5	2	68	26	89			
Diciembre	4	12	0	80	53	94			
TOTAL	**136**	**57**	**3**	**390**	**273**	**269**	**320**	**201**	**450**
	196			**932**			**971**		

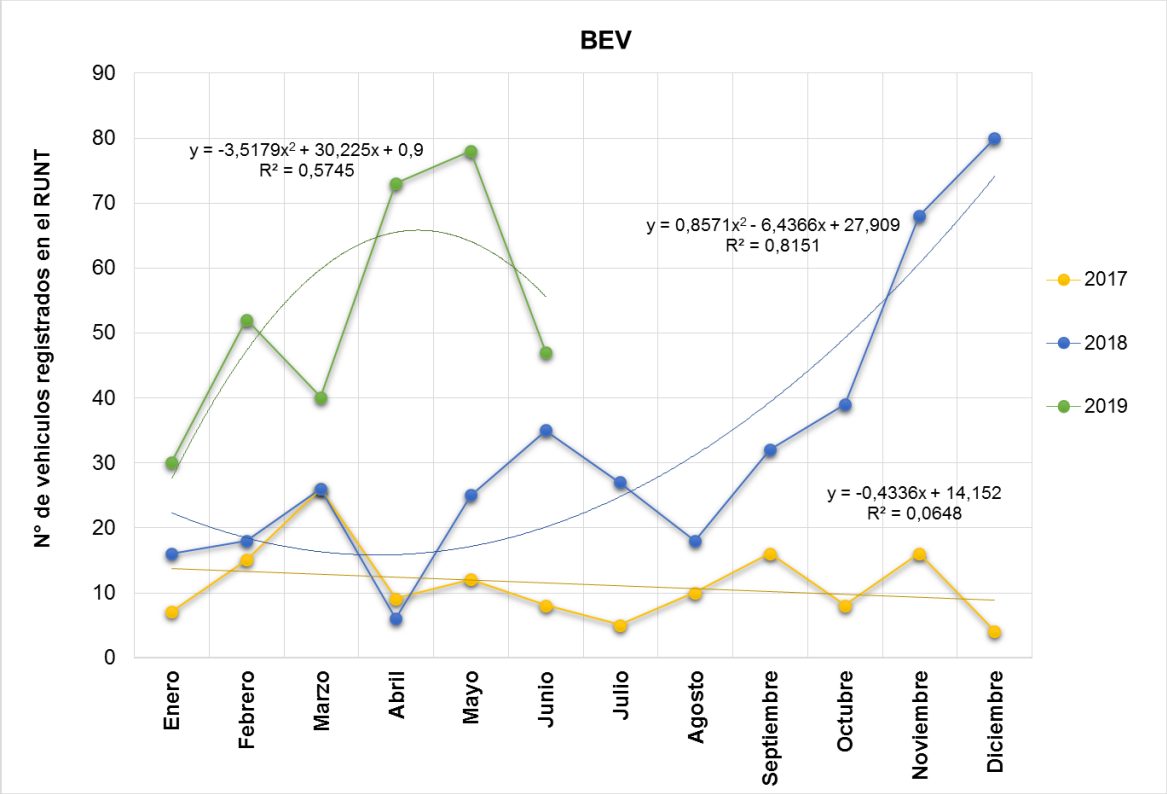
Elaboración propia

NOTA: BEV: Battery Electric Vehicle. Vehículo eléctrico de bacteria. Es enchufable y sin motor a combustión.

PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle. Vehículo híbrido eléctrico. Es enchufable, con baterías y con motor a combustión.

HEV: Hybrid Electric Vehicle. Vehiculo hibrido eléctrico. No es enchufable, pero tiene batería y motor a combustión.

Gráfica 1. Cifras y estadísticas del total vehículos BEV registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS



Elaboración propia

En la gráfica 1 se aprecia que los datos de los vehículos BEV registrados en los años 2017, 2018 y 2019, pasan de tener una línea de tendencia lineal en el 2017, a una línea de tendencia polinómica de segundo orden para los años 2018 y 2019, en la cual se presenta un solo dato máximo y uno mínimo que agrupan los demás datos variables considerados, con lo cual se evidencia el aumento de registros año tras año. También es

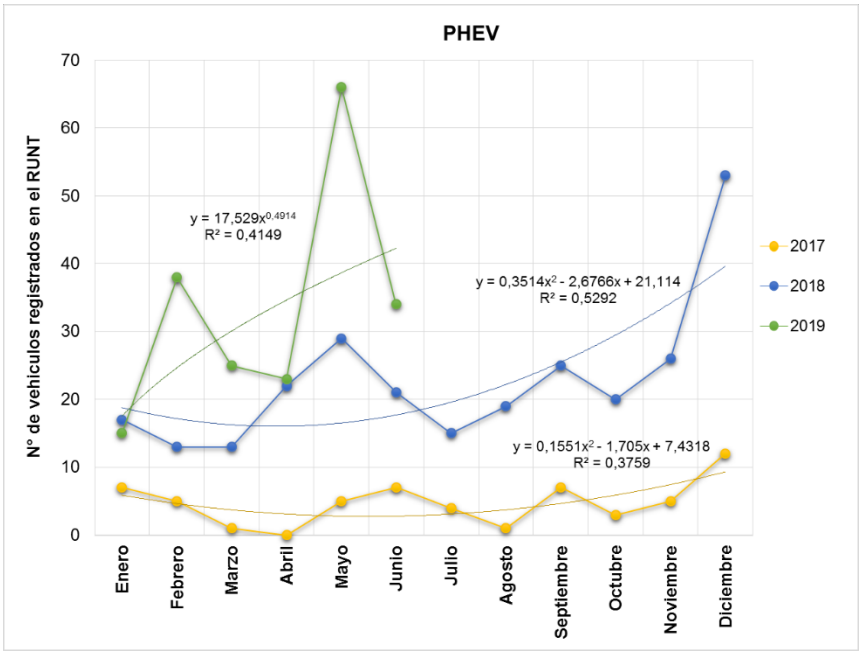
importante analizar que en el mes de Abril, la diferencia en el número de registros pasa de un 33% del 2017 al 2018, a un 92% del 2018 al 2019, porcentaje en aumento que se evidencia como el más acentuado cuando se analiza dicha gráfica.

Por otro lado, el mes de Diciembre, el cual solo se compara en los años 2017 y 2018, presenta el número máximo de registros, con un 95% más en el año 2018, hecho que refleja una inclusión considerable de los BEV en el mercado colombiano.

La gráfica 2 representa los datos considerados de los vehículos PHEV en el Registro Único Nacional de Transito RUNT, en los cuales se observa el cambio de comportamiento según el año, pues pasan de tener una línea de tendencia polinómica en los años 2017 y 2018, a una línea de tendencia potencial en el 2019, en la cual los datos aumentan a un ritmo constante, sin embargo el mes de Mayo presenta una fluctuación considerable, en la cual hay un aumento del 56% entre el año 2018 y 2019, con un registro de 66 vehículos como el dato máximo de registros en los años 2017, 2018 y 2019 de vehículos PHEV.

Es importante aclarar que el R2 indica el mejor ajuste de la línea de tendencia a los datos graficados, así entre más cercano este a 1 es mejor representado el comportamiento de los datos.

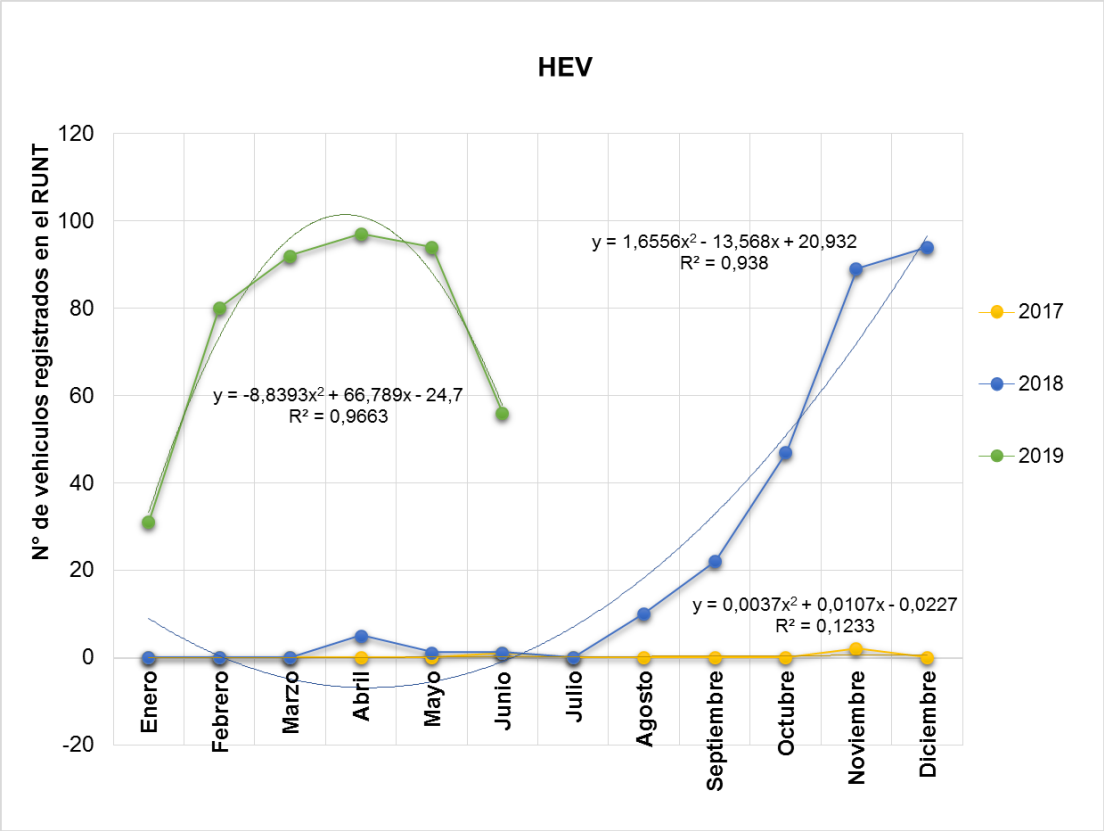
Gráfica 2. Cifras y estadísticas del total de vehículos PHEV registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS



Elaboración propia

Por último en la gráfica 3 se pueden evidenciar el número de vehículos HEV registrados en el RUNT en los años 2017, 2018 y 2019, datos que siguen una línea de tendencia polinómica de segundo orden, con ajuste de los datos del 0.9, valor muy representativo del R2, a excepción del año 2017, el cual presenta el menor número de vehículos registrados de los años en mención, con un total de 3 und durante todo el año, por lo cual la gráfica no describe un comportamiento similar a los años 2018 y 2019 debido a la ausencia de datos, pues se tiene un 1.5% de vehículos HEV, comparado con el 69% y el 29% de vehículos BEV y PHEV respectivamente. Además la ausencia de vehículos HEV registrados no es solamente durante el año 2017, sino hasta Julio del 2018, con un acumulado de 10 und, hecho que se ve reflejado en la gráfica 3, en la cual solo hasta el mes de Agosto se incrementa el número de registros de vehículos HEV en el país.

Gráfica 3. Cifras y estadísticas del total de vehículos HEV en registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS



Elaboración propia

Tabla 2. Cifras y estadísticas del total de vehículos a combustión registrados en el RUNT de Colombia. Años 2017, 2018 y 2019. ANDEMOS

MESES DEL AÑO	VEHICULOS COMBUSTION		
	2017	**2018**	**2019**
Enero	17.227	16.447	15.965
Febrero	17.956	18.350	18.486
Marzo	21.049	19.572	20.184
Abril	17.098	20.209	19.788
Mayo	19.920	20.589	22.298
Junio	19.841	18.324	19.489
Julio	18.625	19.358	
Agosto	20.925	21.444	
Septiembre	19.320	21.430	
Octubre	19.709	24.537	
Noviembre	21.134	26.290	
Diciembre	25.424	33.112	
TOTAL RESGISTRADO	**238.228**	**259.662**	**116.210**

Elaboración propia

Teniendo en cuenta las cifras y estadísticas de vehículos híbridos y eléctricos en Colombia presentadas en la tabla 1 y número total de vehículos a combustión registrados en el RUNT mostrados en la tabla 2, según fuente de la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible ANDEMOS, se concluye que los porcentajes de participación del vehículo eléctrico a partir de una evolución mes a mes en el mercado colombiano son el 0.08%, 0.36% y el 0.7% para los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente, evidenciando que para el año 2019, a pesar de que los datos disponibles están solo hasta el mes de Junio, se proyecta un aumento considerable en relación a años anteriores.

Es así como, los años en mención son los únicos en los cuales se cuenta con un registro en el RUNT, lo anterior evidencia la mínima participación del EV en el mercado colombiano, hecho que pone en cuestionamiento si en el país existe duda o desconocimiento respecto a cómo funcionan los motores eléctricos y sus baterías en el transporte o si se debe básicamente a la ausencia de una conciencia ambiental, panoramas confrontados frente al económico, pues es este el determinante en la toma de decisiones y en la implementación de nuevas tecnologías en el país.

Es así como la problemática asume aspectos políticos, abordados a partir de la falta de leyes que establezcan una metodología para el análisis de los costos de operación de los vehículos eléctricos; económicos en relación con el alto costo de adquisición de éstos y el estado de incertidumbre en su mantenimiento y de transporte debido a la falta de infraestructura y carácter público y accequible de las estaciones de almacenamiento de energía eléctrica o electrolineras, todo lo anterior en un contexto de movilidad eléctrica sostenible en la ciudad de Manizales.

2.1 El vehículo eléctrico en Colombia

El sector transporte es el mayor consumidor de energía en Colombia; en el año 2015, el consumo final del sector transporte fue 495.512 Terajulios (TJ) y su fuente principal fueron los combustibles fósiles (UPME, 2016). El ACPM y la gasolina, son los energéticos más importantes en el sector, con una participación de alrededor de 37% y 40% respectivamente; la electricidad cuenta con una participación de menos del 1%. El consumo de ACPM se da en su gran mayoría (88%) en vehículos de transporte público de pasajeros y en transporte de carga, mientras que el consumo de gasolina motor se da en vehículos privados de pasajeros (83%) (UPME, 2016).

La alta dependencia del sector a los combustibles fósiles ha generado que la energía eléctrica se note aislada en el mercado automotriz en relación con otros combustibles como el Gas Natural Vehicular - GNV y el Gas Licuado de Petróleo - GLP, por lo cual el vehículo eléctrico y su incorporación en el transporte nacional, es un tema poco abordado desde un enfoque de ingeniería de tránsito y transporte; por el contrario desde el ámbito de la ingeniería eléctrica, ambiental y de negocios, se ha pretendido cuantificar la evolución e impacto sobre otros sectores de la economía, al contemplar que no es sólo función de los concesionarios ofertar estos vehículos, sino también de las empresas generadoras de energía eléctrica en el país, proporcionar las instalaciones adecuadas para la carga rápida de carácter público y la carga estándar de carácter privado en las viviendas.

El mercado eléctrico en Colombia es un mercado relativamente nuevo en comparación con otros, como es el caso del financiero, sin embargo, es destacado en Latinoamérica junto al chileno; fue constituido en el año 1995 y denominado el MME (Ministerio de

Minas y Energía) de Colombia, en el cual se permite la libre competencia y la participación privada en el comercio de la energía eléctrica, bajo precios definidos y sujetos a los reglamentos y normas establecidas (Zapata, María, & Maya Ochoa, 2008). Al igual que este mercado, se han desarrollado a nivel mundial sistemas como el Noruego (Nordpool), la Bolsa de España, el Mercado de Electricidad de Australia, el England-Wales Pool y el Sistema PJM en Estados Unidos, países en los cuales es representativa y líder en cifras, la participación del vehículo eléctrico como estrategia gubernamental de movilidad sostenible.

Es así como se evidencia la evolución e impacto del mercado eléctrico sobre otros sectores como el transporte, en el cual, según en el PAI 2010-2015, el potencial del ahorro que se alcanzaría mediante la reconversión tecnológica de diésel a eléctrico de los sistemas de transporte público colectivo (buses articulados de Transmilenio y una fracción de buses tradicionales) sería cercana al 0.5% y en el caso del potencial de ahorro en el sector transporte considerando solamente mejoras en las prácticas de conducción de los buses y busetas a nivel nacional, se encontró la posibilidad de reducir el consumo de otros energéticos en un 1,06%.

Paralelo a la incorporación del mercado eléctrico en Colombia, surge la necesidad de una regulación que incluya un conjunto de incentivos y políticas, para definir los requerimientos técnicos mínimos de operación de los vehículos eléctricos y a su vez que motiven al usuario a su compra. Por lo tanto, la incursión de los EVs en el sector de transporte, se convierte en una estrategia para mejorar la eficiencia del parque automotor, reducir la dependencia del combustible fósil, promover el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente y generar empleo a través de las nuevas líneas (mantenimiento, reparación, líneas de ensamblaje) asociadas a los EVs y que no existen en el país (Hinestroza Olascuaga, 2014)); dicha incursión también se plantea desde la perspectiva de la movilidad, en la cual se plantean soluciones al problema de la congestión del tránsito urbano, entre ellas, promover el uso del transporte público colectivo, el cual debe ser modificado, con el fin de que incentive el interés del usuario, al presentar características innovadoras y atractivas respecto a las tecnologías que usan, como es el caso de operar con energía eléctrica.

Como complemento a lo anterior y desde una alternativa sostenible, argumenta Edder Velandia, que la idea que se propone para mejorar la calidad del aire en Bogotá es la implementación de sistemas de transporte público con tracción eléctrica que tenga una identidad propia para la ciudad y que transmita una invitación convincente a los usuarios

de sistemas de transporte particular para que sean usuarios de un sistema de trasporte eficiente, sostenible, seguro, económico y duradero, a través del cual se construya una nueva ciudadanía y un cambio en el paradigma actual de uso de sistemas de combustión como única posible alternativa en Bogotá (Velandia Duran, 2007).

El transporte urbano en su conjunto es una actividad de importante magnitud en el devenir de un país. La operación de los vehículos que circulan en las vías de ciudades de más de 100.000 habitantes consumen alrededor de 3.5% del PIB de América Latina y el Caribe, sin considerar los viajes opcionales, como los de fines de semana. El valor social del tiempo consumido en los viajes equivale a aproximadamente otro 3% del PIB. De estas cifras se desprende que los recursos dedicados al transporte urbano son muy significativos (Thomson & Bull, 2001).

Dentro de este enfoque investigativo, se consideran leyes nacionales como la Resolución 4350 de 1998 (Mintransporte, 1998), que establece “la metodología para la elaboración de los estudios de costos que sirven de base para la fijación de las tarifas de transporte público municipal”, la cual fue utilizada como un indicativo de la estructura de costos, es decir la clasificación de éstos en costos variables y costos fijos, pues los costos de capital no fueron considerados, lo anterior con base en la investigación previa de los precios de los insumos y sus respectivas frecuencias de cambio o rendimientos, con el fin de determinar de los cotos de operación del vehículo eléctrico en la ciudad de Manizales.

2.2 El vehículo eléctrico en Manizales

Actualmente, en la ciudad de Manizales surge el interrogante acerca del tema de movilidad eléctrica sostenible como expectativa ante la llegada del primer bus eléctrico de la región en el mes de febrero del año 2018, como una iniciativa de desarrollo vanguardista con el cual la empresa CHEC – GRUPO EPM pretende ubicar a la ciudad como un referente a nivel nacional. Debido a esto se requiere implementar una propuesta técnica que plantee los costos de operación de este vehículo en la ciudad. Además, se pretende superar la barrera de desinformación existente del tema, con el fin de impulsar decisiones innovadoras que involucren a la ciudad en las últimas tendencias del transporte a nivel mundial.

Es así como gracias a la iniciativa del fabricante chino BYD y la empresa de servicios públicos CHEC del Grupo EPM, desde el mes de febrero del 2018 se puso en operación el primer bus de motor eléctrico del eje cafetero, un bus BYD K7 de funcionamiento 100% eléctrico, en el cual se movilizan los empleados de la compañía en una de sus rutas de transporte interno. Con la puesta en funcionamiento del bus se espera economizar unos 1.400 galones de diésel al año, además de reducir el impacto auditivo y dejar emitir unas 28 toneladas de CO2 en ese lapso de tiempo (Sitio Web Compartir, 2018).

Las especiales condiciones topográficas de la ciudad fueron tenidas en cuenta por la empresa BYD, debido a la presencia de pendientes pronunciadas, con lo cual se pretende analizar la relación entre pendiente y velocidad operativa para este tipo de vehículo.

2.3 Movilidad Sostenible.

La movilidad urbana es un tema que ha tenido notable importancia en la sociedad debido a la relación existente entre transporte y bienestar, pues los habitantes de la ciudad perciben los inconvenientes derivados del transporte como determinantes en su calidad de vida: la congestión, la contaminación y los accidentes atribuibles al hecho de moverse son parte de los principales problemas cotidianos y es usual que se conviertan en temas prioritarios de la agenda política local y nacional.

En el mundo actual, el tema de movilidad viene acompañado de un adjetivo esencial: sostenible. Los estudios y los planes sobre la movilidad no se limitan únicamente al desarrollo de sistemas que minimicen los tiempos y costos de desplazamiento de personas y mercancías, sino también analizan su contribución al desarrollo social, al uso racional de bienes escasos (como la energía y el espacio urbano) y a los impactos sobre el medio ambiente (Tyler, Acevedo, Bocarejo, & Velásquez, 2013).

Estudios muestran que las ciudades necesitan nuevos enfoques para el desarrollo urbano que privilegien el bienestar colectivo. Los sistemas de transporte sostenibles no solo necesitan proporcionar espacio y recursos para los recién llegados, sino que también deben estar estructurados para abordar las desigualdades, al tiempo que se protege el medio ambiente y se promueve el crecimiento económico, lo anterior como un

argumento para sistemas de transporte más sostenibles, como componentes necesarios para las ciudades modernas (Gaitán, 2014).
Es así como el uso e implementación de combustibles limpios, como es el caso de la energía eléctrica, se convierten en una opción que aporta significativamente a una movilidad sostenible, en la cual la relación costo - beneficio sea positiva.

En base a lo anterior, conocer los costos de operación de un vehículo eléctrico como referente, se convertirá en una herramienta de decisión con la cual la población en general y las empresas fabricantes de vehículos, al igual que las que ofrecen el transporte público de la ciudad y aquellas que cuenten con transporte privado de trabajadores, puedan considerar la implementación y consecuente compra o la exclusión de los vehículos eléctricos en la ciudad.
Por ende, el resultado esperado será útil directamente, para la empresa generadora de energía Chec y los concesionarios que incluyan en su oferta vehículos eléctricos como promotores de la iniciativa, indirectamente para la secretaria de medio ambiente y para la de tránsito y transporte del municipio como entes reguladores de los proyectos que mejoren el sistema de gestión ambiental y de movilidad respectivamente y por último los oponentes a la iniciativa, entre los cuales cabe mencionar a los distribuidores de productos derivados del petróleo y gas, debido a que la creciente disminución de la demanda de vehículos a combustión, reflejara menores ingresos afectando su economía.

2.4 Accesibilidad

El término accesibilidad definido en el ámbito de planificación urbana, es un concepto que posee registro de su aplicación desde las primeras décadas del siglo XX en temas relacionados con la planificación de sistemas de transportes en Norteamérica (Batty, 2009). Por otro lado, su definición clásica sugiere la capacidad de interacción que poseen los habitantes de una región teniendo en cuenta las impedancias de las personas, entendidas en términos de distancia o tiempo hasta las oportunidades y el deseo de las personas de vencer dichas variables (Hansen, W. G. (1959)).

Los primeros estudios realizados de accesibilidad, determinaron tres niveles en los cuales es categorizada, desde el primer nivel hasta el tercero se describen a continuación:

- Accesibilidad relativa: Se centra en medir la capacidad que tiene un individuo en desplazarse desde un punto determinado a otro, sin tener en cuenta características de la población o de las infraestructuras. Describe la relación o grado de conexión entre un punto de origen y uno de destino (Morris et al., 1979).

- Accesibilidad media integral: Consiste en una medida del total de oportunidades de viaje desde un punto determinado. Se define para un punto dado como el grado de interconexión con todos los otros puntos en la misma superficie (Ingram, D. R. (1971)).

- Accesibilidad media global: Es definida como el promedio de todas las accesibilidades integrales de todos los nodos definidos en el área de estudio y representa el grado de conexión de toda la red (Escobar García & Garcia, 2012), esto significa que mide el grado de accesibilidad desde un nodo i a todos los otros nodos de una determinada red.

Para el presente estudio de transporte público, y a partir de la definición del término y los niveles de accesibilidad, se concluye que se analizará el nivel de accesibilidad media global y accesibilidad media integral, a partir de las variables velocidad de operación y tiempos medios de viaje sobre la red.

2.4.1 La red vial

Debido a los avances tecnológicos y al actual manejo de los inventarios viales en las ciudades, se intuye que la mayoría cuenta con una red vial con características mínimas, entre ellas la conectividad entre nodos, con la cual se garantiza su continuidad y la posibilidad de realizar cálculos en ella; es así como Manizales no es la excepción y en el presente proyecto se hace uso de la red de transporte público actualizada a la fecha con las diferentes obras de infraestructura vial construidas en la ciudad (glorieta de la Carola y puente elevado en la glorieta de la Autónoma entre otras). Sin embargo, a la red se le realiza una extensión desde el retorno del puente la estampilla en la Autopista del Café, hasta el tambo la Manuela, continuando por la vía de la concesión; lo anterior debido a que dicho punto es una de las ubicaciones de las electrolineras públicas proyectadas a construirse por parte de la CHEC – GRUPO EPM.

La red vial de transporte público utilizada también fue modificada por el POT 2017-2031, debido a que en éste algunas vías cambian de tipología en relación con el Plan de Movilidad del 2011, con el cual estaba construida la red original. Es así como las vías departamentales pasan a ser secundarias y las vías veredales pasan a ser locales.

Es de aclarar que la tipología local y la nacional no se encuentran contempladas en dicho POT, sin embargo se continúa con su clasificación como se tenía estipulada en la red original; lo anterior con el fin de no eliminar datos recolectados con el GPS, pues los buses analizados transitaron por vías que no pertenecían a ninguno de los tres grupos considerados por el POT (Primaria, secundaria y colectora).

2.4.2 Velocidad Operativa sobre la red

La velocidad es uno de los factores determinantes al momento de analizar la accesibilidad de una red de transporte. Para obtener dicha variable existen procesos de medición fijos y móviles, tales como conteos manuales, sensores piezoeléctricos, detección de imagen de video, monitoreo de redes móviles y recolección de datos de

GPS (Leduc, 2008; Wang, P., Hunter, T., Bayen, A. M., Schechtner, K., & González, M. C. (2012)).

Para el presente proyecto se hace uso de un multifunction GPS data logger, model V-900 para la recolección de los datos, en especial de la velocidad, pues a partir de ésta se podrán calcular las velocidades sobre la red y se simulará la red de transporte público con flota eléctrica, conservando las demás características ya asignadas.

El procesamiento de la red con las nuevas velocidades asignadas se realiza a partir del cálculo de los tiempos promedio de viaje entre cada par de nodos; dichos tiempos son calculados dividiendo la distancia o longitud de los arcos entre la velocidad obtenida con el GPS.

Finalmente se hace uso del modelo geoestadístico Kriging Ordinario, con el objetivo de interpolar los valores de tiempo obtenidos, los cuales se encuentran distribuidos en el espacio y así determinar la estructura de autocorrelación de los datos, usando métodos que minimizan el error cuadrático medio de la predicción.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar los costos de operación de vehículos eléctricos en el transporte de la ciudad de Manizales

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis comparativo entre los costos de operación del bus de combustión interna y el bus eléctrico de la empresa Chec – Grupo EPM dentro de la ruta establecida.
- Analizar las ventajas y desventajas de la incorporación del bus eléctrico en el sistema de transporte público interno de la empresa Chec – Grupo EPM, en el marco del proyecto de movilidad sostenible de la ciudad de Manizales.
- Determinar el área de cobertura y servicio de las electrolineras públicas proyectadas a instalarse, a partir de un estudio de accesibilidad en la ciudad de Manizales.

4. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto se realizaron las siguientes actividades, las cuales se enuncian en el orden secuencial de ejecución:

1. Recolección de datos de las rutas:

A partir de la instalación de un GPS en cada bus (eléctrico y de combustión), por un periodo de tiempo similar pero en fechas diferentes debido a la disponibilidad de los buses y a permisos internos por parte de la empresa prestadora del servicio de transporte a la CHEC, es decir PROMOTUR, se recolectan los datos obtenidos por funcionamiento diario del GPS, actividad realizada los viernes en horas de la tarde. Cada semana se repetía el proceso de descarga de los archivos.csv guardados en la memoria extraíble del GPS, con el fin de diligenciar, controlar y prevenir la perdida de datos por falta de capacidad en la memoria; paralelo se obtenía la planilla de control registrada por el conductor de cada bus como complemento a la información suministrada por el dispositivo electrónico.

2. Búsqueda y recopilación de información secundaria:

Comparación de las especificaciones técnicas y las características de funcionamiento entre el bus eléctrico y el bus de combustión interna utilizados en la empresa Chec, según lo descrito en los manuales publicados por las empresas automotrices y almacenes de suministro y mantenimiento en el área automotriz.

3. Monitoreo del funcionamiento:

Diligenciamiento en la planilla de control diario por ruta, por parte del conductor de cada bus, del suministro de combustible (energía o diesel), reparación y/o mantenimiento de piezas automotrices o cualquier otra actividad mecánica realizada, con el fin de controlar y cuantificar el costo de operación al igual que la determinación de la autonomía y el rendimiento, del bus eléctrico y a combustión respectivamente.

4. Determinación de los costos de operación:

Estos costos son establecidos a partir de la variable longitud de recorrido y combustible suministrado principalmente, realizando un comparativo entre el bus eléctrico y el bus de combustión incluyendo los costos de mantenimiento; sin embargo también se consideran variables como el número de pasajeros transportados y la pendiente superada en los recorridos de ambas rutas.

5. Cálculo de la relación entre los costos de operación:

Debido a que para el proyecto en cuestión solo se tiene como muestra un vehículo eléctrico y un vehículo a combustión, el porcentaje de economía de uno respecto al otro se realiza con una relación básica (porcentual), en la que se comparan los gastos en el funcionamiento por un periodo de tiempo similar y en condiciones semejantes.

6. Procesamiento de los datos obtenidos del GPS:

Debido a la necesidad de unir los datos asociados a localizaciones terrestres en una sola base de datos, se procedió a utilizar el software Velocidades GPS desarrollado por el grupo de investigación en movilidad sostenible de la universidad nacional de Colombia – sede Manizales, con el cual se computan las velocidades promedio en un Arco y se reúnen todos los datos de registros GPS, esto con el fin de ingresarlos a Sistemas de Información Geográfica. Los datos cuantitativos son usados para elaborar Análisis de Accesibilidad en la Red Vial.

7. Cálculo de la velocidad promedio (V):

En la red vial de la ciudad de Manizales se clasifican las vías según la pendiente media, agrupada en los siguientes intervalos:

<=3%

>3% - <6%

>=6% - <8%

>=8%

También se clasifican las vías según su tipología, de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Manizales POT 2017-2031 en: Primaria, secundaria y colectora.

Con la anterior selección, se calcula la velocidad promedio de las rutas determinadas, es decir de los arcos viales por los cuales transitó tanto el bus eléctrico como el de combustión.

8. Procesamiento de la red vial de Manizales:

Haciendo uso del software ArcMap y conservando la misma clasificación de las vías (por pendiente y tipología), se asigna la velocidad promedio obtenida en cada ruta, a los arcos de la red vial pertenecientes a transporte público de la ciudad, es decir a aquellos arcos por los cuales los buses no transitaron, lo anterior con el fin de convertir la red de transporte público a combustión en transporte eléctrico.

Los datos de velocidad obtenidos del bus a combustión son promediados con los datos existentes en la red, para así considerar un panorama pasado y uno actual.

9. Determinación de los tiempos de viaje:

A partir de la velocidad obtenida y la longitud de los arcos viales de la red, se determina el tiempo medio de viaje para el cálculo de accesibilidad media global y accesibilidad media integral con la fórmula:

Fórmula 1: Cálculo del tiempo de viaje promedio

$$Tv_prom = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{Vel_prom}}$$

Elaboración propia

Dónde: Tv_prom: Tiempo de viaje promedio. Unidades minutos (min)

d: Longitud del arco vial comprendido entre un par de nodos

Vel_prom: Velocidad promedio obtenida con el GPS

Sin embargo, antes de iniciar con el cálculo del tiempo medio de viaje, hay que percatarse de que la red se encuentre conectada en su totalidad, pues en el cálculo de la accesibilidad media integral, los nodos que conforman la red viajan hacia tres nodos

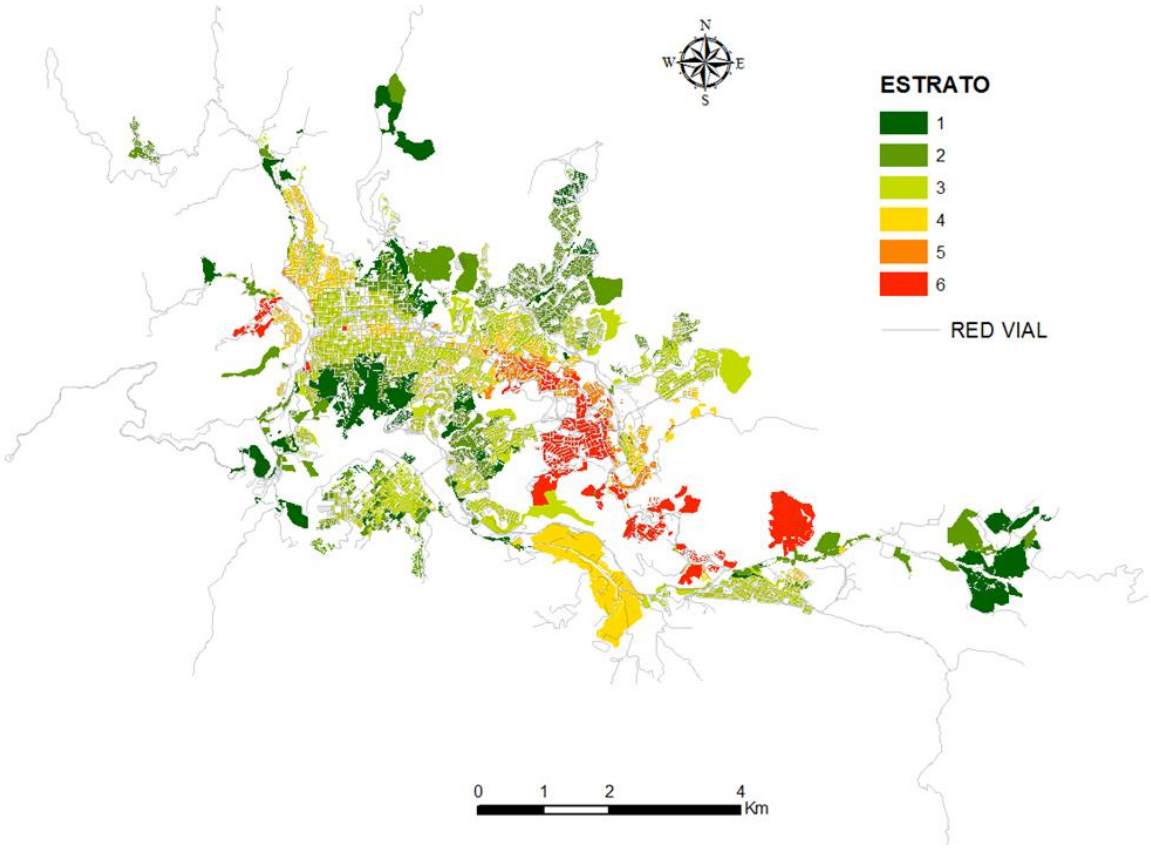
puntuales, que son las tres electrolineras públicas proyectadas a instalarse, es decir la del sector los Cámbulos, Centro Comercial Mall plaza y el Tambo La Manuela.
Por otra parte el cálculo de la accesibilidad media global representa el tiempo medio de viaje desde cada nodo de la red, hacia todos los demás nodos que conforman la red vial de la ciudad.

10. Análisis geo estadístico y evaluación de las curvas isócronas y de gradientes de accesibilidad:

Con las curvas isócronas obtenidas para el escenario de la red, se evalúan las condiciones de accesibilidad geográfica y se analizan las causas de estas. Además con la información de las curvas isócronas sobre la red vial a combustión y el cálculo de la red con las nuevas velocidades asignadas, se calcula la diferencia entre estos dos escenarios, donde se obtiene el porcentaje de disminución o aumento en los tiempos de viaje que ofrece el transporte eléctrico en comparación con el transporte a combustión.

11. Análisis de cobertura espacial de las curvas isócronas y las curvas gradiente de tiempos de viaje obtenidas en relación con la población según estrato socio-económico:

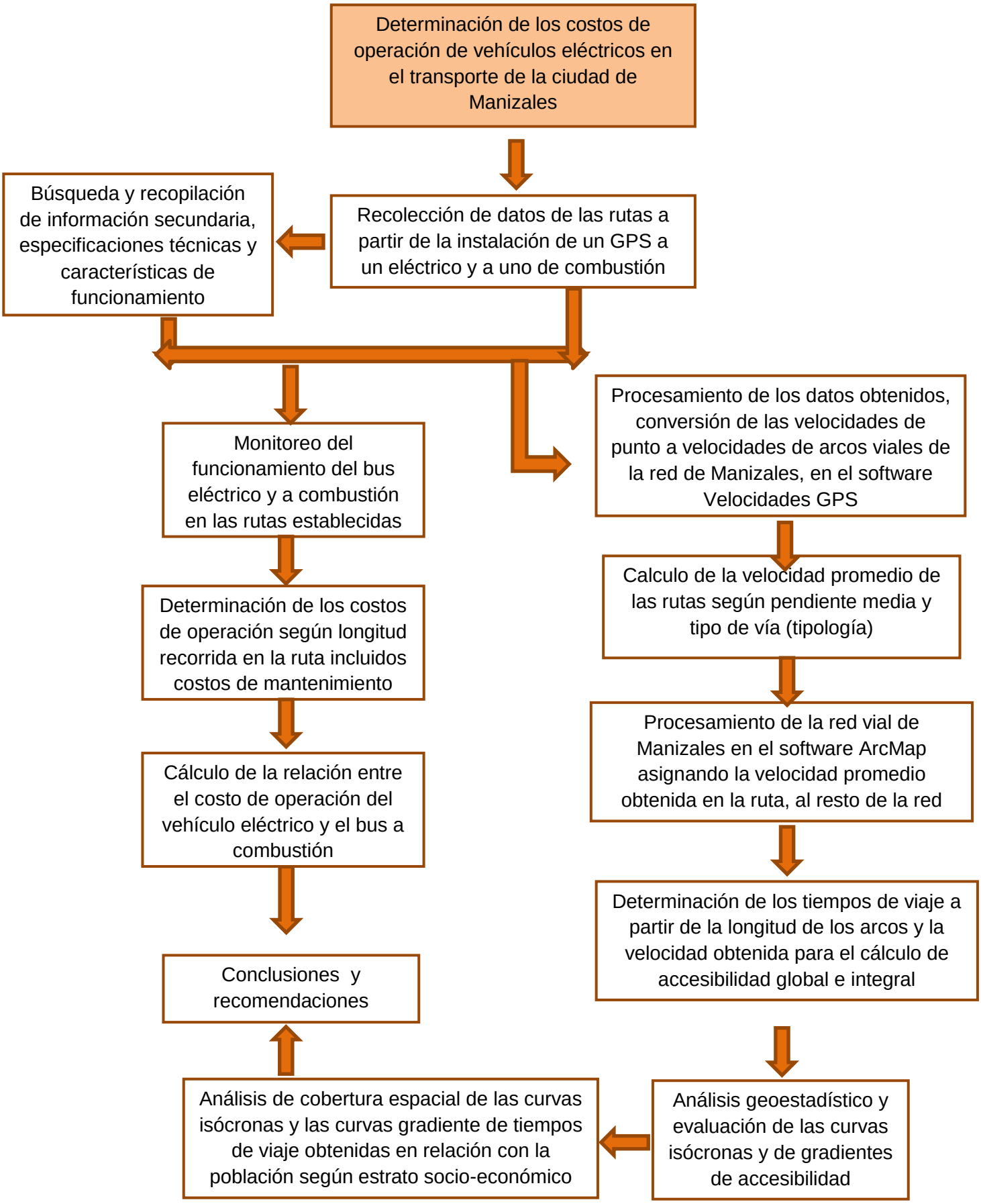
Gráfica 4. Distribución poblacional según estratos socioeconómicos



Elaboración propia

Haciendo uso del plano de Manizales en el cual se identifica la distribución de la población por estrato socioeconómico, como se evidencia en la gráfica 4, se cruza la información obtenida con las curvas isócronas y se determinan las condiciones relacionadas con esta variable que cubre cada una de estas curvas.

Además, con el cálculo de los porcentajes de disminución o aumento en los tiempos medios de viaje que ofrece el transporte eléctrico, obtenidos con las curvas gradientes, se determina qué zonas de estratos se están beneficiando o no, en lo relacionado a la accesibilidad de las electrolineras con el fin de determinar la eficacia de su ubicación.


Determinación de los costos de operación de vehículos eléctricos en el transporte de la ciudad de Manizales
Recolección de datos de las rutas a partir de la instalación de un GPS a un eléctrico y a uno de combustión
Búsqueda y recopilación de información secundaria, especificaciones técnicas y características de funcionamiento
Monitoreo del funcionamiento del bus eléctrico y a combustión en las rutas establecidas
Determinación de los costos de operación según longitud recorrida en la ruta incluidos costos de mantenimiento
Cálculo de la relación entre el costo de operación del vehículo eléctrico y el bus a combustión
Conclusiones y recomendaciones
Procesamiento de los datos obtenidos, conversión de las velocidades de punto a velocidades de arcos viales de la red de Manizales, en el software Velocidades GPS
Calculo de la velocidad promedio de las rutas según pendiente media y tipo de vía (tipología)
Procesamiento de la red vial de Manizales en el software ArcMap asignando la velocidad promedio obtenida en la ruta, al resto de la red
Determinación de los tiempos de viaje a partir de la longitud de los arcos y la velocidad obtenida para el cálculo de accesibilidad global e integral
Análisis geoestadístico y evaluación de las curvas isócronas y de gradientes de accesibilidad
Análisis de cobertura espacial de las curvas isócronas y las curvas gradiente de tiempos de viaje obtenidas en relación con la población según estrato socio-económico

5. Análisis y validación de bases de datos

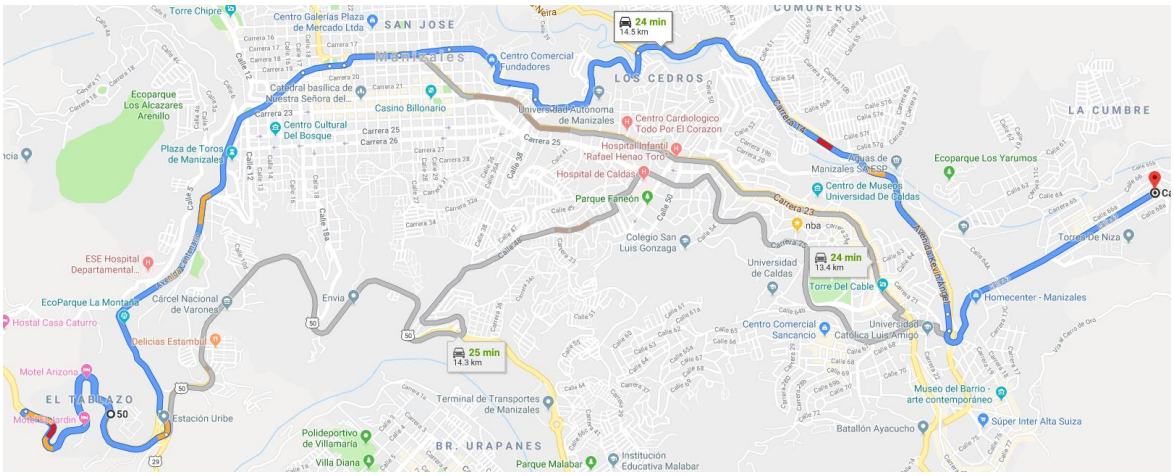
A partir de la recolección de los datos obtenidos con el GPS, es importante tener presente, que de los ítems arrojados en cada archivo de datos durante los recorridos, solo se consideran los datos de la velocidad para los cálculos de accesibilidad, debido a que son puntos y no líneas (arcos viales), sin embargo la totalidad de dichos ítems se describe a continuación:

- Date: Fecha expresada en formato número
- Time: Hora expresada en formato número
- Latitude N/S: Latitud; distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador), y un punto determinado de la Tierra.
- Longitude E/W: Latitud; expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y el meridiano que se toma como 0° (es decir, el meridiano de base), medida a lo largo del paralelo en el que se encuentra dicho punto.
- Height: Altura
- Speed: Velocidad de un punto con coordenadas definidas (longitude, latitude)
- Heading: Nombre

→ Bus eléctrico

Los datos recolectados corresponden al recorrido de la ruta CHEC – Sultana (como se evidencia en la gráfica 5), realizando cuatro viajes diariamente (caso ideal, pueden ser menos), en las horas establecidas por la empresa para el inicio de actividades en la mañana, la hora del almuerzo y la salida al finalizar la jornada laboral.

Gráfica 5. Ruta del Bus eléctrico. CHEC - Sultana



Elaboración propia

El periodo de toma de datos se realizó entre el 28 de Mayo y el 26 de Julio del 2018, con algunos días de anormalidad en la ruta debido a diferentes circunstancias ajenas al proyecto, días que son detectados y registrados en la planilla de control diario. A continuación se presentan las tablas 3 y 4 en donde se consolida la información dichas planillas.

Tabla 3. Datos recolectados de la ruta del bus eléctrico. CHEC – Sultana

BUS ELECTRICO					
SEMANA	**PERIODO**	**# RECORRIDOS**	**DISTANCIA (KM)**	**TOTAL PASAJEROS**	**PROMEDIO PASAJEROS POR RECORRIDO**
I	28/05-01/06	20	250,6	244	12
II	05/06-08/06	16	219,9	195	12
III	12/06-15/06	12	160,5	129	11
IV	18/06-21/06	10	132,6	114	11
V	25/06-28/06	6	79,1	64	11
VI	09/07-13/07	15	208,9	179	12
VII	16/07-19/07	16	197,1	198	12
VIII	23/07-26/07	15	197,1	238	16
TOTAL		**110**	**1445,8**	**1361**	**12**

Elaboración propia.

La distancia considerada en la tabla 3 hace referencia a la suma de la longitud de cada recorrido, según su origen y destino, teniendo en cuenta que diariamente se proyecta un total de 4 recorridos, los cuales son discriminados así:

- Recorrido 1:

Origen: Barrio La Sultana
Destino: CHEC Subestación Estación Uribe
Longitud de recorrido: 11 km

- Recorrido 2:

Origen: CHEC Subestación Estación Uribe
Destino: Barrio La Sultana
Longitud de recorrido: 14.6 km

- Recorrido 3:

Origen: Barrio La Sultana
Destino: CHEC Subestación Estación Uribe
Longitud de recorrido: 11 km

- Recorrido 4:

Origen: CHEC Subestación Estación Uribe
Destino: CHEC Subestación Alta suiza
Longitud de recorrido: 16.9 km

También es importante tener presente que hay semanas en las cuales no se presentan la totalidad de recorridos proyectados, pues en ocasiones son más o menos, por lo cual en la tabla 4 se presenta dicha información discriminada por días, además se registran los días en los cuales el bus eléctrico no cumplió la ruta, identificándose como un día SIN DATOS.

Tabla 4. Síntesis de los recorridos realizados en la ruta del bus eléctrico. CHEC – Sultana

BUS ELECTRICO						
SEMANA	**MES**	**NUMERO DE RECORRIDOS**				
		LUNES	**MARTES**	**MIERCOLES**	**JUEVES**	**VIERNES**
I	may-18	4	4	4	4	4
II	jun-18	SIN DATOS	4	4	4	4
III		SIN DATOS	4	4	SIN DATOS	4
IV		4	3	2	1	SIN DATOS
V		1	3	2	SIN DATOS	SIN DATOS
VI	jul-18	3	1	4	3	4
VII		4	4	4	4	SIN DATOS
VIII		4	4	4	3	SIN DATOS

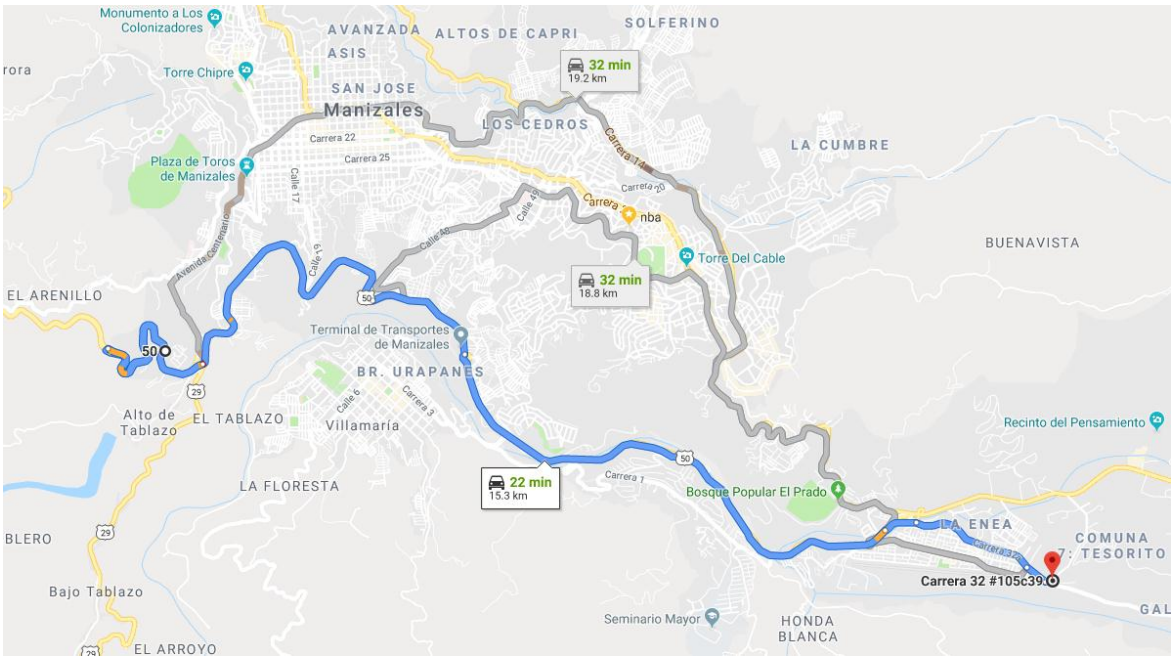
Elaboración propia.

→ Bus combustión

El bus de combustión utilizado para el estudio pertenece a la empresa PROMOTUR SAS, la cual es contratada por la empresa CHEC para cubrir todas las rutas de transporte de trabajadores asignadas en la ciudad, con el fin de que los empleados disfruten su tiempo de almuerzo. Dichos buses cumplen el mismo horario dispuesto por la empresa CHEC, sin embargo no permanecen en las instalaciones de la empresa mientras los empleados están cumpliendo la jornada laboral; además dichos buses los fines de semana realizan paseos y/o salidas fuera de la ciudad, pues son material disponible para la empresa PROMOTUR SAS, razón por la cual el desgaste de varias partes mecánicas es ajeno a la ruta realizada dentro de la CHEC.

Los datos recolectados corresponden al recorrido de la ruta CHEC – Enea, cubriendo la ruta como se evidencia en la gráfica 6.

Gráfica 6. Ruta del Bus a Combustión. CHEC - Enea



Elaboración propia

El período de toma de datos se realizó entre el 06 de Marzo y el 24 de Mayo de 2019, sin embargo hubo días en los que no se cubrió la ruta, incluso una semana en la cual el bus se encontraba fuera de la ciudad en otra labor; por esta razón la toma de datos se extendió más en tiempo y por consiguiente la cantidad de semanas es mayor en comparación con el bus eléctrico. Lo anterior se evidencia en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Datos recolectados de la ruta del bus a combustión. CHEC – Enea

BUS COMBUSTION					
SEMANA	**PERIODO**	**# RECORRIDOS**	**DISTANCIA (KM)**	**TOTAL PASAJEROS**	**PROMEDIO PASAJEROS POR RECORRIDO**
I	06/03-08/03	12	224,8	229	19
II	11/03-15/03	19	268,2	420	22
III	18/03-22/03	18	250,4	364	20
IV	25/03-29/03	12	171,1	241	20
V	01/04-05/04	16	227,3	326	20
VI	08/04-12/04	12	168,6	270	23
VII	29/04-03/05	13	183,9	276	21
VIII	06/05-10/05	13	183,9	252	19
IX	13/05-17/05	15	212,0	374	25
X	20/05-24/05	19	268,2	445	23
TOTAL		**149**	**2158,4**	**3197**	**21**

Elaboración propia

La distancia considerada en la tabla 5 hace referencia a la suma de la longitud de cada recorrido, según su origen y destino, teniendo en cuenta que diariamente se proyecta un total de 4 recorridos, los cuales son discriminados así:

- Recorrido 1:

Origen: Barrio La Enea

Destino: CHEC Subestación Estación Uribe

Longitud de recorrido: 12.8 Km

- Recorrido 2:

Origen: CHEC Subestación Estación Uribe

Destino: Barrio La Enea

Longitud de recorrido: 15.3 km

- Recorrido 3:

Origen: Barrio La Enea

Destino: CHEC Subestación Estación Uribe

Longitud de recorrido: 12.8 Km

- Recorrido 4:

Origen: CHEC Subestación Estación Uribe

Destino: Barrio La Enea

Longitud de recorrido: 15.3 km

Al igual que en el bus eléctrico, la información consignada de número de recorridos no discrimina los días en los cuales la cantidad de recorridos fue diferente, por lo que en la tabla 6 se relaciona detalladamente, identificando además, los días en los cuales no se registraron datos.

Tabla 6. Síntesis de los recorridos realizados en la ruta del bus a combustión. CHEC – Enea.

BUS COMBUSTION						
SEMANA	**MES**	**NUMERO DE RECORRIDOS**				
		LUNES	**MARTES**	**MIERCOLES**	**JUEVES**	**VIERNES**
I	mar-19	SIN DATOS	SIN DATOS	4	4	4
II		4	4	4	4	3
III		3	3	4	4	4
IV		SIN DATOS	4	3	3	2
V	abr-19	4	2	3	3	4
VI		4	1	3	4	SIN DATOS
VII		3	4	SIN DATOS	3	3
VIII	may-19	4	3	2	4	SIN DATOS
IX		3	3	3	4	2
X		4	4	4	3	4

Elaboración propia

5.1 Especificaciones técnicas

Con el fin de realizar un análisis de costos detallado, en el cual se incluyan los parámetros mecánicos más relevantes de los automotores a analizarse, es necesario conocer y hacer un comparativo de las fichas técnicas de éstos, las cuales se presentan en las tablas 7, 8, 9, 10, 11 y 12:

→ Bus eléctrico: EBUS BYD

Tabla 7. Especificaciones generales. Manual técnico del bus eléctrico. Ebus BYD K7

ESPECIFICACIONES DEL VEHICULO Ebus BYD			
DIMENSIONES	LONGITUD	mm	9893
	ANCHO	mm	2400
	ALTURA	mm	3286
DISTANCIA ENTRE EJES	LONGITUD	mm	5703
RODADO	DELANTERO	mm	2110
	TRASERO	mm	1904
KILOMETRAJE POR CADA CARGA EN CONDICIONES URBANAS		Km	>= 220
PESO MAXIMO AUTORIZADO		Kg	12390/10418
ANGULO DE ACERCAMIENTO		° Grados	12
ANGULO DE SALIDA		° Grados	8
RADIO MINIMO DE GIRO		° Grados	<=11
DESPEJE DEL SUELO DESDE EL ESTRIBO DE PASAJEROS		mm	<=256
PENDIENTE MAXIMA		%	<=17
VELOCIDAD MAXIMA		Km/h	70
TIEMPO DE ACELERACION DE 0 A 50 Km/h		s	<=23

Elaboración propia

En la tabla 7 se especifica que el bus eléctrico tiene un autonomía de 220 Km o más en condiciones urbanas, es decir que el dato aplica para el recorrido de ruta que realizó el bus, lo anterior para una carga del 100%; sin embargo es importante aclarar que el bus posee un sistema de freno regenerativo o frenado auxiliar, el cual almacena en una batería la energía eléctrica generada en la frenada, con el fin de utilizarla como carga para su desplazamiento, es decir que retroalimenta la energía de la fuerza de frenado. La tabla 7 también informa que la velocidad máxima a la cual el bus eléctrico debe transitar es de 70 km/h, valor establecido por la empresa BYD para un correcto funcionamiento del vehículo.

Las características descritas anteriormente, es decir autonomía y velocidad, son consideradas como especificaciones determinantes en la decisión de compra de un vehículo eléctrico por parte del usuario, pues representan cierto nivel de incertidumbre en su funcionamiento.

Tabla 8. Especificaciones del chasis. Manual técnico del bus eléctrico. Ebus BYD K7

ESPECIFICACIONES DEL CHASIS DEL VEHICULO Ebus BYD		
UNIDAD MOTRIZ	MODELO	BYD-TYC90A
	TIPO	MOTOR SINCRONICO DE IMANES PERMANENTES
	FABRICANTE	BYD AUTO INDUSTRY COMPANY LIMITED
	POTENCIA MAXIMA (Kw)	75 (2X)
	PAR MAXIMO (N-m)	400 (2X)
	UBICACIÓN	CUBO DE LA RUEDA
EJE DELANTERO		EJE PORTAL, PERFIL DOBLE T INTEGRADO, EJE ELLIOT INVERTIDO
EJE TRASERO		EJE PORTAL, CUBO MOTRIZ DE LA RUEDA DESACELERACION DEL CUBO DE LA RUEDA
BASTIDOR		PISO BAJO, MODULAR, ESTRUCTURA DE MARCOS PLANOS
SISTEMA DE SUSPENSION		SISTEMA DE SUSPENSION NEUMATICA 2+4 (CON SISTEMA ECAS), BARRA ESTABILIZADORA, AMORTIGUADOR HIDRAULICO BIDIRECIONAL DE TIPO CILINDRICO
SISTEMA DE DIRECCION		DIRECCION DE POTENCIA ELECTRO-HIDRAULICA, CAJA DE DIRECCION DE RECIRCULACION DE BOLAS, DIRECCION DE 4 AJUSTES
SISTEMA DE FRENADO	FRENADO DE SERVICIO	FRENOS DE AIRE DE DOBLE CIRCUITO, FRENOS DE DISCO DELANTEROS Y TRASEROS ABS
	FRENADO DE EMERGENCIA	VALVULA DE MANO PARA ALMACENAMIENTO DE LA ENERGIA DE LOS FRENOS DE RESORTE
	FRENO DE ESTACIONAMIENTO	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA PARA FRENOS DE RESORTE
	FRENADO AUXILIAR	DISPOSITIVO DE RETROALIMENTACION DE LA FUERZA DE FRENADO

Elaboración propia

→ Bus combustión: BUS FRR FORWAD EURO IV

Tabla 9. Especificaciones del motor. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD

MOTOR	
MARCA/ CODIGO	ISUZU / 4HK1-TCC
TIPO	TURBO-CARGADO INTERCOOLER
UBICACIÓN	LONGITUDINAL DELANTERO
DESPLAZAMIENTO (cc)	5,193
Nro DE CILINDROS	4 EN LINEA
POTENCIA (hp@rpm)	187 @ 2.600
TORQUE (Kg-m @ rpm)	52 @ 1.600
ALIMENTACION	INYECCION DIRECTA
SISTEMA DE INYECCION	COMMON RAIL
NIVEL DE EMISIONES	EURO IV
COMBUSTIBLE	DIESEL

Elaboración propia

Al comparar las tablas 8 y 9 se encuentra que la potencia máxima del bus eléctrico es de 150Kw mientras que la del bus a combustión es de 187hp, lo cual equivale a 139Kw, con lo cual se concluye que el bus eléctrico desarrolla más potencia que el bus a combustión, según las especificaciones del manual técnico.

Sin embargo también existen similitudes como es el caso del sistema de dirección, la cual es asistida hidráulicamente según se describe en las tablas 8 y 10

Tabla 10. Especificaciones del chasis. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD

CHASIS		
DIRECCION		ASISTIDA HIDRAULICAMENTE
SUSPENSION DELANTERA		
	TIPO	BALLESTA SEMI-ELIPTICO
	RESORTE	SEMI-ELIPTICO
	CAPACIDAD (Kg)	3,6
SUSPENSION TRASERA		
	TIPO	BALLESTA SEMI-ELIPTICO
	RESORTE	SEMI-ELIPTICO
	CAPACIDAD (Kg)	7,6
AMORTIGUADOR DELANTERO		HIDRAULICOS TELESCOPICOS DE DOBLE ACCION
SISTEMA DE FRENO		
	TIPO	HIDRAULICO ASISTIDO POR AIRE
	ABS	SI
BASTIDOR		SECCION DE CANAL ESCALONADO CON REFUERZO

Elaboración propia

Por otro lado, el sistema de frenado presenta diferencias en cuanto a su conformación, debido a que en la tabla 8, las especificaciones del chasis del bus eléctrico incluye cuatro tipos de frenado, los cuales son: frenado de servicio, emergencia, estacionamiento y auxiliar, mientras que en la tabla 10, el chasis del bus a combustión solo cuenta con sistema de freno tipo hidráulico asistido por aire y con ABS, el cual puede ser semejante al frenado de servicio descrito en la ficha técnica del bus eléctrico

Tabla 11. Especificación de las dimensiones. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD

DIMENSIONES	
LONGITUD TOTAL (OL)	8,325
DISTANCIA ENTRE EJES (WB (mm))	4,99
VOLADIZO DELANTERO (F0H(mm))	1,17
VOLADIZO TRASERO (R0H(mm))	2,165
ANCHO DE TROCHA POSTERIOR (CW(mm))	1,658
ANCHO DE LLANTAS TRASERAS(BW(mm))	2,157
ANCHO DE LLANTAS DELANTERAS (AW(mm))	1,79

Elaboración propia

Tabla 12. Especificación de pesos y capacidades. Manual técnico del bus a combustión. FRR FORWAD

PESOS Y CAPACIDADES	
PESO BRUTO VEHICULAR (Kg)	10,4
CAPACIDAD DE CARGA (Kg)	7,37
CAPACIDAD DE EJES	
DELANTERO (Kg)	3,6
TRASERO (Kg)	7,7
TANQUE DE COMBUSTIBLE (L)	200

Elaboración propia

Es así como a partir de la información anterior se concluye que las diferencias técnicas entre el bus a combustión y el bus eléctrico son notables, debido a que la conformación de los sistemas es diferente, partiendo del hecho de que el tipo de combustible con el cual funcionan no es igual para ambos, siendo esta la diferencia principal en la parte técnica.

5.2 Cálculo de la velocidad promedio

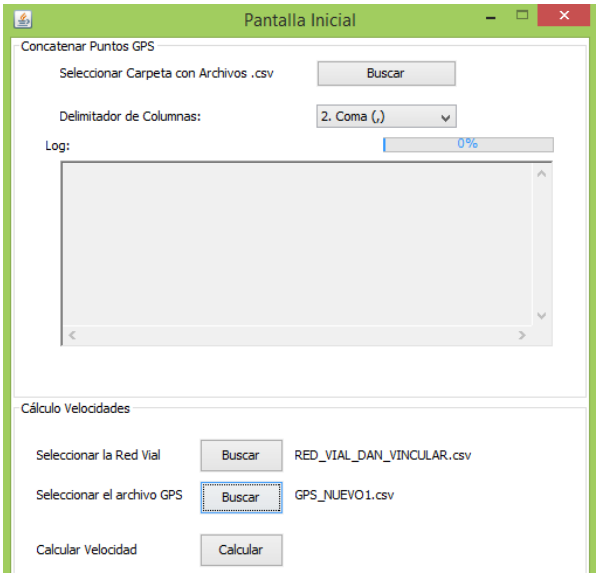
A partir de los pasos definidos en la metodología, a continuación se presentan los pasos más detallados sobre el manejo de la red vial en los software: Velocidades GPS 1.0, ArcMap 10.5 y TransCAD 4.5, los cuales fueron utilizados en dicho orden a medida que se requería.

Inicialmente se hizo uso de la carpeta de datos extraída del GPS, la cual contiene archivos.csv de acuerdo a la cantidad de puntos guardados; seguidamente se procede a unir todos esos archivos en uno solo denominado concatenado, mediante el uso del software Velocidad GPS.

Además en dicho software se deben cargar dos archivos previamente:

- Primero la red vial, la cual contiene información de N° (número de arco), dirección y coordenadas en metros X1, Y1, X2, Y2 (puntos de inicio y fin del arco)
- Segundo el archivo GPS, es decir el que fue concatenado inicialmente, pero adicionando las columnas FID_2 (identificador único para cada fila), X, Y (coordenadas cartesianas en metros de cada punto).

Gráfica 7. Pantalla inicial software Velocidades GPS



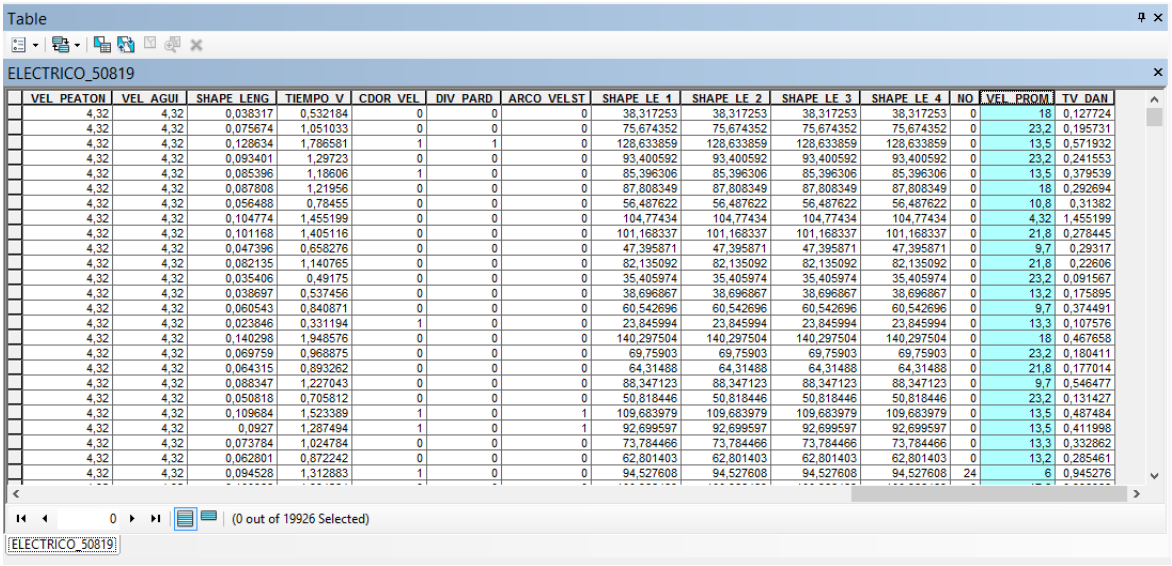
Elaboración propia

Realizando el anterior procedimiento se obtiene un archivo.csv el cual contiene el número de arco, la dirección, las coordenadas X1, Y1, X2, Y2 y la velocidad promedio; el proceso realizado por el software consiste en unir la información de la red vial existente y los datos obtenidos del GPS, a partir de la coincidencia de coordenadas de los puntos y los arcos.

Con la velocidad promedio obtenida para cada arco vial y el N° que lo identifica, se ingresan los datos a ArcMap como una tabla en Excel 93-2003, con el fin de que sea identificada; posteriormente se realiza la conversión de éste archivo en un shape de líneas, las cuales coinciden con los arcos viales de la red de transporte público de la ciudad, quedando asignada la velocidad solo a los arcos por los cuales la ruta del bus transitó.

Debido a lo anterior, es necesario asignar a los demás arcos viales los datos de velocidad obtenidos, teniendo en cuenta conservar la tipología y la pendiente media de los arcos, esto con el fin de que toda la red quede con información y esta sea concordante.

Gráfica 8. Pantalla tabla de atributos software ArcMap. Columna de velocidad promedio



Table

ELECTRICO_50819

VEL_PEATON	VEL_AGUI	SHAPE_LENG	TIEMPO_V	CDOR_VEL	DIV_PARD	ARCO_VELST	SHAPE_LE_1	SHAPE_LE_2	SHAPE_LE_3	SHAPE_LE_4	NO	VEL_PROM	TV_DAN
4,32	4,32	0,038317	0,532184	0	0	0	38,317253	38,317253	38,317253	38,317253	0	18	0,127724
4,32	4,32	0,075674	1,051033	0	0	0	75,674352	75,674352	75,674352	75,674352	0	23,2	0,195731
4,32	4,32	0,128634	1,786581	1	1	0	128,633859	128,633859	128,633859	128,633859	0	13,5	0,571932
4,32	4,32	0,093401	1,29723	0	0	0	93,400592	93,400592	93,400592	93,400592	0	23,2	0,241553
4,32	4,32	0,085396	1,18606	1	0	0	85,396306	85,396306	85,396306	85,396306	0	13,5	0,379539
4,32	4,32	0,087808	1,21956	0	0	0	87,808349	87,808349	87,808349	87,808349	0	18	0,292694
4,32	4,32	0,056488	0,78455	0	0	0	56,487622	56,487622	56,487622	56,487622	0	10,8	0,31382
4,32	4,32	0,104774	1,455199	0	0	0	104,77434	104,77434	104,77434	104,77434	0	4,32	1,455199
4,32	4,32	0,101168	1,405116	0	0	0	101,168337	101,168337	101,168337	101,168337	0	21,8	0,278445
4,32	4,32	0,047396	0,658276	0	0	0	47,395871	47,395871	47,395871	47,395871	0	9,7	0,29317
4,32	4,32	0,082135	1,140765	0	0	0	82,135092	82,135092	82,135092	82,135092	0	21,8	0,22606
4,32	4,32	0,035406	0,49175	0	0	0	35,405974	35,405974	35,405974	35,405974	0	23,2	0,091567
4,32	4,32	0,038697	0,537456	0	0	0	38,696867	38,696867	38,696867	38,696867	0	13,2	0,175895
4,32	4,32	0,060543	0,840871	0	0	0	60,542696	60,542696	60,542696	60,542696	0	9,7	0,374491
4,32	4,32	0,023846	0,331194	1	0	0	23,845994	23,845994	23,845994	23,845994	0	13,3	0,107576
4,32	4,32	0,140298	1,948576	0	0	0	140,297504	140,297504	140,297504	140,297504	0	18	0,467658
4,32	4,32	0,069759	0,968875	0	0	0	69,75903	69,75903	69,75903	69,75903	0	23,2	0,180411
4,32	4,32	0,064315	0,893262	0	0	0	64,31488	64,31488	64,31488	64,31488	0	21,8	0,177014
4,32	4,32	0,088347	1,227043	0	0	0	88,347123	88,347123	88,347123	88,347123	0	9,7	0,546477
4,32	4,32	0,050818	0,705812	0	0	0	50,818446	50,818446	50,818446	50,818446	0	23,2	0,131427
4,32	4,32	0,109684	1,523389	1	0	1	109,683979	109,683979	109,683979	109,683979	0	13,5	0,487484
4,32	4,32	0,0927	1,287494	1	0	1	92,699597	92,699597	92,699597	92,699597	0	13,5	0,411998
4,32	4,32	0,073784	1,024784	0	0	0	73,784466	73,784466	73,784466	73,784466	0	13,3	0,332862
4,32	4,32	0,062801	0,872242	0	0	0	62,801403	62,801403	62,801403	62,801403	0	13,2	0,285461
4,32	4,32	0,094528	1,312883	1	0	0	94,527608	94,527608	94,527608	94,527608	24	6	0,945276

0 (0 out of 19926 Selected)

ELECTRICO_50819

Elaboración propia

Es importante aclarar que la única velocidad que no se modificó fue la de los arcos viales con tipología Semipeatonal, pues se conservó una velocidad de caminata de 4.32 km/h (Montoya Gomez, 2019)

5.3 Análisis de la velocidad promedio

Los datos de velocidad obtenidos después del procesamiento de la información arrojada por el dispositivo GPS, fueron asignados a los arcos viales pertenecientes a la red de transporte público de la ciudad de Manizales, según la tipología y la pendiente media de la vía, dichos datos se evidencian en las tablas 13 y 14, de acuerdo al tipo de bus (eléctrico o a combustión):

Tabla 13. Velocidades asignadas a la red de transporte público según tipología y pendiente media de la vía. Bus eléctrico

BUS ELECTRICO					
VELOCIDAD PROMEDIO (Km/h)					
PENDIENTE MEDIA	TIPOLOGÍA DE LA VIA				
	PRINCIPAL	SECUNDARIA	COLECTORA	NACIONAL	LOCAL
<=3%	13,5	13,2	10,8	N/A	21,9
(3% - 6%)	13,6	12,1	13,2	N/A	23,2
[6% - 8%)	16,3	17,8	9,6	N/A	18,0
>=8%	14,9	13,3	9,7	19,1	21,8

Elaboración propia

Tabla 14. Velocidades asignadas a la red de transporte público según tipología y pendiente media de la vía. Bus a combustión

BUS A COMBUSTION					
VELOCIDAD PROMEDIO (Km/h)					
PENDIENTE MEDIA	TIPOLOGÍA DE LA VIA				
	PRINCIPAL	SECUNDARIA	COLECTORA	NACIONAL	LOCAL
<=3%	23,8	21,6	17,3	N/A	18,1
(3% - 6%)	21,8	28,8	17,5	N/A	23,2
[6% - 8%)	23,4	28,8	16,2	N/A	23,2
>=8%	24,2	28,8	17,3	26,5	23,2

Elaboración propia

En las tablas 13 y 14 se puede observar que en la tipología “nacional” solo se registra el dato de velocidad promedio cuando la pendiente media es >=8%, pues los demás datos de dicha tipología se identifican con la sigla N/A, lo anterior debido a que el bus eléctrico y el bus a combustión solo transitaron por un tramo vial clasificado en dicha tipología, comprendido entre la Subestación CHEC-Estación Uribe y el retorno del puente la estampilla sobre la Autopista del Café.

A partir de la resta de las velocidades promedio a las cuales transita el bus a combustión y el bus eléctrico, se crea la tabla 15, en la cual se registran los resultados de dicha diferencia, lo anterior debido a que las velocidades promedio presentadas en la tabla 13 son notablemente menores a las expuestas en la tabla 14.

Tabla 15. Diferencia de la velocidad promedio entre el bus eléctrico y el bus a combustión

BUS A COMBUSTION					
DIFERENCIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO ENTRE LOS BUSES (Km/h)					
PENDIENTE MEDIA	TIPOLOGÍA DE LA VIA				
	PRINCIPAL	SECUNDARIA	COLECTORA	NACIONAL	LOCAL
<=3%	10,3	8,4	6,5	N/A	-3,8
(3% - 6%)	8,2	16,7	4,3	N/A	0
[6% - 8%)	7,1	11	6,6	N/A	5,2
>=8%	9,3	15,5	7,6	7,4	1,4

Elaboración propia

Es así como en la tabla 16 los resultados obtenidos de la diferencia entre las velocidades se convierten en porcentaje, con el fin de interpretar el tanto por ciento de más que representa una velocidad en comparación con la otra, exceptuando el dato registrado en las vías locales pertenecientes a la red de transporte público, con pendiente menor o igual al 3%, en el cual transita a mayor velocidad el bus eléctrico

Tabla 16. Porcentaje de la diferencia de las velocidades promedio entre bus eléctrico y el bus a combustión

PORCENTAJE COMPARATIVO DE VELOCIDAD PROMEDIO ENTRE LOS BUSES (Km/h)					
PENDIENTE MEDIA	TIPOLOGÍA DE LA VIA				
	PRINCIPAL	SECUNDARIA	COLECTORA	NACIONAL	LOCAL
<=3%	43%	39%	38%	N/A	-21%
(3% - 6%)	38%	58%	25%	N/A	0%
[6% - 8%)	30%	38%	41%	N/A	22%
>=8%	38%	54%	44%	28%	6%

Elaboración propia

En la tabla 16 también se evidencia que existe una diferencia mínima (6%), una máxima (58%) y una nula (0%) en cuanto a la velocidad promedio a la cual transita el bus eléctrico y el bus a combustión. Así, se interpreta que en vías locales con pendiente media mayor o igual al 8%, el bus a combustión transita el 6% más rápido que el bus eléctrico, mientras que en vías secundarias con pendiente entre el 3% y el 6% se presenta un 58% más velocidad en el bus a combustión que en el eléctrico. Además solo hay una vía en la cual ambos buses transitan a la misma velocidad y es la local con pendiente media entre el 3% y el 6%.

De los datos de la tabla 16 se concluye además, que la velocidad promedio a la que transita el bus eléctrico es de 15.4 km/h, mientras que la del bus a combustión es de 22.6 km/h, es decir que las velocidades que adquiere el bus a combustión en la ruta asignada son mayores en un 32% en comparación con el bus eléctrico.

Dicho porcentaje representa ventajas para los usuarios del vehículo eléctrico desde la perspectiva de la seguridad vial, debido a que según un metanálisis que incluyo 15 estudios para evaluar el riesgo de muerte de los peatones, se concluye que se recomienda transitar con límites de velocidad entre los 30 km/h y los 40 km/h en áreas con alto tráfico de peatones, además se encontró que cuando la velocidad de impacto estimada aumenta en 1 km/h, las probabilidades de una muerte de peatones aumentan en promedio en un 11%, dentro de los resultados del estudio también se establecen los siguientes intervalos porcentuales del riesgo de muerte según la velocidad de impacto estimada (Q Hussain, H Feng, R Grzebieta, T Brijs, J Oliver,2019)

- 5% a 30 km/h
- 10% a 37 km/h
- 50% a 59 km/h
- 75% a 69 km/h
- 90% a 80 km/h

Desde otro punto de vista, el normativo, las velocidades promedio a las cuales transitan el bus eléctrico y el bus a combustión del presente estudio, se encuentran dentro de los límites establecidos según el Decreto 015 de 2011 del Ministerio de Transporte, en el cual se establecen los límites máximos de velocidad para garantizar la seguridad vial, es así como en vías urbanas las velocidades máximas y mínimas para vehículos de servicio público será determinada y debidamente señalizada por la autoridad de tránsito competente en el municipio respectivo, pero en ningún caso podrá sobrepasar los 60 km/h; además la velocidad en zonas escolares y en zonas residenciales será hasta de 30 km/h (Decreto 015, 2011).

A partir de los datos obtenidos también es posible afirmar que el bus eléctrico está en la capacidad de transitar por todas las vías de la ciudad sin distinción de pendiente, pues hubo datos recolectados en arcos viales con pendientes altas, por las cuales se movilizó dicho bus; con lo anterior la hipótesis de falta de potencia del motor, la cual es suministrada por las baterías eléctricas para afrontar estas pendientes, queda sin fundamento.

Las condiciones operativas de las vías también son un factor determinante en el valor de la velocidad promedio, es así como la ruta recorrida por el bus eléctrico afrontaba inconvenientes de flujo vehicular al incorporarse en la Glorieta de la Autónoma y en la Intersección Vial de la Carola, puntos en los cuales durante el periodo de tiempo de la toma de datos, estaban siendo intervenidos con la construcción de infraestructura vial. Caso similar ocurrió con la ruta recorrida por el bus a combustión, en la cual se encontraba en construcción la Intersección San Marcel. Los anteriores son factores que aumentan la congestión vehicular y los tiempos de viaje en los desplazamientos, sin embargo al comparar las condiciones operativas de ambas rutas, se determina que el recorrido realizado por el bus eléctrico se encontraba con mayores condicionamientos que afectaban considerablemente el tiempo de viaje.

Seguidamente, se recalcula la longitud de los arcos en km haciendo uso de la opción calcular geometría en el software ArcMap, para utilizarla en el cálculo del tiempo de viaje, el cual se obtiene dividiendo la longitud recalculada entre la velocidad promedio.

Todo el anterior procedimiento es realizado tanto para los datos obtenidos con el GPS para el bus eléctrico como para el bus de combustión, debido a que la finalidad es hacer una comparación de los tiempos de viaje necesarios para movilizarse en la red de transporte público eléctrico y en la red de transporte público a combustión.

5.4 Cálculo de los tiempos medios de viaje

Ya obtenidos los datos de tiempos de viaje y después de agregar los atributos necesarios para el cálculo de la accesibilidad, se deben proyectar las redes viales (bus eléctrico y bus a combustión) a coordenadas WGS_1984, debido a que estaban siendo trabajadas en ArcMap en coordenadas planas, es decir en formato Cart_Manizales_MAGNA, lo anterior es necesario debido a que los cálculos de accesibilidad media global se realizan en el software TranCAD y éste trabaja en coordenadas geográficas, es decir en WGS_1984.

Después de tener la red en las coordenadas correctas para importarla al software TransCAD, se realiza dicho proceso y se confirma si toda la red se encuentra conectada, debido a que lo que se realizará es la simulación de que todos los nodos de la red viajan a todos los otros nodos, por el camino más corto, entonces no puede existir desconexión alguna, debido a que se imposibilita el procedimiento para determinar la accesibilidad media global.

El cálculo de los tiempos de viaje entre los nodos de la red se resume en una matriz de tamaño nXn, siendo n cada nodo de la red, es decir es una matriz cuadrada, en la que se expresa el tiempo mínimo de viaje desde un nodo origen hasta los demás nodos de la red. Este cálculo es realizado a partir del algoritmo de Dijkstra o también llamado algoritmo de caminos mínimos (E W., 1959), cuyo objetivo, es determinar la ruta más corta, desde el nodo origen, hasta cualquier nodo de la red. Su metodología se basa en iteraciones, de manera tal que en la práctica, su desarrollo se dificulta a medida que el tamaño de la red aumenta, dejándolo en clara desventaja, frente a métodos de optimización basados en programación matemática.

A partir del procedimiento anterior, se obtiene el vector de tiempo mínimo de viaje promedio con el cual se obtendrán las curvas isócronas en el software ArcMap, las cuales facilitan la interpretación de los datos del vector obtenido

6. Resultados y discusión

6.1 Determinación de los costos de operación

Los costos de operación vehicular son los gastos necesarios para mantener un vehículo en funcionamiento según la FAO 1998. Según el informe ejecutivo publicado por el Ministerio de Transporte de Colombia y elaborado por la Dirección de tránsito y transporte, la Subdirección de transporte y el grupo de investigación y desarrollo en transporte en Noviembre de 2007, los costos de operación vehicular para transporte de carga por carretera integran costos fijos y variables dependiendo de la configuración del vehículo y el consumo por km recorrido, considerando el tipo de terreno por el cual se moviliza (Dirección de transporte y tránsito, 2007)

6.1.1 Costos variables

Los costos variables son aquellos que cambian o fluctúan en relación directa a una actividad (Rojas, 2007); es así como en el campo vehicular se refiere a aquellos que varían de acuerdo a los precios del mercado, la disponibilidad en él y la capacidad de compra por parte del usuario.

6.1.1.2 Combustible

El combustible es toda sustancia natural o artificial que combinada con el oxígeno produce una reacción de desprendimiento de calor, generando una reacción de oxidación; el combustible pueden ser un sólido, un líquido o un gas y el carburante es el oxígeno (GarcÍa San Jose, 2001)

Es así como en este caso se denominará a la energía eléctrica almacenada en las baterías de los VE, como la sustancia o elemento que propicia el movimiento, sin embargo es importante resaltar que el bus eléctrico del presente estudio hace parte del grupo de vehículos totalmente eléctricos alimentados exclusivamente por baterías.

Tabla 17. Comparación de precios de combustibles. Bus eléctrico y bus a combustión

BUS A COMBUSTION	**BUES ELECTRICO**
Diesel	**Energía eléctrica**
El diesel también es llamado gasoil que se obtiene de la destilación del petróleo entre los 200 y 380ºC. Es un líquido denso y es un combustible NO renovable que se utiliza para la generación de electricidad, transporte y calefacción (Ministerio de energía.cl) En transporte se emplea para los motores de vehículos de grandes, como en este caso un bus.	La energía eléctrica es suministrada a través de un dispositivo llamado electrolinera, el cual funciona como una estación de carga rápida, teniendo en cuenta la existencia de estaciones de carga súper-rápida (80-120 Kw), rápida (Hasta 50 Kw) y semi-rápida (7,3-25 Kw) para las estaciones públicas de carga (Superintendencia Industria y Comercio, 2016) El Kw (Kilovatio) es la unidad de energía capaz de producir y sustentar una potencia durante un tiempo.
Capacidad: 53 Galones	Capacidad: 95.27 Kw
Precio: $8.909 pesos el galón	Precio: $618.04 pesos el Kw
TOTAL: $472.177	**TOTAL: $58.881**

Elaboración propia

En la tabla 17 se calcula el combustible necesario, para ocupar en su totalidad la capacidad de ambos buses, dicha capacidad fue obtenida de las fichas técnicas. Además se consideró el precio promedio del combustible diesel para el año 2019, datos contenidos en la tabla 21 para el bus a combustión, es decir $8.909 y el precio del Kw obtenido de la tarifa industrial y comercial de energía eléctrica (tabla 22) para el mismo año, el cual equivale a $618.04, lo anterior con el fin de multiplicar la capacidad por el precio y así obtener el costo total para llenar, es decir ocupar en su totalidad la capacidad de combustible de cada bus.

En Colombia, el Ministerio de Minas y energía, suministra periódicamente en su página web, los precios de venta del combustible reportados por las Estaciones de Servicio (EDS) acorde al precio regulado del mercado, sin embargo el costo por galón de combustible diesel varía de acuerdo al municipio del país y a la EDS; es así como se presentan en las tablas 18 y 20 los precios por galón mensual del año 2018 y del año 2019 hasta el mes de Junio respectivamente.

La tabla 18 contiene el promedio de los precios del galón de combustible diesel entre los días primero y doce de cada mes, dichos datos corresponden al reporte realizado del precio de venta de cada uno de esos días en las EDS; sin embargo se debe aclarar que no todas las EDS de la ciudad de Manizales realizan dicho reporte y tampoco son constantes las que lo realizan día a día, por lo cual la base de datos es aproximada y se utiliza para una proyección de los precios en la ciudad. La ausencia de datos evidenciado en la tabla corresponde a los días en los cuales ninguna EDS realizó el reporte del dato del precio del galón diesel en la base de datos del Ministerio de Minas y energía. También se interpreta en la tabla 18 que el mes con menor número de datos es Diciembre, situación contraria a la del mes de Enero, en el cual existe reporte todos los días considerados en el análisis.

Tabla 18. Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía

FECHA	PRECIO PROMEDIO GALON DIESEL EDS DE MANIZALES 2018											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	$8.087	$8.166	$8.155	$ 8.190	$ 8.010							
2	$8.131	$8.250	$8.254		$ 8.252	$ 8.413	$ 8.228					
3	$8.275	$8.239	$8.347		$ 8.150				$ 8.135			
4	$8.644	$8.276	$8.302	$ 8.304	$ 8.250							
5	$8.355	$8.350	$8.370	$ 8.300				$ 8.470	$ 8.225		$ 8.384	
6	$8.340	$8.399		$ 8.220	$ 8.544	$ 8.521	$ 8.474	$ 8.540			$ 8.385	$ 8.540
7	$8.460	$8.445	$8.519	$ 8.581	$ 8.360	$ 8.408						
8	$8.440	$8.493	$8.498							$ 8.544		
9	$8.487		$8.538	$ 8.545	$ 8.596	$ 8.609	$ 8.645	$ 8.590				
10	$8.560	$8.649				$ 8.737	$ 8.605	$ 8.745	$ 8.724	$ 8.680		
11	$8.644	$8.706	$8.585				$ 8.650			$ 8.830	$ 8.695	
12	$8.773		$8.767	$ 8.843	$ 8.772					$ 8.830	$ 8.780	$ 8.840

Elaboración propia

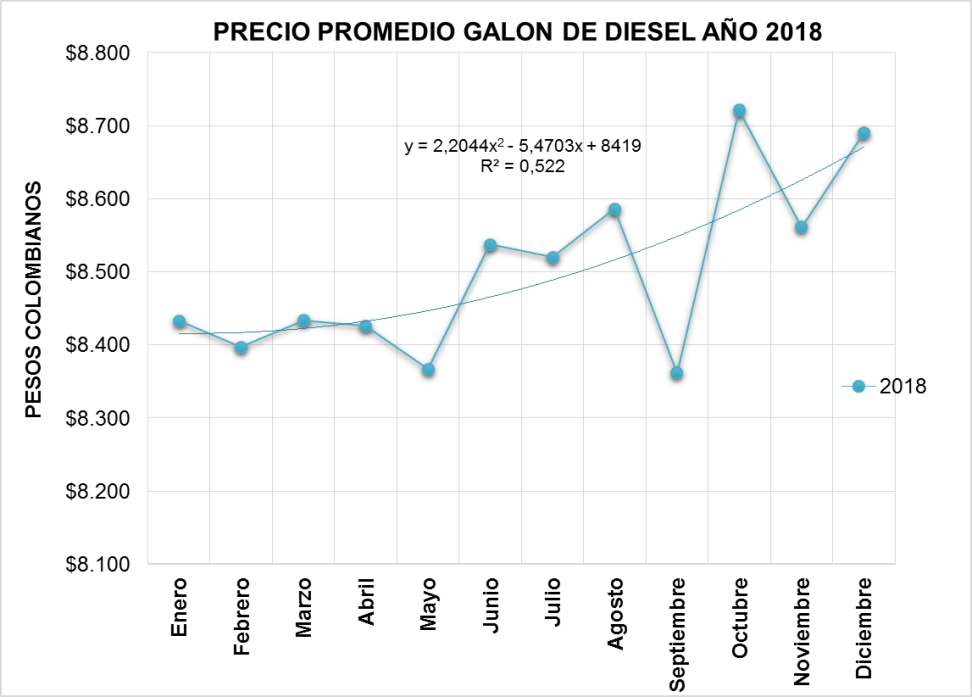
La tabla 19 corresponde a una síntesis de los datos contenidos en la tabla 18, con el fin de tener una apreciación más clara del precio del galón de diesel en la ciudad de Manizales durante el año 2018

Tabla 19. Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía.

PRECIO PROMEDIO GALON DE DIESEL	
Enero	$8.433
Febrero	$8.397
Marzo	$8.434
Abril	$8.426
Mayo	$8.367
Junio	$8.537
Julio	$8.520
Agosto	$8.586
Septiembre	$8.361
Octubre	$8.721
Noviembre	$8.561
Diciembre	$8.690

Elaboración propia

Gráfica 9. Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Año 2018.Ministerio de Minas y de Energía.



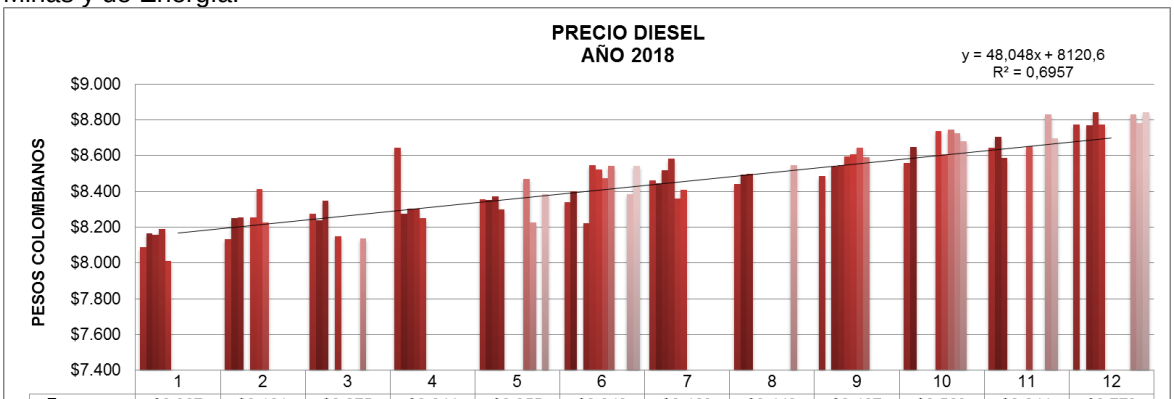
Elaboración propia

Los datos utilizados en la gráfica 9 siguen una línea de tendencia polinómica de segundo orden y en ella se evidencia un dato mínimo en el mes de Septiembre y un dato máximo en el mes de Octubre, pues a pesar de ser meses consecutivos, presentan una variación del 4% en el precio del galón de diesel, mientras que la mínima variación de precio consecutiva entre los demás meses, se presenta entre Marzo y Abril con un 0.009%.

Además, los datos contenidos en la tabla 19, y representados en la gráfica 9, se obtienen de calcular el promedio entre los precios diarios del galón de gasolina registrados cada mes, es decir el promedio de los doce días en los cuales se tienen datos, con el fin de apreciar el aumento del precio del galón de diesel mes a mes a lo largo del año, a pesar de que la CREG, es decir la Comisión de Regulación de Energía y Gas, establece las tarifas de los combustibles líquidos en Colombia de acuerdo con la normatividad de los componentes del precio para cada uno de ellos, ejerciendo su función de “establecer las fórmulas para la fijación de las tarifas de los servicios públicos, cuando ello corresponda según lo previsto en el artículo 88 y señalar cuándo hay suficiente competencia como para que la fijación de las tarifas sea libre”. Con lo anterior se explica el hecho de que todas las EDS registren un precio diferente del galón de combustible diesel, pues existe la suficiente competencia en el mercado que da la libertad de fijación de tarifas.

Como complemento a los datos registrados en la tabla 18, estos son representados en la gráfica 10.

Gráfica 10. Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Año 2018. Ministerio de Minas y de Energía.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Enero	$8.087	$8.131	$8.275	$8.644	$8.355	$8.340	$8.460	$8.440	$8.487	$8.560	$8.644	$8.773
Febrero	$8.166	$8.250	$8.239	$8.276	$8.350	$8.399	$8.445	$8.493		$8.649	$8.706	
Marzo	$8.155	$8.254	$8.347	$8.302	$8.370		$8.519	$8.498	$8.538		$8.585	$8.767
Abril	$ 8.190			$ 8.304	$ 8.300	$ 8.220	$ 8.581		$ 8.545			$ 8.843
Mayo	$ 8.010	$ 8.252	$ 8.150	$ 8.250		$ 8.544	$ 8.360		$ 8.596			$ 8.772
Junio		$ 8.413				$ 8.521	$ 8.408		$ 8.609	$ 8.737		
Julio		$ 8.228				$ 8.474			$ 8.645	$ 8.605	$ 8.650	
Agosto					$ 8.470	$ 8.540			$ 8.590	$ 8.745		
Septiembre			$ 8.135		$ 8.225					$ 8.724		
Octubre								$ 8.544		$ 8.680	$ 8.830	$ 8.830
Noviembre					$ 8.384	$ 8.385					$ 8.695	$ 8.780
Diciembre						$ 8.540						$ 8.840

Elaboración propia

En la gráfica 10 se observa que la ecuación que mejor relaciona las variables es una línea recta, por lo cual existe una correlación lineal y el valor de R2, denominado el coeficiente de determinación, presenta un valor de 0.7, el cual es cercano a 1, es decir que el ajuste del modelo a los datos se considera aceptable.

Así como se tienen registros del precio del galón de combustible diesel en la ciudad de Manizales para el año 2018, también se tienen para el año 2019, del cual sólo se consideran los meses de Enero a Junio, debido a que es el intervalo de tiempo considerado para los análisis del presente estudio.

En la tabla 20 se registran los datos de igual manera que en la tabla 18, con la única diferencia de que los días considerados para el registro de los datos se reduce a la mitad, pasando de doce días en el año 2018, a seis días en el año 2019; es así como las EDS realizan diariamente el reporte y el dato que se aprecia en la tabla 20 es el promedio de todos los reportes realizados.

Tabla 20. Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Primer semestre del año 2019. Ministerio de Minas y de Energía.

FECHA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
	PRECIO PROMEDIO GALON DE DIESEL 2019					
1		$ 8.778	$ 8.743	$ 8.727		
2	$ 8.851	$ 8.819		$ 8.763	$ 8.840	
3	$ 8.846	$ 8.860		$ 8.893	$ 8.838	
4	$ 8.935	$ 8.904	$ 8.961	$ 9.060		$ 8.999
5		$ 9.089	$ 8.933	$ 9.060		$ 8.843
6	$ 9.145	$ 8.860	$ 8.990	$ 8.904	$ 8.946	$ 8.981

Elaboración propia

Tabla 21. Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Primer semestre año 2019.

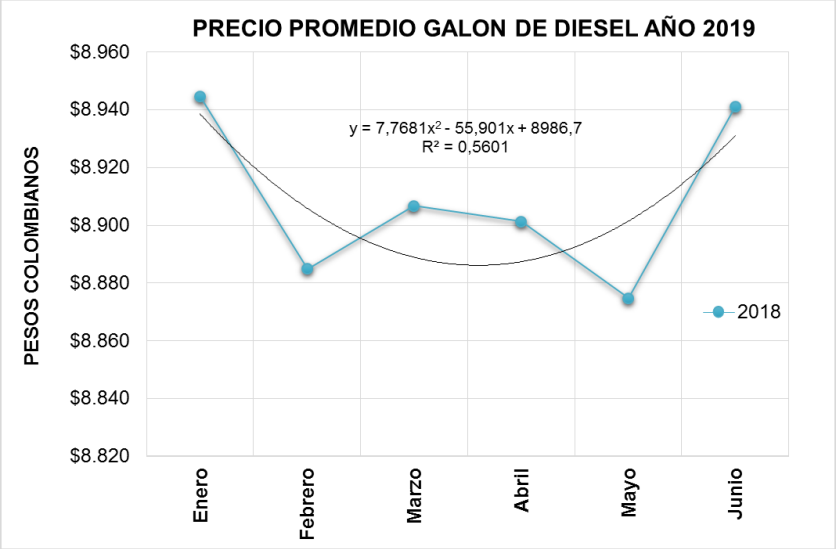
Ministerio de Minas y Transporte

PRECIO PROMEDIO GALON DE DIESEL	
Enero	$8.944
Febrero	$8.885
Marzo	$8.907
Abril	$8.901
Mayo	$8.875
Junio	$8.941

Elaboración propia

Los datos registrados en la tabla 21 se calculan con el mismo procedimiento realizado anteriormente en la tabla 19, con el objetivo de tener una evaluación global del precio mensual del galón de diesel en la ciudad. Además, la gráfica 11 representa dichos datos, los cuales presentan un comportamiento polinómico de segundo orden, con precio máximo en el mes de Enero y mínimo en el mes de Mayo. Los datos también presentan unos cambios drásticos de disminución y aumento del precio en meses consecutivos, por lo cual se interpreta que el aumento del precio no es gradual mes a mes.

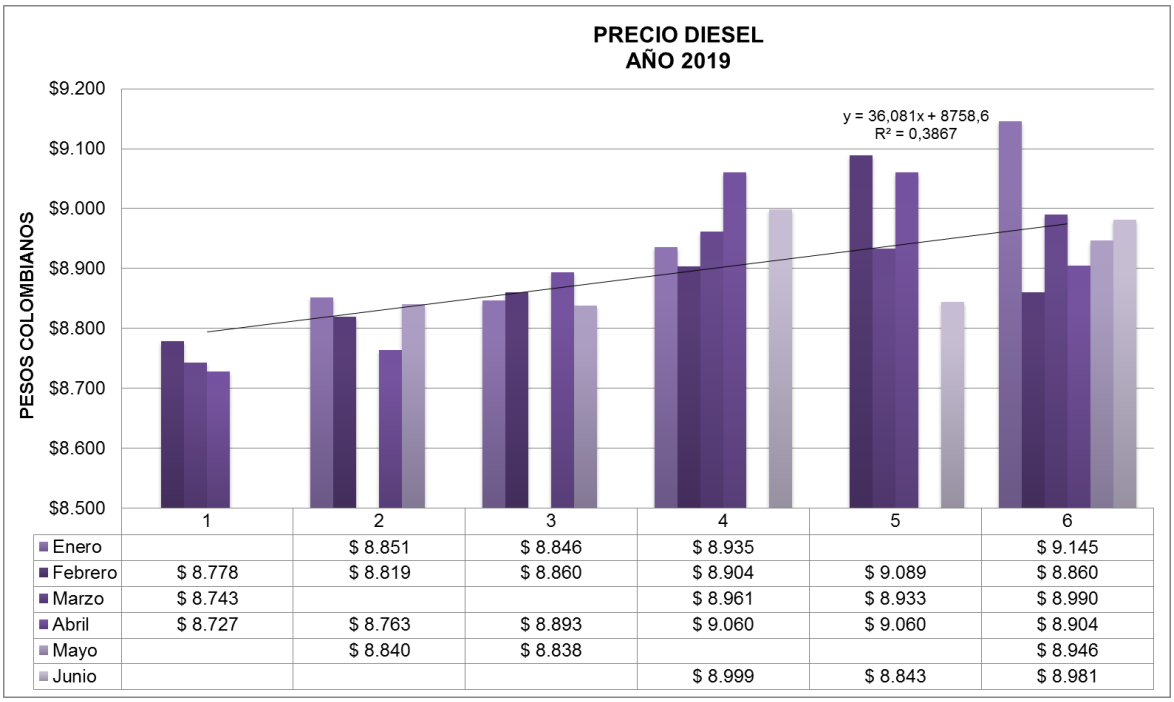
Gráfica 11. Precio promedio mensual del galón de diesel en Manizales. Primer semestre del año 2019



Ministerio de Minas y de Energía. Elaboración propia

Finalmente en la gráfica 12 se puede apreciar que los datos registrados en la tabla 20 presentan una tendencia lineal, a pesar de que los datos solo se ajusten en un 40% a dicha regresión. También se evidencia la falta de datos en los días de registro, hecho que altera la continuidad de la información.

Gráfica 12. Precios promedio diarios del galón de diesel en Manizales. Primer semestre del año 2019. Ministerio de Minas y de Energía



	1	2	3	4	5	6
Enero		$ 8.851	$ 8.846	$ 8.935		$ 9.145
Febrero	$ 8.778	$ 8.819	$ 8.860	$ 8.904	$ 9.089	$ 8.860
Marzo	$ 8.743			$ 8.961	$ 8.933	$ 8.990
Abril	$ 8.727	$ 8.763	$ 8.893	$ 9.060	$ 9.060	$ 8.904
Mayo		$ 8.840	$ 8.838			$ 8.946
Junio				$ 8.999	$ 8.843	$ 8.981

Elaboración propia

Las EDS que reportaron datos en la ciudad de Manizales durante el año 2018 fueron 33, mientras que las del año 2019 fueron 30, cantidad con la cual se generalizó el costo del galón de combustible diesel y fue utilizada para los cálculos posteriores.

Por otro lado, el precio del Kw de energía, combustible utilizado por el bus eléctrico para su funcionamiento, fue suministrado por la empresa CHEC y su variación mensual durante el año 2018 y 2019 es considerada a partir de las estadísticas registradas por la empresa EPM en su página web, datos denominados como “tarifas de energía”.

En cada archivo de tarifa de energía mensual, se especifica el cumplimiento de las normas que regulan dichos precios (mercado regulado), es decir la Ley 142 de 1994, las resoluciones CREG 058/2000, 119/2007, 105/2009, 026/2010, 173/2011, 189-241/2015, 130/18 y la Ley 1940 de 2018. Seguidamente, las tarifas son clasificadas y para el caso de la energía suministrada a través de la electrolinera, se considera la tarifa industrial y comercial, expresada en unidades de $Kwh (precio kilovatio hora).

Es así como se presenta la tabla 22, en la cual se recopilan los datos del año 2018 y el primer semestre del año 2019, con el fin de considerar el mismo intervalo de tiempo que se utilizó en el análisis de la variación del precio del combustible diesel.

Tabla 22. Tarifa industrial y comercial de energía. Mercado Regulado. Años 2018 y 2019. Empresas Públicas de Medellín E.S.P

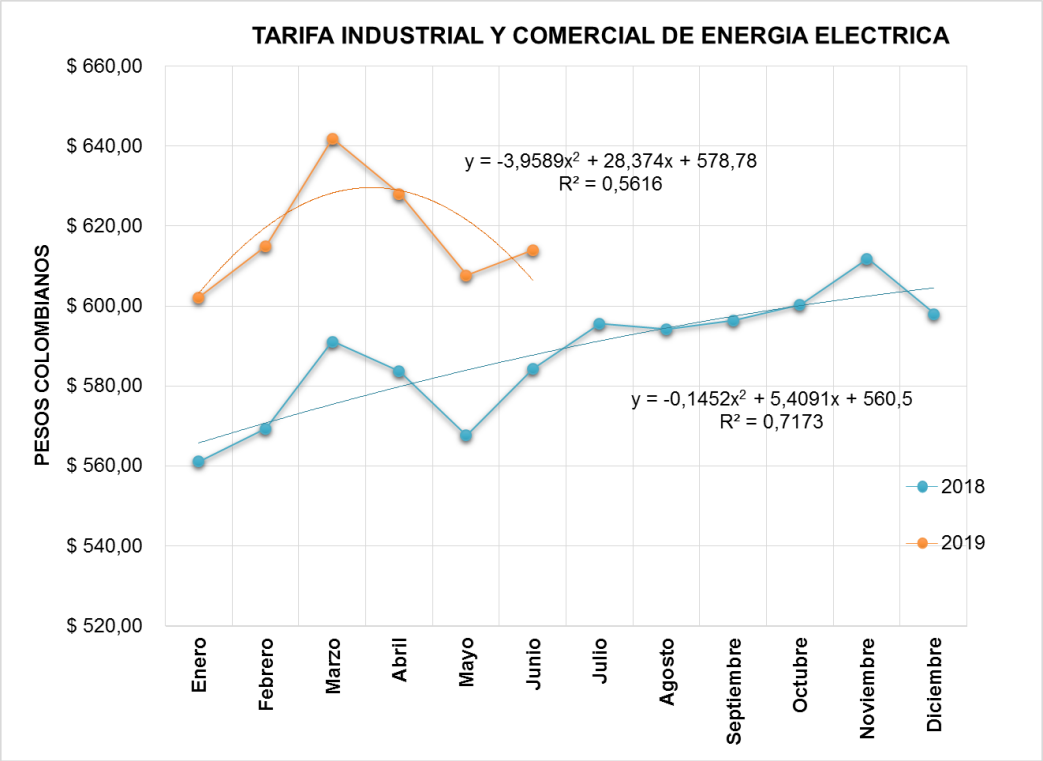
TARIFA INDUSTRIAL Y COMERCIAL DE ENERGIA ELECTRICA		
MERCADO REGULADO		
EPM E.S.P		
MES	AÑO	
	2018	2019
Enero	$ 561,09	$ 602,08
Febrero	$ 569,37	$ 614,92
Marzo	$ 591,11	$ 641,83
Abril	$ 583,66	$ 627,95
Mayo	$ 567,63	$ 607,56
Junio	$ 584,34	$ 613,90
Julio	$ 595,59	
Agosto	$ 594,26	
Septiembre	$ 596,35	
Octubre	$ 600,38	
Noviembre	$ 611,76	
Diciembre	$ 598,03	

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Elaboración propia

Los datos registrados en la tabla 22 fueron utilizados para elaborar la gráfica 13, en la cual se evidencian las variaciones del precio de la energía eléctrica. Al comparar el comportamiento de los datos en el año 2018 con los del 2019, se percibe que la fluctuación es muy similar, incluso describiendo la misma de línea que une los datos mes a mes, pero con la diferencia de que se incrementa el precio del Kw/h del 2018 en relación al del 2019.

Las dos curvas que representan el conjunto de datos del año 2018 y del 2019, presentan una línea de tendencia polinómica de segundo orden, con un ajuste de los datos del 72% y el 56% respectivamente.

Gráfica 13. Tarifa industrial y comercial de energía eléctrica. Mercado regulado. Año 2018 y 2019. Empresas Públicas de Medellín E.S.P



Elaboración propia

Además de lo anterior, es importante aclarar que debido a que las empresas privadas prestadoras del servicio de energía, en este caso CHEC y EPM, toman la decisión internamente del precio al cual comercializan la energía eléctrica, el precio de venta al público del Kw varía de acuerdo a un porcentaje de retorno que es establecido por cada empresa, teniendo siempre presente que los precios que establezcan no pueden ser superiores a los precios regulados por la CREG. La anterior información fue suministrada por uno de los profesionales del área de mercadeo de la CHEC.

Al realizar la comparación entre los precios mensuales de ambos combustibles analizados, es decir el diesel y la energía eléctrica en sus unidades correspondientes, se interpreta que el promedio anual del precio del galón de diesel para el año 2018 es $8.503 y el de Kw/h de energía eléctrica es de $587.8, es decir que el combustible diesel cuesta el 93% más que la energía eléctrica; mientras que para el año 2019, el precio del diesel es de $8.909 galón y el de energía eléctrica es de $618.04Kw/h, sin embargo se conserva el mismo porcentaje de diferencia de precio; es así como los datos anteriores

exponen con claridad que el uso de los vehículos eléctricos resulta, considerablemente más económico en cuanto a combustible se refiere.

6.1.1.2.1Instalación de estaciones de servicio

En la presente sección sólo son considerados los costos que acarrea la instalación de una electrolinera pública en la ciudad de Manizales, debido a que son éstas las proyectadas a instalarse y cuya ubicación se considera en el presente estudio. Además, por considerar que la oferta de EDS en la ciudad es mayor en comparación con la oferta limitada y/o única de dichas electrolineras en la ciudad.

En la tabla 23 se relacionan los costos aproximados de la instalación de una electrolinera (datos suministrados por personal del equipo de mercadeo y ofertas CHEC – área de gestión comercial), teniendo en cuenta que no son valores oficiales y que las condiciones del punto, además de las necesidades y otras variables pueden hacer modificar los costos.

Tabla 23. Precios aproximados de la instalación de una electrolinera en la ciudad de Manizales. Cotización CHEC

ELECTROLINERA				
		RÁPIDA	**LENTA**	**AMBAS**
1	**DISEÑOS**	$ 8.301.640	$ 8.301.640	$ 8.301.640
2	**EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS**	$ 144.805.874	$ 68.513.583	$ 163.482.473
2.1	Eléctricos	$ 45.519.384	$ 45.519.384	$ 45.519.384
2.2	Sistema Solar Fotovoltaico	-	-	-
2.3	Infraestructura de carga	$ 98.643.890	$ 22.351.599	$ 117.320.489
2.4	Sistema de datos/comunicación	$ 642.600	$ 642.600	$ 642.600
3	**OBRAS**	$ 24.930.264	$ 24.930.264	$ 24.930.264
3.1	Obra civil eléctrica	$ 14.345.333	$ 14.345.333	$ 14.345.333
3.2	Obras SSFV	-	-	-
3.3	Obra civil	$ 10.584.931	$ 10.584.931	$ 10.584.931
3.4	Expansión	-	-	-
4	**SOFTWARE ESPECIALIZADO**	-	-	-
5	**SERVICIOS TÉCNICOS**	$ 2.677.500	$ 2.677.500	$ 2.677.500
6	**IMAGEN CORPORATIVA Y PUBLICIDAD**	$ 11.721.500	$ 11.721.500	$ 11.721.500
7	**ASPECTOS LEGALES**	-	-	-
8	**PERSONAL DE APOYO**	-	-	-
9	**TERRENO**	-	-	-
10	**VEHICULOS ELÉCTRICOS**	-	-	-
11	**OTROS**	-	-	-
	SUBTOTAL	**$ 192.436.778**	**$ 116.144.487**	**$ 211.113.377**
	IMPREVISTOS (5%)	**$ 202.058.617**	**$ 121.951.711**	**$ 221.669.046**

Elaboración CHEC – Grupo EPM

Actualmente en las instalaciones de la CHEC de la Estación Uribe existe una electrolinera de carácter privado con la cual es recargado el bus eléctrico del presente estudio; dicha electrolinera cuenta con las siguientes especificaciones:

- Model: EVA080KS/01
- Manufacturing date: 2017-08-02
- Serial N°: 010448LW1780200004
- Input voltaje: 3-phase 480 VAC
- Output voltaje: 3-phase 480 VAC
- Input current: Max 96 A
- Output current: Max. 48 A*2
- Rated output power: 80 Kw
- Frequency: 60 Hz
- Degree of protection: IP55
- Total weight: 30 Kg

Es así como la cotización propuesta en la tabla 23 hace referencia a los costos asumidos por la empresa CHEC para instalar y poner en funcionamiento la única electrolinera de la ciudad, teniendo presente que para las empresas distribuidoras de energía, lo anterior hace más adversa la gestión de la carga por los potenciales costos adicionales en infraestructura eléctrica y equipos de control. Por otra parte, las empresas de servicios de carga pública deben incurrir en mayores inversiones, teniendo en cuenta que sus estaciones deben tener conectores para cualquier vehículo, equipos ajustados a las condiciones de recarga y plataformas de comunicación diferenciadas según el usuario (Superintendencia de industria y comercio, 2016).

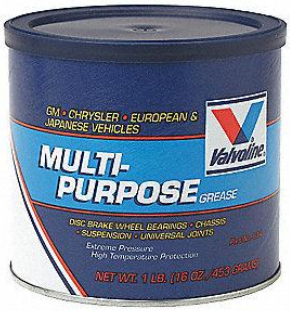
Es importante aclarar que la información suministrada del costo de instalar una electrolinera hace parte de los costos de producción y no de operación (objetivo del presente estudio), entonces se considera de carácter informativo y complementario a los demás costos consultados.

6.1.1.3 Lubricantes

Los lubricantes son los aceites necesarios para evitar que el motor sufra desgastes prematuros o daños por acción del rozamiento, desgaste o el calentamiento de sus

elementos, el consumo del lubricante depende del tamaño del motor y las partes involucradas.

Tabla 24. Precios de los lubricantes para ambos buses en estudio.

Bus Eléctrico	**Bus Combustión**
Aceite GL-5 SAE 75W/90	Aceite Valvoline 15W40
Cantidad: 9 litros	Cantidad:13 1/4
Sistema: Motor	Sistema: Motor
Cambio: Cada 20.000 Km	Cambio: Cada 7.000 km
PRECIO: $750.000	**PRECIO: $221.000**
Pentosin CHF 202	Grasa Valvoline
	
Cantidad: 9 litros	Cantidad:1 libra por rueda
Sistema: Dirección Hidráulica	Sistema: Rodamientos
Cambio: Cada 20.000 Km	Cambio: Cada 7.000 km
PRECIO: $730.000	**PRECIO: $60.000**
Chevron punto de congelación 43	Refrigerante Simoniz

Cantidad: 16 litros	Cantidad: 2 litros
Sistema: Enfriamiento motor	Sistema: Enfriamiento motor
Cambio: Cada 20.000 Km	Cambio: Cada 7.000 km
PRECIO: $330.000	**PRECIO: $35.000**
TOTAL CAMBIO LUBRICANTES	**TOTAL CAMBIO LUBRICANTES**
$1.810.000	**$316.000**

Elaboración propia

En la tabla 24 se registraron, el tipo de lubricantes descritos en el manual técnico del bus eléctrico, el cual en el capítulo VI: Mantenimiento, hace referencia a la lista de productos de aceite (liquido) para el sistema de chasis. Por su parte los lubricantes considerados para el bus a combustión fueron referidos por el mecánico encargado de realizar el mantenimiento al bus a combustión, lo anterior debido a que en el manual técnico no se encontraba dicha información al detalle. También, se considera que teniendo en cuenta la presentación disponible en el mercado de cada lubricante, se realiza el cálculo del precio total del cambio de aceite, con las cantidades necesarias y en el período de cambio considerado en kilómetros recorridos.

Es así como al comparar los precios entre los lubricantes necesarios para ambos buses, se determina que resulta el 83% más económico el cambio de lubricantes en el bus a combustión que en el bus eléctrico.

Es de considerar, que los precios de los lubricantes fueron cotizados en el almacén Distribuidora de Repuestos – Suministros y Mantenimiento en el área automotriz e industrial, NIT 1053800057-6 régimen común, ubicado en la calle 21 #10-44 Parque Liborio de la ciudad de Manizales

6.1.1.4 Llantas y/o neumáticos

Las llantas forman parte de los sistemas de suspensión, frenos y dirección del automóvil e influyen de manera decisiva en la seguridad, maniobrabilidad, manejo general del vehículo e incluso en el consumo de combustible, según se describe en el manual técnico de información – técnica de neumáticos CONAE México (Referencia)

El costo de este insumo es uno de más difíciles de estimar debido a que se ve afectado por un gran número de variables que afectan el rubro: velocidad de conducción, posición de la llanta, estado de las carreteras, peso de la carga, entre otros; además su desgaste depende directamente de la distancia recorrida, sin embargo la cuantificación de dicho gasto en el presente estudio se dificulta debido a que el bus a combustión realiza rutas diferentes los fines de semana, en las cuales contribuye al desgaste de las llantas de una manera más acelerada

Tabla 25. Precios de las llantas para ambos buses en estudio.

Bus Eléctrico	**Bus Combustión**
285/70 R19.5	**235/75 R17.5**
Cantidad: 6 llantas + 1 llanta de repuesto	Cantidad: 6 llantas + 1 llanta de repuesto
Cambio: Cada 16 meses	Cambio: Cada 16 meses
TOTAL: $9.372.300	**TOTAL: $9.764.300**

Elaboración propia

Los precios de la tabla 25 fueron obtenidos de la página web de compras neumarket.com y hacen referencia a precios del mes de Junio de 2019, sin embargo el precio varía de acuerdo al precio del dólar a nivel mundial. En la tabla 25 además, el precio total de cambio de las llantas, el cual considera las 7 UND, se asume completo, aunque en la realidad éstas se roten o se compren por unidades y no por juego completo, lo cual depende del desgaste.

Es así como la diferencia entre el precio del juego de llantas del bus eléctrico y el bus a combustión es de apenas el 4%, debido a que el cambio es total y no parcial.

6.1.1.5 Filtros

La función del filtro de combustible es proteger tanto el sistema de inyección como los componentes del motor contra partículas de suciedad como polvo, óxido, agua y otros residuos presentes en el tanque. Es así como los filtros Diesel se utilizan tanto para eliminación de impurezas como para separación del agua existente en el combustible Diesel, lo anterior según el manual de filtro Bosch en la actualización de Diciembre de 2011(Bosch, 2011).

Los buses de combustible diesel además de tener filtro de combustible (2 UND), también tiene filtro de aceite (1UND) y filtro de aire (1UND), los cuales se encuentras discriminados en la siguiente tabla:

Tabla 26. Precios de los filtros para ambos buses en estudio

Bus Eléctrico	Bus Combustión
	Filtro de combustible
NO TIENE	
	Cantidad: 2 UND
	Cambio: Cada 7.000 km

	PRECIO: $63.000
	Filtro de aceite
NO TIENE	
	Cantidad: 1 UND
	Cambio: Cada 7.000 km
	PRECIO: $28.000
Filtro de aire	**Filtro de aire**
Cantidad: 1 UND	**Cantidad:** 1 UND
Cambio: Cada 7.000 km	**Cambio:** Cada 7.000 km
PRECIO: $65.000	**PRECIO:** $65.000
TOTAL CAMBIO FILTROS	**TOTAL CAMBIO FILTROS**
$65.000	**$156.000**

Elaboración propia

En la tabla 26 se describe que el bus eléctrico solo presenta un tipo de filtro en su estructura mecánica y es el filtro de aire, dicha especificación se encuentra contenida en el manual técnico, en la sección de consideraciones del mantenimiento - limpieza y cambio del filtro de aire; es así como comparando ambos costos totales del cambio de filtros, es más económico realizar este procedimiento preventivo en el bus eléctrico, pues presenta el 58% de ahorro respecto al bus a combustión.

Los precios de los filtros fueron cotizados en el almacén Distribuidora de repuestos – Suministros y mantenimiento en el área automotriz e industrial, NIT 1053800057-6 régimen común, ubicado en la calle 21 #10-44 Parque Liborio de la ciudad de Manizales.

6.1.1.6 Mantenimiento

Otro factor que es importante considerar, es el hecho de que el bus eléctrico durante el periodo del presente estudio aún se encontraba en garantía, por lo cual la empresa BYD le realizó una rutina de mantenimiento preventivo, la cual incluyó las siguientes actividades:

- Revisión tijeras de la suspensión delantera y trasera
- Revisión batería de baja
- Mantenimiento a las 4 mordazas
- Mantenimiento a los circuitos eléctricos
- Escaneo el sistema del vehículo

El mantenimiento correctivo fue asumido por la empresa CHEC y contempló los siguientes cambios:

- Cambio de aceite de los 2 reductores
- Cambio de pastillas
- Cambio filtro al aire acondicionado

El costo general de los anteriores mantenimientos es evaluado en $682.408, según datos suministrados por la empresa CHEC y costeados por ella misma, teniendo presente que dicho mantenimiento fue el primero que se realizó al bus eléctrico desde su adquisición en el año 2017.

6.1.1.7 Salarios y prestaciones básicas

La prestación del servicio de transporte a los trabajadores de la chec, constituye el recorrido por unas rutas denominadas rutas internas, en este caso, ruta la Sultana y la Enea, las cuales son recorridas por el bus eléctrico y de combustión respectivamente.

Al costear la actividad de transporte es necesario tener en cuenta el trabajo de todos los actores involucrados en la prestación del servicio y los costos en que se incurre y afectan de manera directa o indirecta la actividad. Es así como el salario del conductor está

constituido por el sueldo base que recibe, las prestaciones de ley que deben ser pagadas y los viáticos como factor de costo variable por el desarrollo de cada viaje (Álvarez Valencia, Grajales Medina 2015).

Tabla 27. Sueldo de los conductores de los buses en estudio.

Bus Eléctrico	Bus Combustión
Nómina contratista	Nómina Promotur SAS
Cantidad: 1 Conductor	Cantidad: 1 Conductor
Sueldo base: $1.486.404	Sueldo base: 828.116
TOTAL: $1.486.404	**TOTAL: $828.116**

Elaboración propia

Es importante resaltar que los sueldos incluyen todas las prestaciones sociales que por ley el empleador está obligado a pagarle al empleado, el cual es el 25% a partir del sueldo base, y el restante 8% es asumido por el empleado. Además, en la tabla 27 se evidencia que el conductor del bus eléctrico devenga un sueldo mayor que el conductor del bus a combustión, debido a que debe estar capacitado en el tema y en el funcionamiento del bus, como acción preventiva ante cualquier eventualidad.

6.1.1.8 Servicios de estación

Los servicios de estación considerados en la Resolución 4350 de 1998 son: Lavado en general, petrolizada, lavada de motor, engrase y lavada parcial o aseo, los cuales no fueron considerados debido a que dichos ítems no presentan distinción entre buses eléctricos y buses a combustión, pues es un tema de limpieza que no requiere especificaciones particulares de acuerdo al vehículo.

6.1.2 Costos fijos

Los costos fijos son aquellos que permanecen constantes dentro de un período determinado, sin importar si cambia el volumen de producción según lo define Rojas Medina 2007 en su libro Sistemas de costos – un proceso para su implementación; entre los costos fijos vehiculares pueden describirse los siguientes:

6.1.2.1 Garaje

Este costo no es considerado en el caso del vehículo eléctrico, al cual se le realizó el presente estudio, debido a que las instalaciones de la empresa sirven de parqueadero para éste, ya sea la subestación de la estación Uribe o la subestación del alta suiza. También cabe resaltar que el bus a combustión es subcontratado por la chec a la empresa Promotur SAS, por lo cual el valor de dicho costo se encuentra considerado en el monto total de la prestación del servicio de transporte, el cual tiene un costo de $89.850 por trayecto, precio integral en el cual incluyen todos los gastos del vehículo (conductor, combustible, mantenimiento, etc.); el precio descrito anteriormente fue suministrado por un profesional en el área de transportes de la CHEC.

6.1.2.2 Impuestos

La Ley 488 de 1998, en su artículo 141 establece: vehículos gravados. Están gravados con el impuesto los vehículos automotores nuevos, usados y los que internen temporalmente al territorio nacional, salvo los siguientes: a) Las bicicletas, motonetas y motocicletas con motor hasta de 125 c.c. de cilindrada, según lo argumentado por el Ministerio de Transporte, por lo cual los buses del presente estudio deben pagar impuestos obligatorios, los cuales se calculan tomando el valor del avalúo comercial del vehículo, según las características del mismo (marca, modelo, cilindraje, línea), determinado en la resolución del Ministerio de Transporte para cada año, en este caso la

Resolución No. 0005480 del 30 de noviembre de 2018, para determinar la base gravable del impuesto sobre vehículos automotores 2019 y para los impuestos del 2018 se recure al histórico de bases gravables para pago de impuestos de vehículos automotores, obteniendo los siguientes resultados

Tabla 28. Impuestos a pagar por los buses en estudio.

Bus Eléctrico	**Bus Combustión**
Impuestos 2018	**Impuestos 2018**
No aparece en lista la referencia BYD K7	Bus Chevrolet FRR 700P FORWARD 4X2 MT cilindraje 5193
PRECIO: $ 0	**PRECIO: $ 4.560.000**
Impuestos 2019	**Impuestos 2019**
No aparece en lista la referencia BYD K7	Bus Chevrolet FRR 700P FORWARD 4X2 MT cilindraje 5193
PRECIO: $ 0	**PRECIO: $ 116.650.000**
TOTAL IMPUESTOS	**TOTAL IMPUESTOS**
Año 2018: $0 **Año 2019: $0**	**Año 2018: $4.560.000** **Año 2019: $116.650.000**

Elaboración propia

La tabla 28 refleja el panorama esperado (exento del pago de impuestos), cuando por la iniciativa de la creación de incentivos que incrementen la venta de vehículos eléctricos, se aumenta su comercialización en el mercado colombiano

6.1.2.3 Seguros

Los seguros se convierten en un costo a tener en cuenta debido que son la garantía sobre posibles incidentes y/o accidentes a los cuales el vehículo (bus) está expuesto (Alvarez Valencia & Grajales Medina, 2015).

En Colombia existe el SOAT (Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito) el cual es un seguro obligatorio para todos los vehículos automotores (particulares y públicos) que transitan por el territorio nacional y ampara los daños corporales causados a las personas (conductor, pasajero, peatones) en caso de un accidente de tránsito.

Tabla 29. Precios de los seguros para ambos buses en estudio.

Bus Eléctrico	Bus Combustión
TODO RIESGO	**TODO RIESGO**
Cantidad: 1 UND	Cantidad: 1 UND
Aseguradora: Solidaria de Colombia	Aseguradora: Solidaria de Colombia
Vencimiento: Anual	Vencimiento: Anual
PRECIO: $5.200.000	**PRECIO: $ 2.500.000**
SOAT	**SOAT**
Cantidad: 1 UND	Cantidad: 1 UND
Aseguradora: Suramericana	Aseguradora: Seguros Mundial
Vencimiento: Anual	Vencimiento: Anual
PRECIO: $ 806.250	**PRECIO: $942.550**
REVISIÓN TECNICO MECÁNICA	**REVISIÓN TECNICO MECÁNICA**
NO TIENE	Cantidad: 1 UND
	Aseguradora: Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible
	Vencimiento: Anual
PRECIO: $0	**PRECIO: $198.250**
TOTAL SEGUROS	**TOTAL SEGUROS**
$ 6.006.250	**$ 3.442.550**

Elaboración propia

En la tabla 29 se realiza un comparativo de los seguros que deben adquirir los bues, teniendo en cuenta las características específicas en la cuales se incluye cilindraje, modelo, etc. Es así como se conserva la misma aseguradora al momento de consultar el costo del seguro, debido a que con este factor estandarizado se pueden comparar los precios de un bus respecto al otro.

Del anterior análisis, solamente resulta un caso único de no comparación, el seguro todo riesgo para el bus eléctrico, debido a que no todas las aseguradoras del país aseguran vehículos eléctricos debido a su conformación y funcionamiento diferente. Analizar diferencia de precios

En la Gráfica 14, se especifican las coberturas, según lo establecido por la Superintendencia Financiera de Colombia para el año 2019:

Gráfica 14. Cobertura del seguro SOAT. Vehículo a combustión. Extracción de ficha de precios oficial para el 2019.

Cobertura	Cuantía	Valor en Pesos
Gastos de transporte y movilización de las víctimas [1]	10 SMLDV	276.039
Gastos médicos, quirúrgicos, farmacéuticos y hospitalarios	Hasta 800 SMLDV	22.083.093
Incapacidad Permanente [2]	Hasta 180 SMLDV	4.968.696
Muerte de la víctima [3] y gastos funerarios	750 SMLDV	20.702.900

[1] El transporte y movilización de las víctimas a los establecimientos hospitalarios o clínicos se debe hacer preferiblemente en ambulancias o vehículos adecuadamente dotados para este tipo de servicios, garantizando la atención oportuna y efectiva de la víctima.
[2] Entendiéndose por tal la prevista en los artículos 209 y 211 del Código Sustantivo del Trabajo.
[3] Siempre y cuando ocurra dentro del año siguiente a la fecha del accidente.

Salario 2019	Monto
Mensual	828.116
Diario	27.603

Elaboración propia

Por su parte el bus eléctrico, por su conformación totalmente eléctrica a base de baterías, no se encuentra dentro de las clasificaciones para la adquisición de un seguro que lo ampare de incidentes y/o accidentes que puedan ocurrir, sin embargo después de realizar el trámite por parte de CHEC, el bus eléctrico cuenta con SOAT y con un seguro todo riesgo adquirido en la Aseguradora Solidaria de Colombia

A partir del análisis de los costos fijos y variables realizados anteriormente, se pretende comparar y dar una conclusión en porcentaje de ahorro de los gastos de un bus respecto al otro, teniendo en cuenta que los precios considerados son reales y vigentes al mes de Junio de 2019.

Finalmente, en la tabla 30 se consolidan los resultados de los cálculos de los costos de operación, teniendo en cuenta toda la información suministrada anteriormente.

Tabla 30. Recopilación de costos fijos y costos variables. Bus eléctrico y bus a combustión.

COSTOS DE OPERACIÓN MENSUAL				
TIPO DE COSTOS	TIPO DE BUS			
	BUS ELECTRICO		BUS COMBUSTION	
COSTOS FIJOS	**$**	**2.668.866**	**$**	**3.148.235**
SEGUROS	$	500.054	$	286.879
SALARIOS	$	1.486.404	$	828.116
PARQUEADERO	$	-	$	413.310
IMPUESTOS	$	-	$	380.000
MANTENIMIENTO	$	682.408	$	1.239.930
COSTOS VARIABLES	**$**	**1.862.014**	**$**	**4.979.369**
COMBUSTIBLE	$	942.078	$	4.133.100
LLANTAS	$	585.769	$	610.269
LUBRICANTES	$	301.667	$	158.000
FILTROS	$	32.500	$	78.000
TOTAL	**$**	**4.530.880**	**$**	**8.127.604**

Elaboración propia

La información registrada en la tabla 30 se calculó siguiendo el siguiente procedimiento, de acuerdo a la clasificación de los costos establecida en la Resolución 4350 de 1998 y a la investigación de los precios y el rendimiento o frecuencia de cambio de los insumos.

Costos fijos

- Seguros: Los precios de los seguros fueron obtenidos del documento físico que de ellos emite la aseguradora y/o empresa correspondiente. Debido a que los seguros tienen una vigencia anual, entonces se realizó la equivalencia de precio, para conocer el precio mensual, utilizando la fórmula 2 y la fórmula 3.

→ Bus eléctrico

Fórmula 2: Cálculo del precio mensual del seguro. Bus eléctrico

$$\text{Seguro mensual } (\$) = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 6.006.250}{12 \text{ meses}}$$

$$\text{Seguro mensual } (\$) = \$\ 500.054$$

Elaboración propia

→ Bus combustión

Fórmula 3: Cálculo del precio mensual del seguro. Bus a combustión.

$$\text{Seguro mensual } (\$) \ = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 3.442.550}{12 \text{ meses}}$$

$$\text{Seguro mensual } (\$) = \$\ 286.879$$

Elaboración propia

- Salarios: El valor de los salarios de los conductores de los buses fueron informados por parte de la empresa CHEC para el caso del bus eléctrico y por parte de la empresa Promotur para el bus de combustión. Dichos precios equivalen al sueldo mensual que recibe el empleado por parte de las empresas en mención.

- Parqueadero y mantenimiento: A partir del precio por trayecto de ruta, contratado por CHEC con la empresa Promotur, es decir $89.850, se realiza la distribución proporcional registrada en la tabla 31, en la cual se considera el valor de un día de ruta para el bus a combustión, es decir 4 recorridos. A partir del precio diario se calcula el precio mensual, considerando el mes con 23 días laborales, de lunes a viernes, en los cuales el bus se encuentra cubriendo ruta. La distribución proporcional de los costos considerados, es decir, el combustible diesel, el conductor, el parqueadero y el mantenimiento, se deben a un criterio propio a partir de lo comunicado por personal del área de transportes de la empresa CHEC.

  Es importante mencionar que el precio mensual del conductor no se consideró en los cálculos, debido que de éste ítem se analiza a partir del sueldo mensual.

Tabla 31. Distribución de costos a partir del precio contratado entre Chec y Promotur SAS. Bus a combustión.

PRECIO CONTRATADO CON PROMOTUR		1 DÍA	1 MES
		$ 359.400	**$ 8.266.200**
Diesel	50%	$ 179.700	$ 4.133.100
Conductor	20%	$ 71.880	$ 1.653.240
Parqueadero	5%	$ 17.970	$ 413.310
Mantenimiento	25%	$ 89.850	$ 2.066.550

Elaboración propia

- Impuestos: Los precios de los impuestos fueron consultados en el histórico de bases gravables para el pago de impuestos de vehículos automotores emitido por el Ministerio de Transporte. Las bases gravables se clasifican de acuerdo al tipo de vehículo, en este caso se consideran, vehículos de pasajeros y vehículos eléctricos; dichas tablas están divididas según el año gravable y en ellas se considera la clase, marca, línea, cilindraje y modelo del vehículo.

  Debido a que los impuestos tienen una vigencia anual, entonces se realizó la equivalencia de precio, para conocer el precio mensual, utilizando la fórmula 4.

→ Bus eléctrico: El bus eléctrico considerado en el presente estudio no se encuentra en las especificaciones descritas de la base gravable de los vehículos eléctricos e híbridos, por lo tanto se considera que su precio es $0.

→ Bus combustión

Fórmula 4: Cálculo del precio mensual del impuesto. Bus a combustión.

$$\text{Impuesto mensual } (\$) = \frac{1 \text{ mes} * \$\, 4.560.000}{12 \text{ meses}}$$

$$\text{Impuesto mensual } (\$) = \$\ 380.000$$

Elaboración propia

Costos variables

- Combustible:

→ Bus eléctrico: El precio del Kw mensual para el bus eléctrico, fue considerado a partir de la tarifa industrial y comercial de energía eléctrica del mercado regulado, emitidas mensualmente por Empresas Públicas de Medellín E.S.P, dicho precio promedio para el año 2019 corresponde a $618.04, sin embargo según información suministrada por la empresa CHEC, el precio de venta del Kw de energía en la electrolinera de su propiedad es de $658.99, es decir el 6.2% más costoso. Por otro lado, la cantidad de Kw consumidos durante el mes fue extraído de la tabla 32, la cual corresponde a los registros de carga diligenciados por personal de la CHEC, en el periodo de tiempo de toma de datos del bus eléctrico. Es importante tener presente que la longitud total recorrida en ruta por el bus fue de 1459.2 Km, en un total de 114 recorridos, transportando 1489 pasajeros.

Tabla 32. Registro de carga con fecha y porcentaje de carga. Bus eléctrico.

FECHA DE CARGA	CARGA	PORCENTAJE DE CARGA
30-may	20	49%
31-may	109,6	100%
05-jun	93,8	100%
06-jun	101,1	100%
08-jun	96,4	100%
12-jun	109,6	100%
15-jun	114,9	100%
18-jun	111,6	100%
20-jun	104,1	100%
22-jun	48,5	88%
25-jun	97,6	83%
10-jul	121,1	100%
13-jul	104	100%
17-jul	98,2	100%
18-jul	93,6	100%
23-jul	100,2	100%
TOTAL	**1524,3**	

Elaboración propia

→ Bus combustión: El precio del combustible mensual para el bus a combustión, fue considerado a partir de la proyección realizada en la tabla 31, lo anterior debido a que los registros en planilla diligenciados por el conductor presentan ausencia de información, entonces para no realizar proyecciones irreales, no se consideran dichos datos. Sin embargo, es importante tener presente que la longitud total recorrida en ruta por el bus fue de 2.402,7 Km, en un total de 171 recorridos, transportando 3.629 pasajeros.

- Llantas: El precio de las llantas fue consultado en la página web de la empresa Continental, la cual es una empresa alemana fabricante de llantas. Para ambos buses se considera un juego de llantas de 7 unidades, incluida la llanta de repuesto, con una frecuencia de cambio de 16 meses aproximadamente, según dato de personal profesional del almacén Distribuidora de Repuestos. Debido a lo anterior se realiza el cálculo para considerar el costo mensual de las llantas en las fórmulas 5 y 6 sin considerar el porcentaje de desgaste que puedan presentar.

→ Bus eléctrico:

Fórmula 5: Cálculo del precio mensual de las llantas. Bus eléctrico.

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 9.372.300}{16 \text{ meses}}$$

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \$\ 585.769$$

Elaboración propia

→ Bus a combustión:

Fórmula 6: Cálculo del precio mensual de las llantas. Bus a combustión.

$$\text{Llantas mensuales } (\$) \ = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 9.764.300}{16 \text{ meses}}$$

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \$\ 610.269$$

Elaboración propia

- Lubricantes:

→ Bus eléctrico: Los lubricantes considerados para el bus eléctrico fueron extraídos de la información contenida en el manual técnico de éste, al igual que su nombre y frecuencia de cambio. El precio de éstos se calculó teniendo en cuenta que la frecuencia de cambio especificada es cada 20.000km, cifra que se proyecta en tiempo, obteniéndose un valor de 6 meses, es decir que con los precios cotizados en la tabla 24, se considera que el insumo durará un periodo de 6 meses. Los cálculos se realizan con la fórmula 7.

Fórmula 7: Cálculo del precio mensual de los lubricantes. Bus eléctrico.

$$\text{Lubricantes mensuales } (\$) \ = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 1.810.000}{6 \text{ meses}}$$

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \$\ 301.667$$

Elaboración propia

→ Bus a combustión: Los lubricantes considerados para el bus a combustión fueron suministrados por personal profesional del almacén Distribuidora de Repuestos, al igual que su frecuencia de cambio. El precio de éstos se calculó teniendo en cuenta que la frecuencia de cambio recomendada es cada 7.000km, cifra que se proyecta en tiempo, obteniéndose un valor de 2 meses, es decir que con los precios cotizados en la tabla 24, se considera que el insumo durará un periodo de 2 meses. Los cálculos se realizan con la fórmula 8.

Fórmula 8: Cálculo del precio mensual de los lubricantes. Bus a combustión.

$$\text{Lubricantes mensuales } (\$) = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 316.000}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \$\ 158.000$$

Elaboración propia

- Filtros:

→ Bus eléctrico: El filtro especificado en el manual técnico del bus eléctrico es solo el filtro de aire. Dicho filtro presenta características semejantes al filtro con la misma especificación pero del bus a combustión, debido a lo anterior, la frecuencia de cambio que se considera es la misma que la del bus a combustión, es decir cada 7.000 Km, cifra que se proyecta en tiempo, obteniéndose un valor de 2 meses, es decir que con los precios cotizados en la tabla 26, se considera que el insumo durará un periodo de 2 meses. Los cálculos se realizan con las fórmulas 9 y 10.

Fórmula 9: Cálculo del precio mensual de los filtros. Bus eléctrico.

$$\text{Filtros mensuales } (\$) = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 65.000}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \$\ 32.500$$

Elaboración propia

→ Bus a combustión: Los filtros considerados para el bus a combustión fueron extraídos del manual técnico de dicho bus, sin embargo el nombre y su especificación fue información suministrada por personal profesional del almacén distribuidora de repuestos. La frecuencia de cambio es de cada 7.000 Km, cifra que se proyecta en tiempo, obteniéndose un valor de 2 meses, es decir que con los precios cotizados en la tabla 26, se considera que el insumo durará un periodo de 2 meses. Los cálculos se realizan con las fórmulas 15 y 16.

Fórmula 10: Cálculo del precio mensual de los filtros. Bus a combustión.

$$\text{Filtros mensuales } (\$) = \frac{1 \text{ mes} * \$\ 156.000}{2 \text{ meses}}$$

$$\text{Llantas mensuales } (\$) = \$\ 78.000$$

Elaboración propia

Finalmente se suman los costos fijos y los costos variables de cada bus, proceso realizado en la tabla 30. Seguidamente se calcula el porcentaje que representa un valor respecto al otro, obteniéndose la información registrada en la tabla 33, de la cual se interpreta que el bus eléctrico es el 49% más económico que el bus a combustión, en lo que se refiere a costos de operación.

Tabla 33. Análisis del porcentaje de ahorro de costos entre los buses en estudio.

TOTAL COSTOS FIJOS MENSUALES			% AHORRO DE COSTOS
Bus electrico	$	4.530.880	49%
Bus a combustión	$	8.954.224	

Elaboración propia

6.2 Análisis de accesibilidad

A partir del vector de tiempo mínimo de viaje obtenido en el software TransCAD 4.5, el cual corresponde a la columna de la matriz creada (es subjetiva la elección de la sumatoria de las filas o de las columnas debido a que son tiempos promedio), se procede a obtener las curvas isócronas así:

Se exporta la tabla de atributos de los end points (archivo de TransCAD), es decir los nodos que conforman la red, la cual contiene coordenadas de longitud y de latitud de dichos nodos. Seguidamente se crea la tabla que se exportará al ArcMap (en formato libro de Excel 97-2003) para que sea identificada por el software y así proceder con la obtención de las curvas isócronas a través de un análisis geoestadístico en dicho software.

En el presente estudio se realizan dos accesibilidades medias globales, correspondientes al bus eléctrico y al bus de combustión, adicional a esto, se realizan tres accesibilidades medias integrales, debido a los sitios en donde se tiene proyectado construir las electrolineras públicas en la ciudad de Manizales y finalmente se realiza una accesibilidad media integral conjunta, en la cual se incluyen simultáneamente las tres electrolineras.

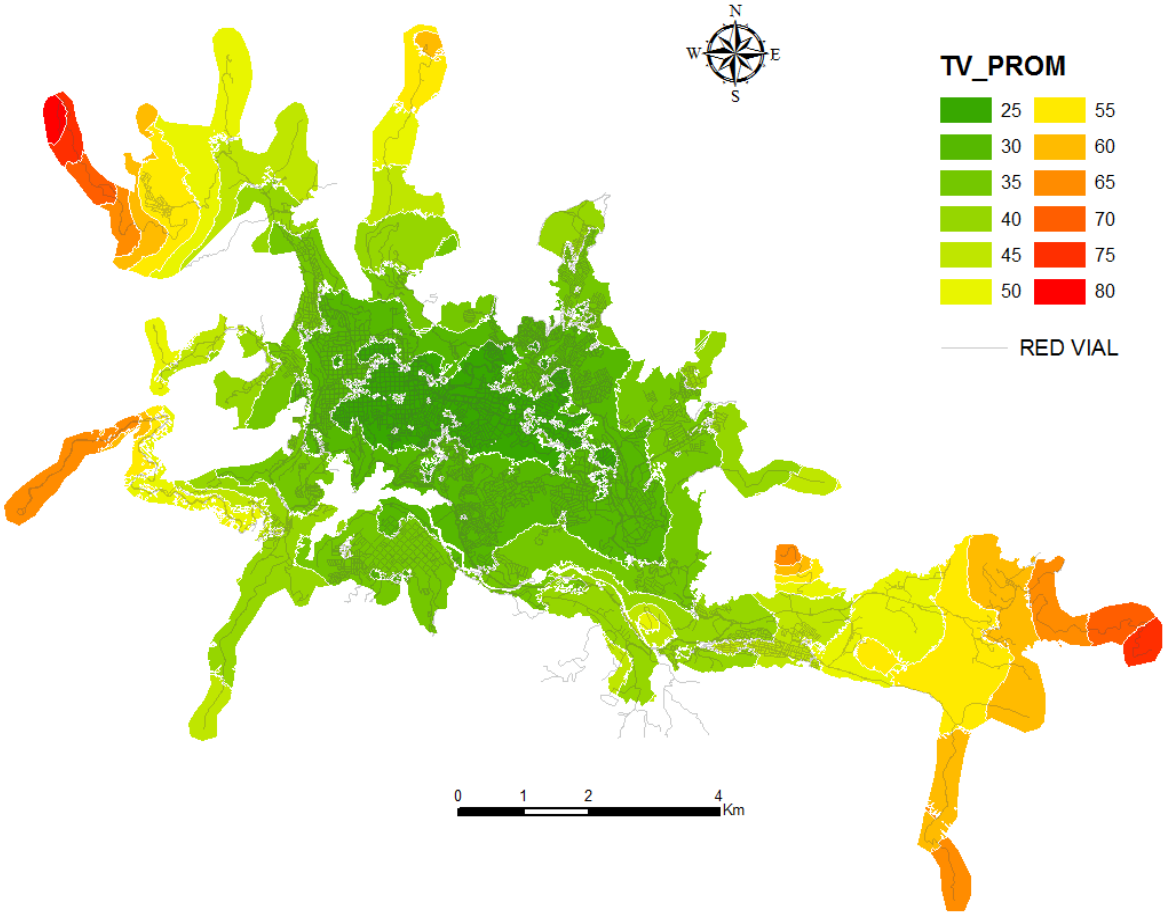
Es importante indicar que el vector de tiempo mínimo de viaje para la accesibilidad media integral fue obtenido en el software ArcMap, mientras que el mismo vector para el cálculo de la accesibilidad media global se obtuvo del software TranCAD, lo anterior debido al tamaño de la matriz resultado y de la cantidad de iteraciones a realizarse, pues en la accesibilidad media integral, es solo uno el nodo destino, mientras que, en la accesibilidad media global es n-1, es decir la totalidad de los nodos menos él mismo.

Finalmente para el cálculo de las accesibilidades descritas anteriormente, se consideraron penalizaciones de giro a la izquierda, giro a la derecha y giro en U, lo cual equivale a añadir un tiempo de más al realizar alguna de éstas acciones, es así como para el giro a la izquierda la penalidad es de 34 segundos, para el giro a la derecha de 29 segundos y el giro en U se prohíbe completamente (Cardona Urrea, 2018).

A continuación se presentan las gráficas de las curvas isócronas obtenidas para todas las accesibilidades realizadas:

6.2.1 Accesibilidad Media Global Bus Eléctrico

Gráfica 15. Curvas isócronas. Accesibilidad media global. Bus eléctrico



Elaboración propia

En la gráfica 15 se evidencian las curvas isócronas que representan los tiempos de viaje si el transporte público de la ciudad de Manizales fuera eléctrico, los cuales se encuentran en un intervalo entre los 25 minutos y los 80 minutos.

Dentro de los resultados más relevantes se encuentra que el tiempo promedio de viaje mínimo es de 25 minutos, el cual se da en lugares cerca al centro y en los alrededores de la Av. Paralela y la Av. Santander, cuya curva isócrona de accesibilidad cubre el 21.16% del área de la ciudad y al 23.52% de la población, según los datos que se encuentran registrados en la tabla 34.

Tabla 34. Porcentaje de cobertura de área y de población de las curvas isócronas de accesibilidad media global. Bus eléctrico.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
25	21,16%	21,16%	23,52%	23,52%
30	40,38%	61,53%	41,31%	64,84%
35	24,33%	85,86%	25,18%	90,02%
40	7,37%	93,23%	5,68%	95,70%
45	4,70%	97,94%	3,26%	98,96%
50	0,46%	98,40%	0,20%	99,16%
55	1,22%	99,62%	0,62%	99,78%
60	0,24%	99,86%	0,12%	99,90%
65	0,14%	100,00%	0,10%	100,00%

Elaboración propia

En la tabla 34 además se interpreta que con tiempos de viaje entre 25 minutos y 35 minutos, la cobertura de la población es del 90.02%, es decir 381.051 personas (ver tabla 32), con un porcentaje de área cubierta en el mapa del 85.86%.

Por su parte, con un tiempo de viaje de 40 minutos, solo se desplazan 24.038 personas, pertenecientes en un 11.91% al estrato I, siendo el mayor número de personas, en comparación con los demás estratos que tienen registro en dicha curva isócrona, los anteriores datos son obtenidos de la tabla 35, en la cual se clasifica la población de la ciudad por estratos de acuerdo al tiempo mínimo de viaje.

Las curvas isócronas de accesibilidad entre 45 minutos y 55 minutos abarcan solo el 6.38% del área en el mapa, con una población de 17.272 personas, la cual representa el 4.08% del total de población de la ciudad.

En la tabla 35 es importante analizar que con un tiempo de viaje mínimo de 55 minutos hasta 65 minutos, no se desplaza población perteneciente a los estratos III, IV y V, debido a que la totalidad de personas ya se desplazó en menores tiempos de viaje.

Por otro lado, los tiempos de viaje entre 70 minutos y 80 minutos se presentan en lugares donde no se encuentran registros de población, es decir en zona rural de las vereda La Linda, San Peregrino y La Esperanza.

Tabla 35. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media global. Bus eléctrico.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	ESTRATO						TOTAL GENERAL
	I	II	III	IV	V	VI	
25	8667	14832	47791	16175	7281	4824	99569
30	19528	49355	65984	19438	7248	13325	174878
35	13454	26797	49190	13350	461	3352	106604
40	5756	3148	10793	1536	441	2363	24038
45	273	528	10810	2033	0	149	13793
50	24	266	29	0	0	518	838
55	187	2295	0	0	0	159	2641
60	297	65	0	0	0	130	493
65	158	70	0	0	0	207	435
TOTAL POR ESTRATOS	48344	97356	184598	52531	15431	25028	**423289**

Elaboración propia

El porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas, obtenidas de la accesibilidad media global del bus eléctrico, se resume en la tabla 36, en la cual dicho porcentaje de la población está acumulado. En esta tabla se interpreta que la población del estrato I, II y VI son los que más se demoran en desplazarse por la red de transporte publico eléctrico, pues el tiempo medio de viaje en el cual la totalidad de la población perteneciente a dichos estratos se moviliza, es de 65 minutos; mientras que el estrato V presenta el menor tiempo de viaje con 40 minutos para una cobertura del 100% de su población, por otro lado la población del estrato IV tarda 5 minutos más en comparación con el estrato V, es decir que su tiempo medio de viaje es de 45 minutos y finalmente las 184.598 personas pertenecientes al estrato III tardan 50 minutos en desplazarse.

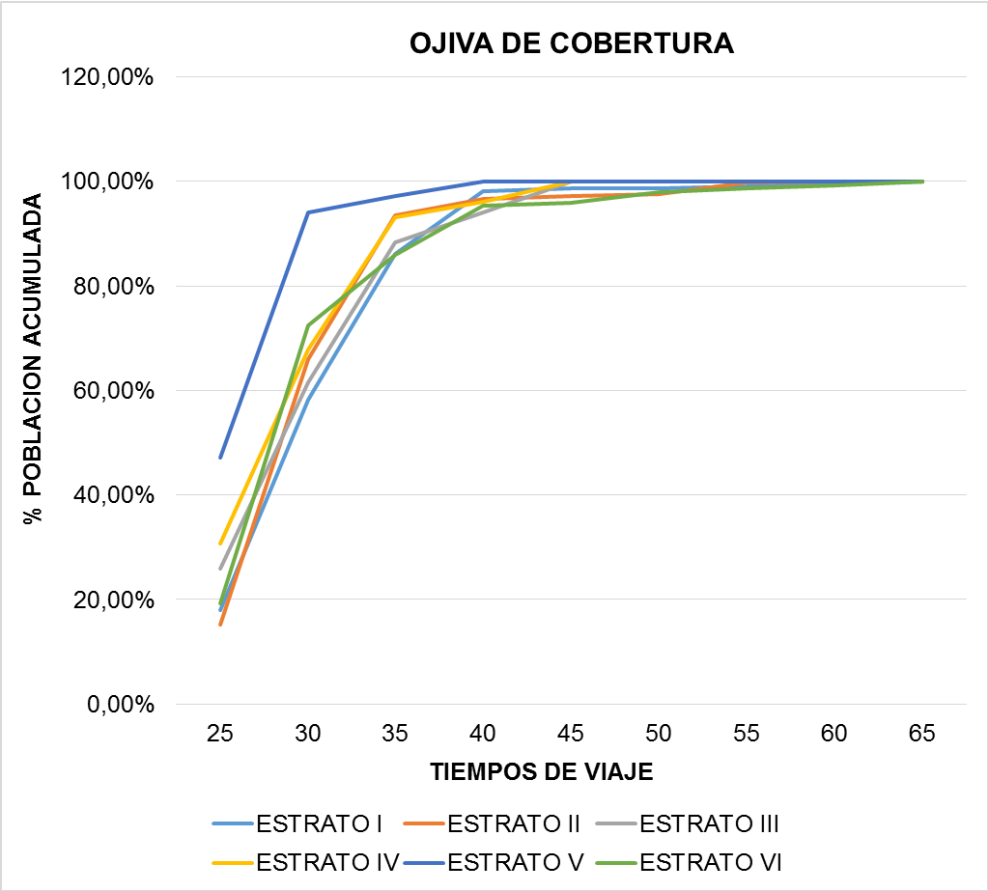
Tabla 36. Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Accesibilidad media global. Bus eléctrico

PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
25	17,93%	15,24%	25,89%	30,79%	47,18%	19,27%
30	58,32%	65,93%	61,63%	67,79%	94,15%	72,51%
35	86,15%	93,46%	88,28%	93,21%	97,14%	85,91%
40	98,06%	96,69%	94,13%	96,13%	100,00%	95,35%
45	98,62%	97,23%	99,98%	100,00%	100,00%	95,95%
50	98,67%	97,50%	100,00%	100,00%	100,00%	98,02%
55	99,06%	99,86%	100,00%	100,00%	100,00%	98,65%
60	99,67%	99,93%	100,00%	100,00%	100,00%	99,17%
65	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaboración propia

Los datos descritos en la tabla 36 también puede evidenciarse en la gráfica 16, la cual representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico; en dicha gráfica se evidencia que aproximadamente el 95% de la población perteneciente al estrato V puede movilizarse con un tiempo mínimo de viaje de 30 minutos, siendo el valor máximo de cobertura de la población respecto a los demás estratos y en el mismo tiempo.

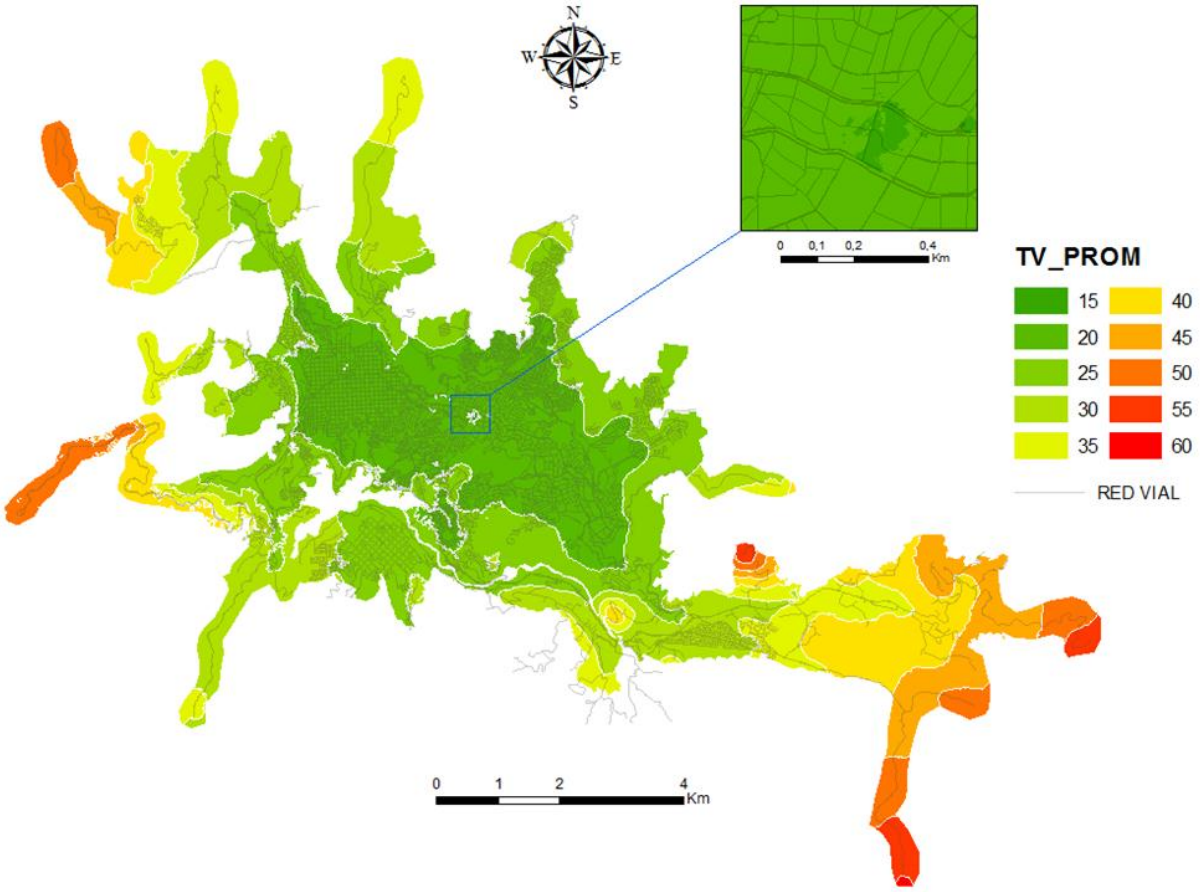
Gráfica 16. Ojiva de cobertura. Accesibilidad media global. Bus eléctrico.



Elaboración propia

6.2.2 Accesibilidad Media Global Bus a Combustión

Gráfica 17. Curvas isócronas. Accesibilidad media global. Bus a combustión.



Elaboración propia

La gráfica 17 representa los tiempos de viaje promedio en la ciudad haciendo uso de transporte público a combustión, los cuales se encuentran en el intervalo de 15 minutos a 60 minutos, es decir 20 min menos si la flota de buses fuera eléctrica, debido a que las

velocidades a las que transita el bus a combustión son mayores que a las que transita el bus eléctrico.

También en la gráfica 17 se resalta la zona con mejor accesibilidad, la cual presenta un tiempo promedio de viaje de 15 minutos. Dicha zona corresponde al sector en el que se encuentra la Universidad de Caldas, facultad de medicina, entre la Av. Santander y la Av. Paralela.

En la tabla 37 se evidencia que el tiempo promedio de viaje mínimo es de 15 minutos, mientras que el máximo es de 55 minutos, sin embargo la curva isócrona correspondiente a los 60 minutos no se encuentra explicita en la tabla, pero si graficada en la figura 6, debido a que existe la red de transporte publico pero no hay registro de población, por lo cual los porcentajes de cobertura presentados en la tabla 34 tienen la ausencia de este dato.

Tabla 37. Porcentaje de cobertura de área y de población de las curvas isócronas de accesibilidad media global. Bus a combustión.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
15	0,11%	0,11%	0,03%	0,03%
20	55,15%	55,26%	58,81%	58,85%
25	32,65%	87,91%	32,52%	91,37%
30	8,44%	96,35%	6,46%	97,83%
35	2,77%	99,12%	1,66%	99,49%
40	0,60%	99,72%	0,33%	99,82%
45	0,18%	99,90%	0,11%	99,92%
50	0,05%	99,95%	0,03%	99,96%
55	0,05%	100,00%	0,04%	100,00%

Elaboración propia

En la tabla 37 además se interpreta que con tiempos de viaje entre 15 minutos y 25 minutos, la cobertura de la población es del 91.37%, es decir 386.757 personas (ver tabla 36), con un porcentaje de área cubierta en el mapa del 87.91%.

Por su parte, casi la totalidad de la población, es decir el 99.49%, se moviliza con un tiempo mínimo de viaje de 35 minutos. También es importante nombrar que con un tiempo de viaje de 40 minutos, solo se desplazan 1.386 personas, pertenecientes en un 0.64% al estrato II, siendo el mayor número de personas, en comparación con los demás estratos que tienen registro en dicha curva isócrona, los anteriores datos son obtenidos de la tabla 38 en la cual se clasifica la población de la ciudad por estratos de acuerdo al tiempo mínimo de viaje.

Las curvas isócronas de accesibilidad entre 45 minutos y 55 minutos abarcan un mínimo porcentaje del área del mapa, es decir el 0.28%, con una población de 770 personas, la cual representa el 0.18% del total de la población de la ciudad, es decir, que la población que tiene tiempos de viaje promedio más altos, es un porcentaje muy bajo de la población total.

Es así como a partir de lo anterior se concluye que el 91.34% de la población ocupa un área en el mapa del 87.8%, la cual está cubierta por las curvas isócronas de tiempo promedio de viaje de 20 minutos y 25 minutos, es decir que la mayoría de la población tarda estos tiempos en movilizarse.

Tabla 38. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media global. Bus a combustión.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**						**TOTAL GENERAL**
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	
15	0	0	24	53	43	22	143
20	22311	54893	106343	33480	14367	17548	248942
25	24822	35899	55611	15632	818	4890	137672
30	554	3533	19905	1730	203	1424	27349
35	14	2350	2715	1636	0	310	7025
40	388	623	0	0	0	375	1386
45	256	56	0	0	0	140	453
50	0	0	0	0	0	131	131
55	0	0	0	0	0	186	186
TOTAL POR ESTRATOS	48343	97354	184597	52531	15432	25028	**423286**

Elaboración propia

En la tabla 38 es importante analizar que con un tiempo de viaje mínimo de 40 minutos a 55 minutos, no se desplaza población perteneciente a los estratos III, IV y V, debido a que la totalidad de personas ya se desplazó en menores tiempos de viaje. También se evidencia que para el tiempo mínimo de viaje de 15 min no viaja ninguna persona del estrato I ni del estrato II, mientras que del estrato III, IV, V y VI viajan 143 personas.

El porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas, obtenidas de la accesibilidad media global del bus a combustión, se resume en la tabla 39, en la cual dicho porcentaje de la población esta acumulado. En esta tabla se interpreta que la población perteneciente al estrato I y al estrato II se demora en desplazarse 45 minutos por la red de transporte público a combustión, mientras que la población del estrato III y del estrato IV se moviliza en 35 minutos máximo. Por otro lado, el estrato V es el que presenta el menor tiempo de viaje, es decir que la población de dicho estrato tarda apenas 30 minutos de tiempo de viaje, contrario a lo anterior el estrato VI presenta la menor accesibilidad en comparación con los demás estratos socioeconómicos, debido a que el tiempo promedio de viaje es de 55 minutos, siendo el valor máximo representados en las curvas isócronas.

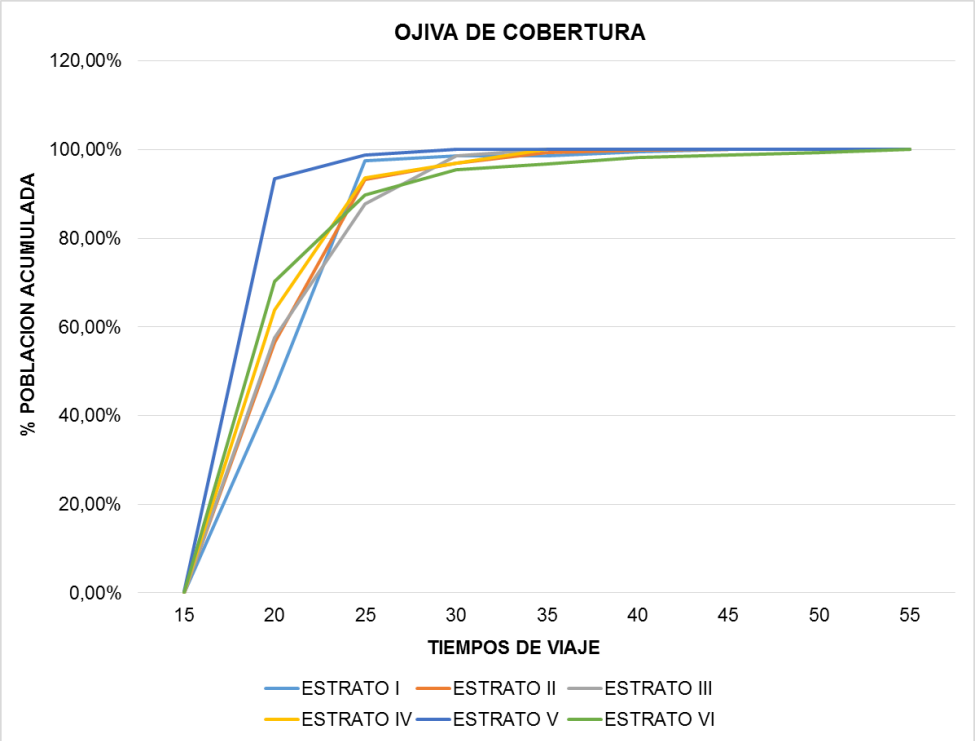
Tabla 39. Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Accesibilidad media global. Bus a combustión.

PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
15	0,00%	0,00%	0,01%	0,10%	0,28%	0,09%
20	46,15%	56,38%	57,62%	63,83%	93,38%	70,20%
25	97,50%	93,26%	87,75%	93,59%	98,69%	89,74%
30	98,64%	96,89%	98,53%	96,89%	100,00%	95,43%
35	98,67%	99,30%	100,00%	100,00%	100,00%	96,67%
40	99,47%	99,94%	100,00%	100,00%	100,00%	98,17%
45	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	98,73%
50	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,26%
55	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaboración propia

Los datos descritos en la tabla 39 también pueden evidenciarse en la gráfica 18, la cual representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico, en dicha gráfica se evidencia que ningún estrato presenta una cobertura poblacional para el tiempo de viaje mínimo de 15 minutos, sin embargo en el estrato V aproximadamente el 90% de la población se desplaza en un tiempo de 20 minutos, siendo el estrato con mayor cobertura en el menor tiempo de viaje promedio.

Gráfica 18. Ojiva de cobertura. Accesibilidad media global. Bus a combustión.



Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos de la accesibilidad media global para el bus eléctrico y para el bus a combustión, se realiza la comparación de las curvas isócronas correspondientes a un tiempo de viaje de 25 minutos, obteniéndose que la curva isócrona del bus eléctrico cubre el 21.16% del área mapa mientras que el bus a combustión cubre

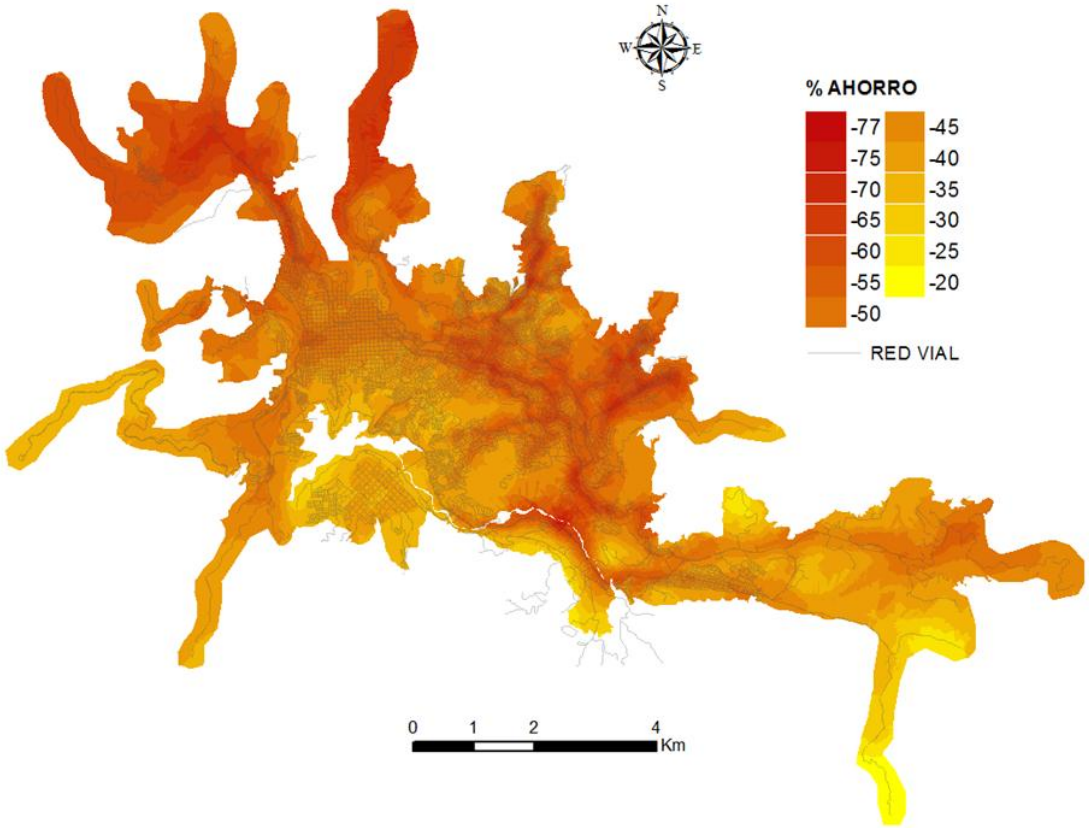
el 87.91%, lo que significa que el bus a combustión presenta considerablemente mayor área de cobertura y con ella mayor accesibilidad de la población a la red de transporte público urbano

6.2.3 Gradiente de ahorro entre la red del bus eléctrico y la red del bus a combustión

El cálculo del gradiente de ahorro se realiza con el fin de comparar las condiciones de la red de transporte público con buses eléctricos como panorama futuro y la misma red con buses a combustión como panorama actual. Dicho análisis conlleva a determinar la disminución o aumento en los tiempo de viaje promedio.

La comparación entre ambos escenarios permite ver la diferencia en porcentaje entre el vector de tiempos promedio de viaje de la accesibilidad media global calculada para el bus eléctrico y el vector de tiempos promedio de viaje de la accesibilidad media global calculada para el bus a combustión.

Gráfica 19. Gradiente de ahorro entre la red del bus eléctrico y el de combustión.



Elaboración propia

En la gráfica 19 se observan las curvas isócronas de gradiente de ahorro donde se observan porcentajes de diferencia entre 77% y 20%, evidenciándose una gran diferencia entre los vectores de tiempo promedio de viaje. Los resultados obtenidos muestran que la zona noroccidental de la ciudad es en la que varían en mayor proporción los tiempos de viaje.

También en la gráfica 19 se evidencia que los porcentajes de ahorro son valores negativos, esto debido a que los tiempos de viaje aumentan, es decir que el porcentaje no es de ahorro sino de pérdida de tiempo.

En la tabla 40 se evidencia, que respecto al intervalo de porcentajes presentados en la gráfica 19, los cuales se encuentran entre el 20% y el 77%, hace falta considerar el 20%, lo anterior debido a que en dicha zona la red vial existe, pero la información de población no, razón por la cual el intervalo de la tabla 38 se reduce de 25% a 77%.

Es así como en la tabla 40, el 44.04% de la población, es decir 186.434 personas, perciben un aumento en el tiempo de viaje entre el 50% y el 77%. También, la mayor población que experimenta un aumento en los tiempos de viaje es 24.48% para la cual el aumento en el tiempo de viaje es del 40%. Al analizar las curvas isócronas comprendidas entre 35% y 55% de aumento en el tiempo de viaje, se encuentra que corresponde al intervalo en el cual se encuentra el 90.52% de la población, 383.155 personas, es decir que la mayoría de la población percibe un aumento en el tiempo de sus recorridos dentro de dicho intervalo.

Cabe anotar también, que el porcentaje de aumento del tiempo de viaje promedio, con mayor área en el mapa, es 45%, seguido de 50% y 40%, siendo éstos los mayores porcentajes representados por las curvas isócronas.

Tabla 40. Porcentaje de cobertura de área y de población de las curvas isócronas del gradiente de ahorro.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA (%)	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
-77	0,004%	0,00%	0,00%	0,00%
-75	0,04%	0,04%	0,00%	0,00%
-70	0,98%	1,02%	0,35%	0,36%
-65	3,88%	4,90%	2,33%	2,68%
-60	9,06%	13,96%	6,38%	9,07%
-55	14,63%	28,59%	12,65%	21,72%
-50	21,51%	50,10%	22,32%	44,04%
-45	22,20%	72,30%	23,53%	67,58%
-40	20,16%	92,46%	24,48%	92,06%
-35	6,83%	99,30%	7,53%	99,59%
-30	0,60%	99,89%	0,32%	99,91%
-25	0,11%	100,00%	0,09%	100,00%

Elaboración propia.

A partir de un análisis poblacional, en el cual se intercepta el área de cobertura de las curvas isócronas obtenidas, con la variable estrato socioeconómico, se obtienen los resultados de la tabla 41, de los cuales es importante analizar que únicamente 16 personas del estrato I perciben un aumento en el tiempo de viaje del 75%. En dicha tabla,

también se analiza que para un porcentaje de aumento en el tiempo de viaje del 25%, un total de 90 personas del estrato IV y 288 del estrato VI, aprecian dicho aumento.
También se analiza el tiempo de viaje de 5 minutos, en el cual accede la menor cantidad de población a la electrolinera, con un total de 27 personas pertenecientes al estrato I.

Tabla 41. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas del gradiente de ahorro.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**						**TOTAL GENERAL**
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	
-77	0	0	0	0	0	0	0
-75	16	0	0	0	0	0	16
-70	51	454	829	12	72	74	1493
-65	254	2115	5504	958	493	530	9854
-60	1416	6695	9902	3774	3017	2222	27026
-55	4968	9316	13131	13265	5913	6959	53553
-50	13198	16988	36117	15566	5037	7587	94492
-45	10013	23852	49757	9384	693	5916	99614
-40	14105	27024	52601	8862	207	816	103616
-35	4296	10628	16219	325	0	412	31880
-30	26	283	534	296	0	223	1361
-25	0	0	0	90	0	288	379
TOTAL POR ESTRATOS	48343	97356	184596	52532	15431	25028	**423285**

Elaboración propia

El porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas, se resume en la tabla 42, en la cual se analiza que la población perteneciente al estrato I es la que más percibe el aumento en los tiempos de viaje, debido a que puede demorarse hasta el 75% más de tiempo en sus recorridos, lo anterior teniendo en cuenta que dicho valor es para que la totalidad de la población de dicho estrato se movilice.

Por su parte la totalidad de la población de los estratos II, III, IV y V tardan hasta 70% más de tiempo en los desplazamientos a través de la red de transporte público de la ciudad cuando este sea eléctrico, en comparación con el actual, el cual es a combustión.

Tabla 42. Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Gradiente de ahorro.

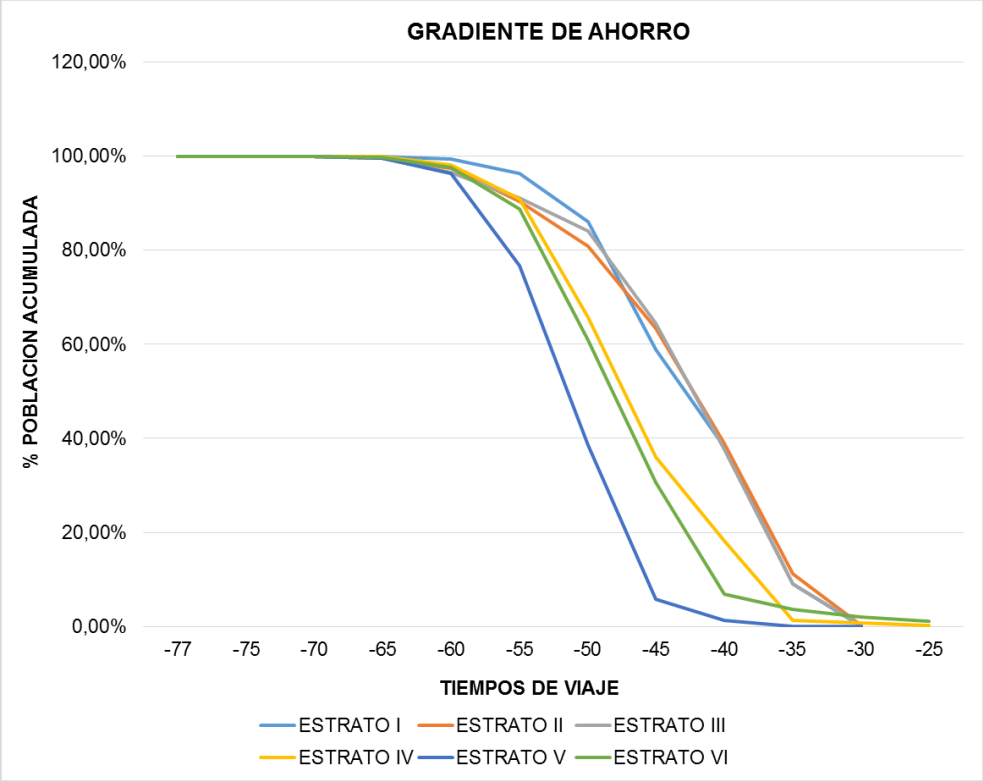
PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
-77	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
-75	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
-70	99,97%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
-65	99,86%	99,53%	99,55%	99,98%	99,53%	99,71%
-60	99,33%	97,36%	96,57%	98,15%	96,34%	97,59%
-55	96,41%	90,48%	91,20%	90,97%	76,78%	88,71%
-50	86,13%	80,91%	84,09%	65,72%	38,47%	60,90%
-45	58,83%	63,47%	64,53%	36,09%	5,83%	30,59%
-40	38,12%	38,97%	37,57%	18,22%	1,34%	6,95%
-35	8,94%	11,21%	9,08%	1,35%	0,00%	3,69%
-30	0,05%	0,29%	0,29%	0,74%	0,00%	2,04%
-25	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%	0,00%	1,15%

.

Elaboración propia

En la gráfica 20, se representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico y en ella se evidencia que el 50% de la población percibe un porcentaje de aumento en el tiempo de viaje entre el 45% y el 50%.

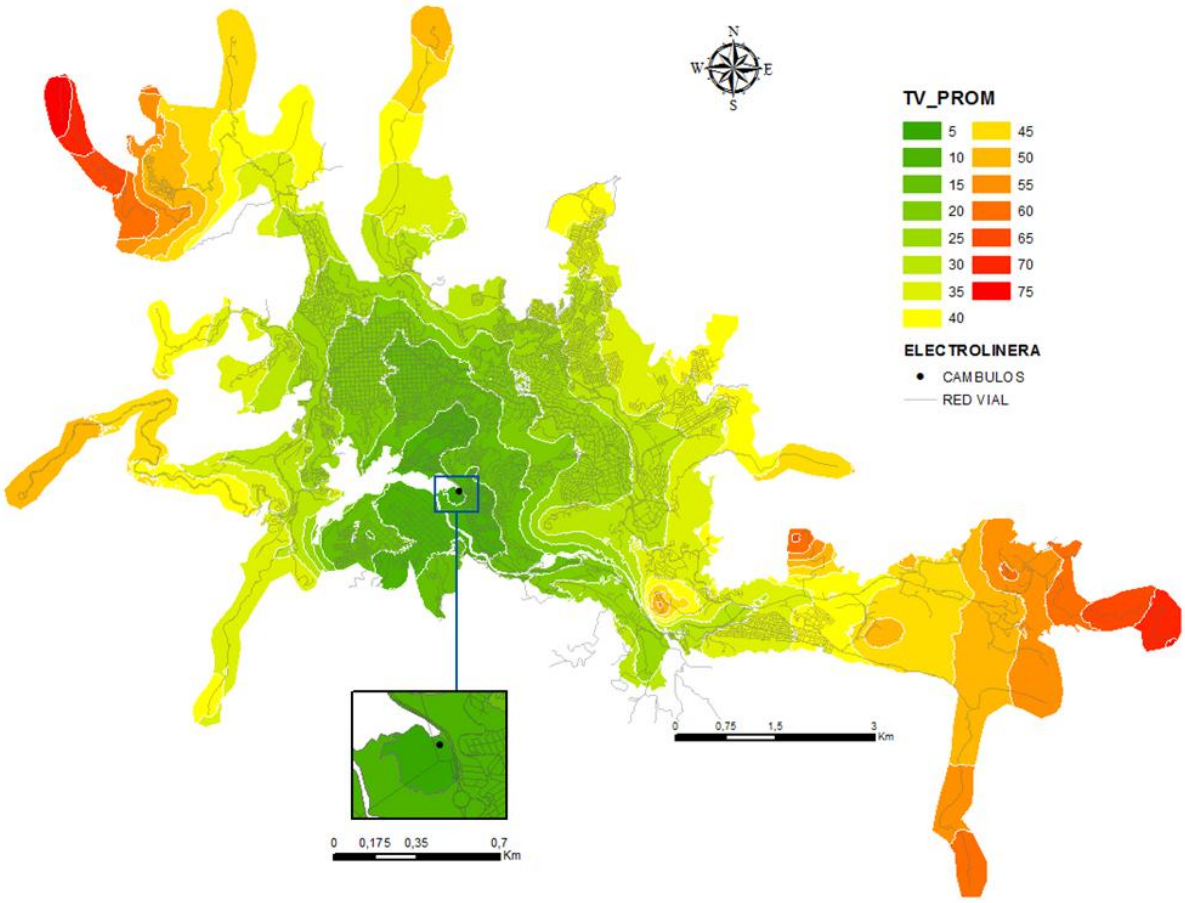
Gráfica 20. Ojiva de cobertura. Gradiente de ahorro.



Elaboración propia

6.2.4 Accesibilidad Media Integral Sector Los Cambulos

Gráfica 21. Curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico.



Elaboración propia

A partir del concepto de accesibilidad media integral, en la cual todos los nodos de la red vial de la ciudad viajan a uno solo, en este caso a la electrolinera proyectada a instalarse en el sector Los Cambulos de la ciudad de Manizales, se obtienen los resultados mostrados en la gráfica 21, en la cual el tiempo promedio de viaje se encuentra entre los

5 minutos y los 75 minutos. También en dicha gráfica se aprecia con mayor detalle el lugar preciso de instalación, es decir contiguo al Terminal de Transportes, alrededor del cual se encuentra la curva isócrona de 5 minutos, la cual describe el tiempo de viaje mínimo para acceder a ella.

Tabla 43. Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
5	0,04%	0,04%	0,01%	0,01%
10	11,71%	11,75%	12,89%	12,89%
15	19,81%	31,56%	22,40%	35,30%
20	14,11%	45,67%	16,59%	51,89%
25	17,97%	63,64%	18,27%	70,16%
30	15,83%	79,46%	12,88%	83,04%
35	13,61%	93,07%	11,80%	94,84%
40	5,07%	98,14%	4,23%	99,07%
45	0,21%	98,36%	0,09%	99,16%
50	1,26%	99,62%	0,63%	99,79%
55	0,24%	99,85%	0,12%	99,91%
60	0,13%	99,98%	0,08%	99,99%
65	0,02%	100,00%	0,01%	100,00%

Elaboración propia

En la tabla 43 se evidencia que el mayor porcentaje de población cubierto por una curva isócrona del análisis de accesibilidad media integral para la electrolinera Los Cambulos, es de 22.4%, lo cual equivale a 94.834 personas (ver tabla 44), además, dicha curva isócrona presenta un 19.81% de área cubierta en el mapa de la ciudad; la población anteriormente descrita tarda 15 minutos para acceder al servicio de la electrolinera, sin ser este tiempo el menor considerado para desplazarse.

De la tabla 43, también se puede interpretar que con un tiempo de viaje máximo de 40 minutos, la cobertura de la población es del 99.07%, es decir, que en los tiempos de viaje comprendidos entre los 45 minutos y los 65 minutos, solo faltaría el 0.93%, osea 3.928 personas, para completar la totalidad de la población.

A partir de un análisis poblacional, en el cual se intercepta el área de cobertura de las curvas isócronas obtenidas, con la variable estrato socioeconómico, se obtienen los resultados de la tabla 44, de los cuales es importante analizar que en un tiempo de viaje de 15 minutos, solo pueden acceder 27 personas del estrato III a la electrolinera del sector Los Cambulos, a pesar de que ese tiempo es el mínimo de viaje. Contrario a lo anterior, se presentan 32 personas que pertenecen a la población del estrato VI, las cuales tardan 65 minutos en acceder al servicio de la misma electrolinera.

Otra situación que es importante considerar de la tabla 44, es el hecho de que en el intervalo de tiempos de viaje comprendido entre los 5 minutos y 10 minutos, la población de los estratos V y VI no acceden a la electrolinera, sino solo hasta los 15 minutos en el caso del estrato V y hasta los 20 minutos en el caso del estrato VI.

Un caso particular se presenta con el tiempo promedio de viaje de 45 minutos en el estrato I, debido a que ninguna persona viaja con ese tiempo, pues se retoman los viajes a partir de 50 minutos y hasta 60 minutos.

También se analiza el tiempo de viaje de 5 minutos, en el cual accede la menor cantidad de población a la electrolinera, con un total de 27 personas pertenecientes al estrato I.

Tabla 44. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**						**TOTAL GENERAL**
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	
5	0	0	27	0	0	0	27
10	5995	11667	33005	3885	0	0	54552
15	8608	25240	53278	7306	402	0	94834
20	12153	10839	35101	6548	3426	2161	70226
25	4704	12027	20710	17851	7158	14882	77332
30	2524	22157	10290	13504	4055	2004	54534
35	10233	9645	23843	1612	306	4299	49938
40	3485	3327	8343	1827	85	848	17914
45	0	30	0	0	0	350	380
50	248	2275	0	0	0	151	2674
55	243	141	0	0	0	109	493
60	152	6	0	0	0	191	349
65	0	0	0	0	0	32	32
TOTAL POR ESTRATOS	48344	97355	184597	52531	15431	25028	**423286**

Elaboración propia

El porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas, obtenidas de la accesibilidad media integral del bus eléctrico para la electrolinera del sector Los Cambulos, se resume en la tabla 45. En esta tabla se interpreta que la población perteneciente al estrato VI es la que tarda más en acceder a la electrolinera, debido a que presenta tiempos de viaje de hasta 65 minutos, seguidamente la población del estrato I y II demoran 60 minutos máximo en acceder, sin embargo la población de los estratos III, IV y V son los que viajan en menor tiempo, demorándose máximo 40 minutos en su recorrido, con esto se concluye entonces que los estratos más beneficiados con la ubicación de la electrolinera en el sector Los Cambulos, serán aquellos que se demoren menos en acceder a ella, es decir la población de los estratos III, IV y V.

Del análisis anterior también se infiere que con un tiempo de viaje de 35 minutos, el 94.84% (ver tabla 43) de la población total de la ciudad, sin agruparse por estratos

sociales, podrán acceder al servicio de la electrolinera. Además, con este tiempo de viaje la población del estrato V es el que presenta mayor cobertura poblacional con un 99.45% (ver tabla 45)

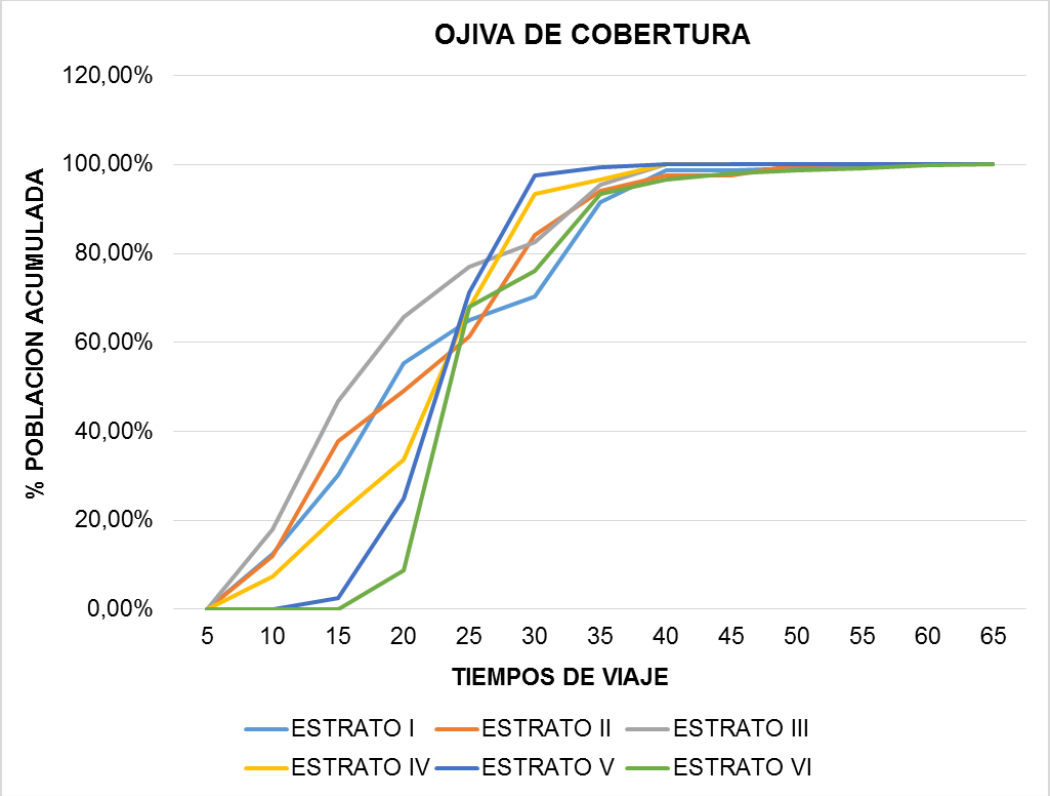
Tabla 45. Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico.

PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	ESTRATO					
	I	II	III	IV	V	VI
5	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
10	12,40%	11,98%	17,89%	7,39%	0,00%	0,00%
15	30,21%	37,91%	46,76%	21,30%	2,61%	0,00%
20	55,34%	49,04%	65,77%	33,77%	24,80%	8,63%
25	65,07%	61,40%	76,99%	67,75%	71,19%	68,10%
30	70,29%	84,16%	82,56%	93,45%	97,47%	76,10%
35	91,46%	94,06%	95,48%	96,52%	99,45%	93,28%
40	98,67%	97,48%	100,00%	100,00%	100,00%	96,67%
45	98,67%	97,51%	100,00%	100,00%	100,00%	98,07%
50	99,18%	99,85%	100,00%	100,00%	100,00%	98,67%
55	99,69%	99,99%	100,00%	100,00%	100,00%	99,11%
60	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,87%
65	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaboración propia

En la gráfica 22, se representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico y en ella se evidencia que la población del estrato VI es la que más tarda en su recorrido de viaje contrario al estrato III en el cual la población se incrementa en mayor proporción a partir de los 10 minutos de tiempo de viaje.

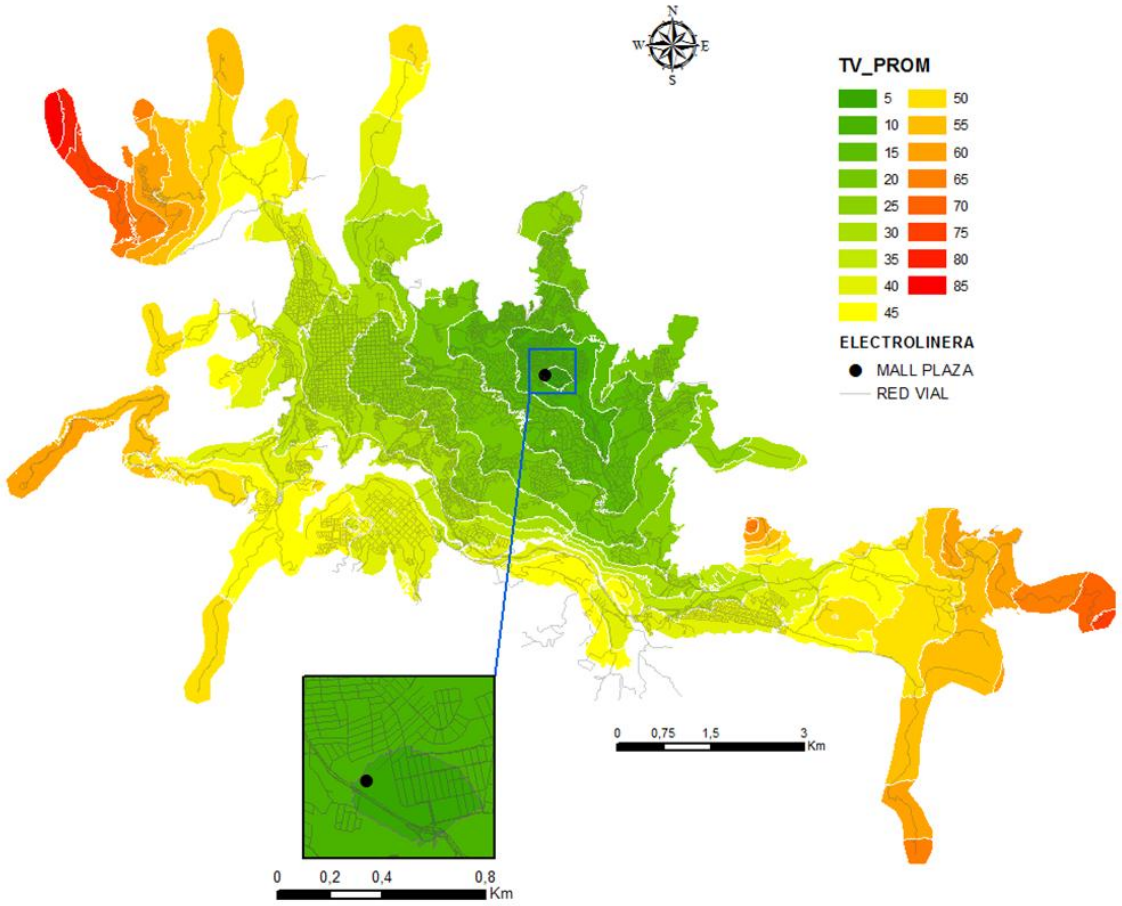
Gráfica 22. Ojiva de cobertura. Electrolinera sector Cambulos. Bus eléctrico.



Elaboración propia

6.2.5 Accesibilidad Media Integral sector Mall Plaza

Gráfica 23. Curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera Mall Plaza. Bus eléctrico.



Elaboración propia

A partir del análisis realizado de accesibilidad media integral hacia la electrolinera Mall Plaza, se evidencia en la gráfica 23, que el tiempo de viaje promedio se encuentra entre 5 minutos y 85 minutos, además se aprecia con detalle el sitio preciso de instalación, el cual es en los parqueaderos del Centro Comercial Mall Plaza, ubicado en la Av. Del Río en el barrio la Carola de la cuidad de Manizales.

La curva isócrona que representa el tiempo de viaje de 5 minutos cubre área del barrio la Carola de Manizales y describe el tiempo de viaje mínimo para acceder a la electrolinera proyectada a instalarse.

Tabla 46. Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Mall Plaza. Bus eléctrico.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
5	0,78%	0,78%	0,57%	0,57%
10	7,69%	8,46%	5,45%	6,02%
15	15,80%	24,26%	14,42%	20,45%
20	15,22%	39,48%	15,51%	35,96%
25	15,26%	54,74%	18,38%	54,33%
30	15,93%	70,67%	18,39%	72,73%
35	7,38%	78,05%	7,56%	80,29%
40	15,64%	93,69%	14,51%	94,79%
45	4,50%	98,19%	4,35%	99,15%
50	0,25%	98,44%	0,10%	99,24%
55	0,41%	98,85%	0,19%	99,43%
60	1,11%	99,96%	0,55%	99,98%
65	0,04%	100,00%	0,02%	100,00%
70	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%

Elaboración propia

En la tabla 46 se evidencia que la curva isócrona de 30 minutos es la que presenta una mayor cobertura poblacional, correspondiente al 18.39%, lo cual equivale a 77.860 personas (ver tabla 47); dicha curva isócrona presenta un 15.93% de área cubierta en el mapa de la ciudad, lo que significa que la mayor cantidad de personas que acceden al servicio de la electrolinera lo hace en un tiempo de viaje de media hora, sin ser este el menor tiempo considerado de recorrido.

De la tabla 46, también se puede interpretar que con un tiempo de viaje de hasta 45 minutos, la cobertura de la población es del 99.15%, es decir que en los tiempos de viaje

comprendidos entre los 50 minutos y los 70 minutos, solo faltaría el 0.85%, osea 3.609 personas para completar la totalidad de la población.

A partir de un análisis poblacional, en el cual se intercepta el área de cobertura de las curvas isócronas obtenidas, con la variante estrato socioeconómico, se obtienen los resultados de la tabla 47, en la cual es importante analizar que la población de los estratos IV, V y VI no accede a la electrolinera Mall Plaza en un tiempo de viaje de 5 minutos sino a partir de los 10 minutos.

Otra situación importante de analizar es que para el tiempo de viaje de 70 minutos no se registra población, debido a que las regiones periféricas del mapa de Manizales no tienen registrados los datos de población, sin embargo la red vial si existe y por eso se obtienen datos del tiempo de viaje y no de la población.

También se analiza el tiempo de viaje de 65 minutos, en el cual accede la menor cantidad de población a la electrolinera, con un total de 84 personas pertenecientes al estrato VI.

Tabla 47. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Electrolinera sector Mall Plaza. Bus eléctrico.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**						**TOTAL GENERAL**
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	
5	20	571	1832	0	0	0	2423
10	252	11504	8600	970	1646	106	23077
15	1434	20284	13188	9265	8412	8472	61055
20	9953	11730	23298	7217	3744	9700	65641
25	13645	18395	35363	7721	141	2518	77783
30	15454	13872	38106	7558	933	1938	77860
35	1829	1419	12982	14746	525	494	31996
40	4314	11800	40308	4064	32	897	61415
45	785	5352	10920	976	0	393	18427
50	231	12	0	14	0	147	405
55	265	425	0	0	0	120	810
60	160	1992	0	0	0	158	2310
65	0	0	0	0	0	84	84
70	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL POR ESTRATOS	48343	97356	184597	52532	15431	25028	**423286**

Elaboración propia

El porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas, obtenidas de la accesibilidad media integral del bus eléctrico para la electrolinera sector Mall Plaza, se resume en la tabla 48. En dicha tabla se interpreta que la totalidad de la población perteneciente al estrato I y II se tarda en acceder a la electrolinera 60 minutos, sin embargo con un tiempo de viaje de 65 minutos acceden a ella la población del estrato VI, situación que refleja que tarda más tiempo en acceder el estrato más alto socioeconómicamente que el más bajo, es decir el estrato VI y el estrato I respectivamente.

Por otro lado, la población del estrato IV se demora 50 minutos máximo en su tiempo de recorrido para acceder a la electrolinera, siendo reducido por la población del estrato III, la cual con un tiempo de viaje de 45 minutos llega al nodo destino. La población perteneciente al estrato V, es decir 15.431 personas tardan 40 minutos, siendo este el menor tiempo de viaje para que acceda la totalidad de la población perteneciente a dicho estrato.

Al analizar el estrato I, se encuentra que solo el 3.53% de la población accede a la electrolinera en un tiempo de viaje de 15 min, mientras que en el mismo tiempo el 65.17% de la población del estrato V ya lo ha hecho, lo que refleja que el estrato V tiene mejores condiciones de accesibilidad y que las personas de dicho estrato son las más beneficiadas con la ubicación de la electrolinera en el centro comercial Mall Plaza, debido a que son las que se demoran menos en acceder a ella.

Tabla 48. Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Bus eléctrico. Electrolinera Mall Plaza. Bus eléctrico.

PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	ESTRATO					
	I	II	III	IV	V	VI
5	0,04%	0,59%	0,99%	0,00%	0,00%	0,00%
10	0,56%	12,40%	5,65%	1,85%	10,66%	0,42%
15	3,53%	33,24%	12,80%	19,48%	65,17%	34,27%
20	24,12%	45,29%	25,42%	33,22%	89,44%	73,03%
25	52,34%	64,18%	44,57%	47,92%	90,35%	83,09%
30	84,31%	78,43%	65,22%	62,31%	96,39%	90,83%
35	88,09%	79,89%	72,25%	90,38%	99,80%	92,81%
40	97,02%	92,01%	94,08%	98,11%	100,00%	96,39%
45	98,64%	97,51%	100,00%	99,97%	100,00%	97,96%
50	99,12%	97,52%	100,00%	100,00%	100,00%	98,55%
55	99,67%	97,95%	100,00%	100,00%	100,00%	99,03%
60	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,66%
65	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
70	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

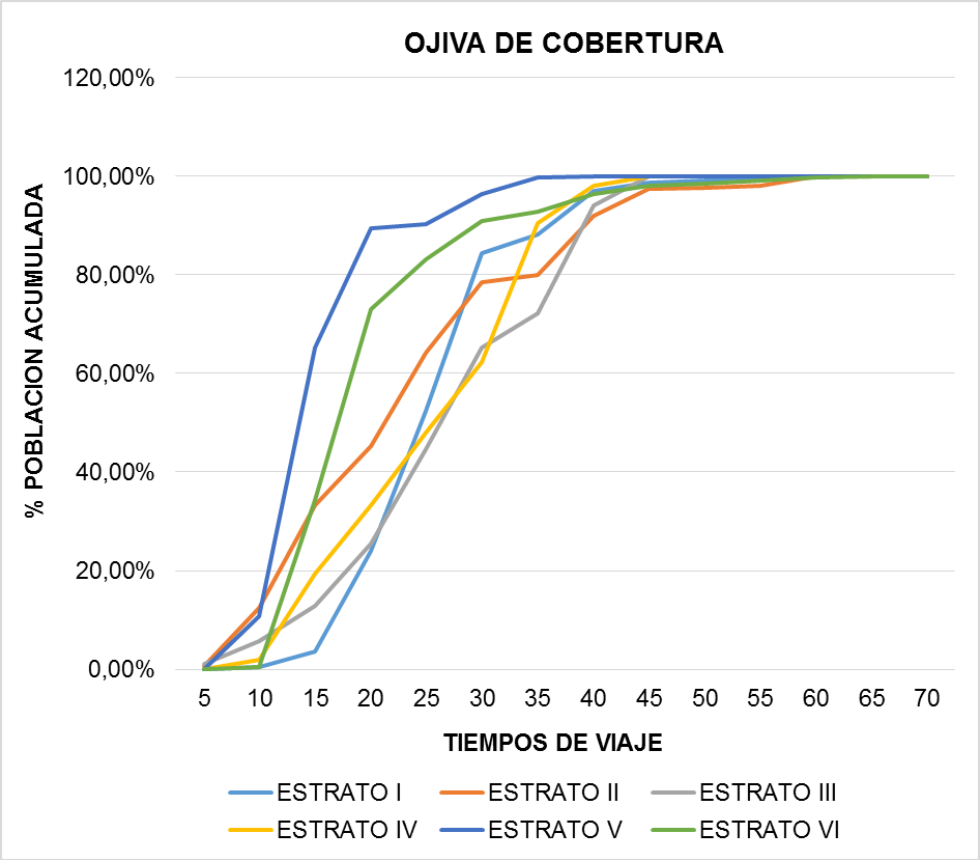
Elaboración propia

De los datos de la tabla 48 también se infiere que con un tiempo de viaje de hasta 35 minutos, la mejor cobertura poblacional la presenta el estrato V con un 99.8%, seguido del estrato VI que presenta el 92.81%.

Del análisis anterior también se infiere que con un tiempo de viaje de hasta 35 minutos, el 80.29% (ver tabla 46) de la población total de la ciudad, sin agruparse por estratos sociales, podrán acceder al servicio de la electrolinera.

En la gráfica 24, se representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico y en ella se evidencia que el estrato V presenta un cobertura de la población del 90% aproximadamente con un tiempo de viaje de 20 minutos, siendo el único estrato en alcanzar dicho porcentaje en el intervalo de tiempo de 5 minutos a 20 minutos.

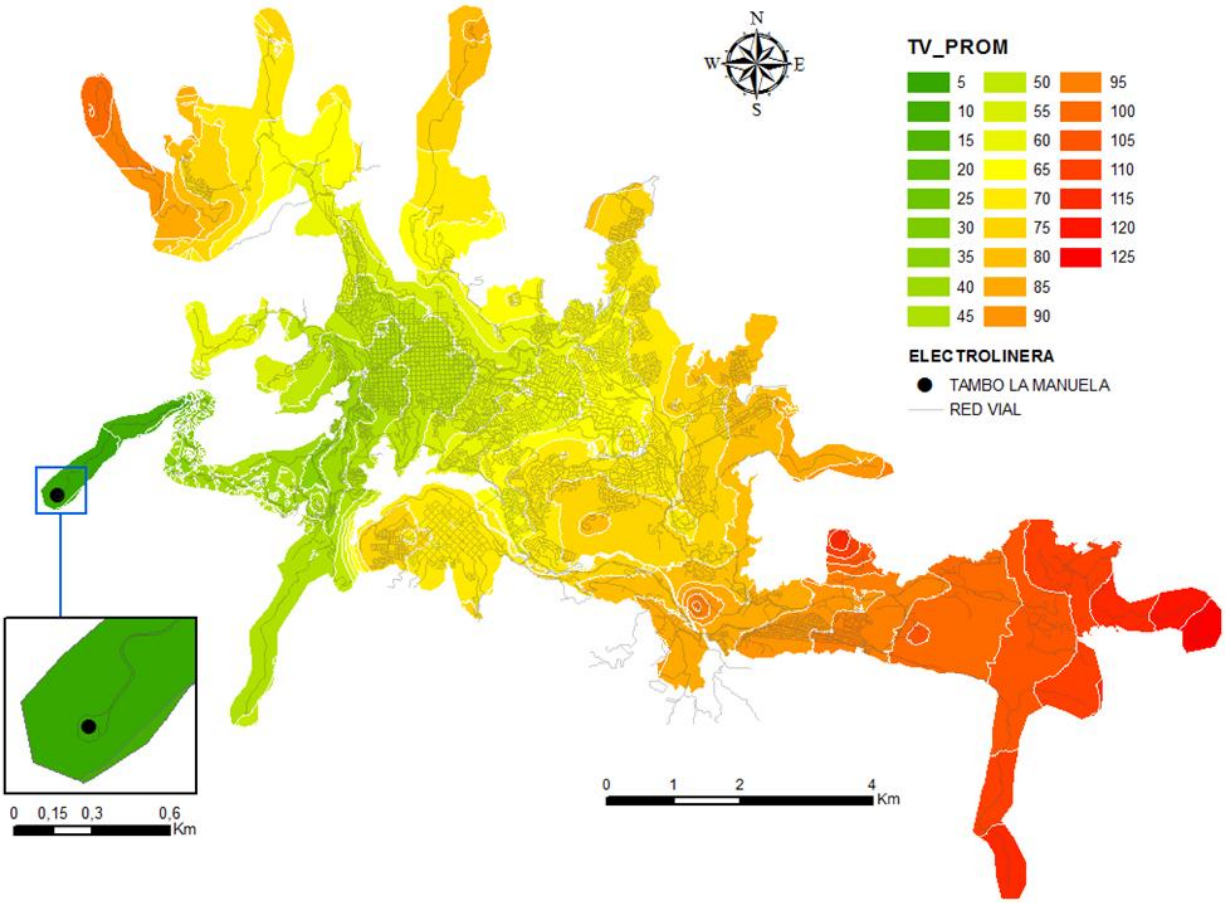
Gráfica 24. Ojiva de cobertura. Electrolinera Mall Plaza. Bus eléctrico.



Elaboración propia

6.2.6 Accesibilidad Media Integral sector Tambo La Manuela

Gráfica 25. Curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera Tambo la Manuela. Bus eléctrico.



Elaboración propia

A partir del análisis realizado de accesibilidad media integral hacia la electrolinera Tambo La Manuela, se evidencia en la gráfica 25, que el tiempo de viaje promedio se encuentra entre 5 minutos y 125 minutos, además se aprecia con detalle el sitio preciso de

instalación, el cual es en el Tambo La Manuela, lugar creado por Autopistas del Café destinado a brindar un servicio a los usuarios; debido a dicha ubicación se espera que los usuarios que accedan a la electrolinera habiten en la zona o se encuentren de viaje, entrando o saliendo de la ciudad.

Es importante reiterar que la red vial de transporte público utilizada para los cálculos fue completada hasta el Tambo La Manuela, debido a que solo se encontraba creada hasta el retorno del puente la estampilla, sin embargo no fueron registrados los datos de población, por lo cual las curvas isócronas de 5 minutos hasta 30 minutos de tiempo de viaje no aparecen en la tabla 49, al igual que las de 120 y 125 minutos.

Tabla 49. Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad media integral. Electrolinera sector Tambo La Manuela. Bus eléctrico.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
35	0,06%	0,06%	0,02%	0,02%
40	1,25%	1,31%	1,21%	1,23%
45	7,22%	8,53%	8,80%	10,03%
50	10,71%	19,24%	12,65%	22,68%
55	9,00%	28,24%	10,08%	32,76%
60	9,82%	38,06%	10,34%	43,10%
65	15,15%	53,20%	11,94%	55,04%
70	22,80%	76,00%	23,06%	78,10%
75	11,10%	87,10%	12,25%	90,35%
80	4,55%	91,66%	3,81%	94,17%
85	1,69%	93,35%	1,18%	95,35%
90	3,06%	96,41%	2,15%	97,50%
95	2,96%	99,37%	2,13%	99,63%
100	0,16%	99,54%	0,08%	99,71%
105	0,19%	99,73%	0,10%	99,82%
110	0,21%	99,94%	0,14%	99,96%
115	0,06%	100,00%	0,04%	100,00%

Elaboración propia

En la tabla 49 se evidencia que la curva isócrona con mayor cobertura de área es aquella que representa el tiempo promedio de viaje de 70 minutos, pues cubre el 22.8% del área en el mapa de la ciudad de Manizales, siendo este tiempo de viaje el más predominante,

además es el que registra el 23.06% de la población, es decir 97.615 personas, las cuales son la mayor cantidad de personas que acceden a la electrolinera en un tiempo de viaje específico.
También se puede interpretar de los datos de la tabla 49, que con un tiempo de viaje de hasta 95 minutos, la cobertura de la población es del 99.63%, es decir que en los tiempos comprendidos entre los 100 minutos y los 115 minutos, solo faltaría el 0.37%, osea 1.546 personas para completar la totalidad de la población.

A partir de un análisis poblacional, en el cual se intercepta el área de cobertura de las curvas isócronas obtenidas, con la variante estrato socioeconómico, se obtienen los resultados de la tabla 50, de los cuales es importante analizar que la población del estrato III, V y VI no accede a la electrolinera en un tiempo de viaje de 35 minutos, considerado el tiempo mínimo de viaje según los resultados de la accesibilidad media integral realizada, sino solo a partir de los 40 min.

También se analiza el tiempo de viaje de 35 minutos, en el cual accede la menor cantidad de población a la electrolinera, con un total de 89 personas pertenecientes al estrato I.

Tabla 50. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Electrolinera sector Tambo La Manuela. Bus eléctrico.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**						**TOTAL GENERAL**
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	
35	27	43	0	19	0	0	89
40	391	1282	2245	1076	0	117	5113
45	1520	2857	26476	5800	344	250	37248
50	7069	5575	26126	13339	829	593	53531
55	10390	8997	12783	10104	313	80	42668
60	5856	5245	17389	9581	3597	2116	43785
65	1279	25748	16339	1679	3153	2327	50526
70	10743	33737	38527	296	4458	9855	97615
75	10378	9243	19076	5662	2280	5231	51869
80	34	3694	8912	1944	0	1560	16144
85	0	1	1628	1189	456	1737	5011
90	13	147	8703	208	0	32	9104
95	0	630	6392	1634	0	381	9037
100	1	19	0	0	0	319	339
105	288	22	0	0	0	129	439
110	343	112	0	0	0	136	591
115	10	0	0	0	0	167	177
TOTAL POR ESTRATOS	48343	97353	184598	52531	15432	25028	**423284**

Elaboración propia

El porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas, obtenidas de la accesibilidad media integral del bus eléctrico para la electrolinera del sector El Tambo La Manuela, se resume en la tabla 51, en la cual se analiza que la población que pertenece al estrato I y al estrato VI, es la que tarda más tiempo en acceder a la electrolinera, con un tiempo de viaje promedio de 115 minutos, por su parte el estrato II demora 5 minutos menos en comparación del anterior tiempo de viaje, es decir que su recorrido dura en promedio 110 minutos.

La población contenida en el estrato III y en el estrato IV accede en su totalidad a la electrolinera del Tambo La Manuela en un tiempo de viaje máximo de 95 minutos, sin embargo al analizar el estrato V, éste contiene una población que se demora en su recorrido máximo 85 minutos para acceder al destino, siendo éste el menor tiempo en el

cual la totalidad de personas de alguno de los estratos accede. En base a lo anterior se concluye, que el estrato V y la población contenida en él, es el estrato que accederá en menor tiempo de viaje a la electrolinera del sector el Tambo La Manuela.

De la tabla 50 también es importante analizar que en un tiempo de viaje de 80 minutos el 94.17% (ver tabla 47) de la población total de la ciudad, sin agruparse por estratos sociales, podrán acceder a al servicio de la electrolinera.

Tabla 51. Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Electrolinera tambo la Manuela. Bus eléctrico.

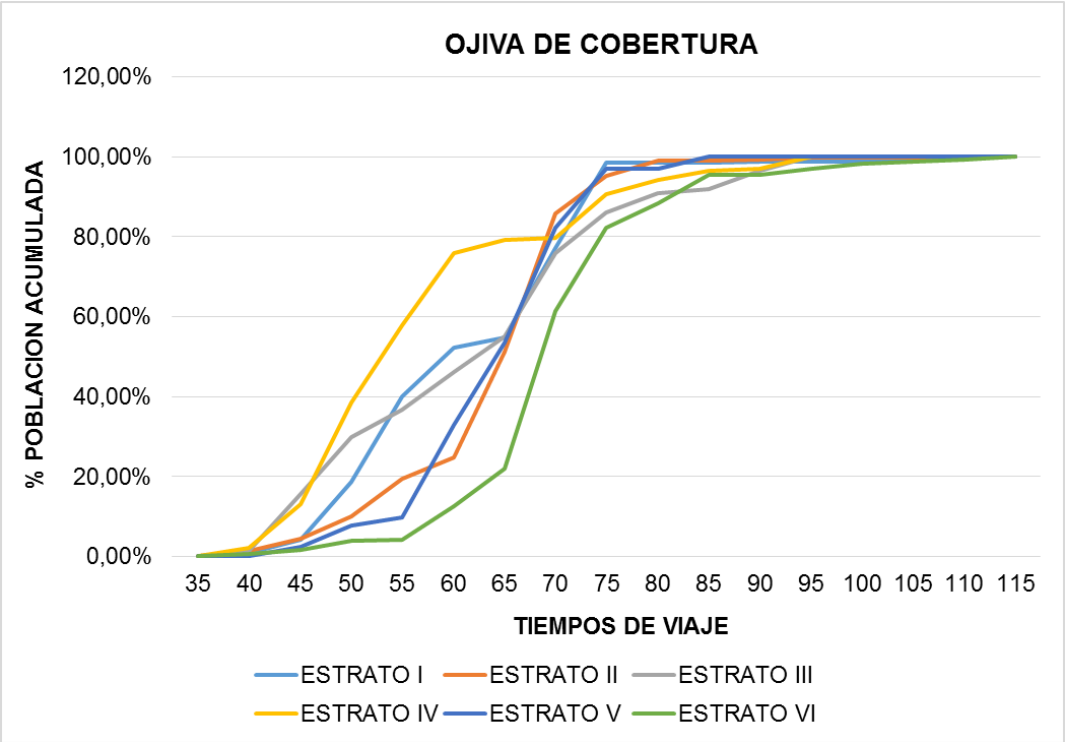
PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
35	0,06%	0,04%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%
40	0,86%	1,36%	1,22%	2,08%	0,00%	0,47%
45	4,01%	4,30%	15,56%	13,13%	2,23%	1,47%
50	18,63%	10,02%	29,71%	38,52%	7,61%	3,84%
55	40,12%	19,26%	36,64%	57,75%	9,63%	4,15%
60	52,24%	24,65%	46,06%	75,99%	32,95%	12,61%
65	54,88%	51,10%	54,91%	79,19%	53,38%	21,91%
70	77,10%	85,75%	75,78%	79,75%	82,27%	61,28%
75	98,57%	95,25%	86,11%	90,53%	97,04%	82,18%
80	98,64%	99,04%	90,94%	94,23%	97,04%	88,41%
85	98,64%	99,04%	91,82%	96,49%	100,00%	95,35%
90	98,67%	99,20%	96,54%	96,89%	100,00%	95,48%
95	98,67%	99,84%	100,00%	100,00%	100,00%	97,00%
100	98,67%	99,86%	100,00%	100,00%	100,00%	98,28%
105	99,27%	99,89%	100,00%	100,00%	100,00%	98,79%
110	99,98%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,33%
115	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaboración propia

En la gráfica 26, se representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico y en ella se evidencia claramente que aprox. el 80% de la población del estrato IV accede a la electrolinera en un tiempo de viaje de 60 minutos, además en 75

minutos de tiempo de viaje se alcanza el 98% de cobertura poblacional del estrato I y el estrato V.

Gráfica 26. Ojiva de cobertura. Electrolinera el Tambo La Manuela. Bus eléctrico.



Elaboración propia

Teniendo en cuenta los datos obtenidos de las tres electrolineras (ver tabla 52), a partir del análisis de accesibilidad media integral se comparan los resultados y se concluye que la población perteneciente al estrato V, es aquella que tarda menos para desplazarse hasta alguna de las electrolineras, debido a que presenta menores tiempos de viaje en sus recorridos, por su parte la población del estrato VI es aquella que tarda más en acceder.

Tabla 52. Resumen de resultados obtenidos a partir de los análisis de accesibilidad media integral. Bus eléctrico

ÍTEM	ELECTROLINERA LOS CAMBULOS	ELECTROLINERA MALL PLAZA	ELECTROLINERA TAMBO LA MANUELA
Intervalo de tiempos de viaje promedio	5 - 75 minutos	5 - 85 minutos	5 - 125 minutos
Poblacion con menores tiempos de viaje	Estrato III, IV y V	Estrato V	Estrato V
Poblacion con mayores tiempos de viaje	Estrato VI	Estrato VI	Estrato I y VI
Tiempo de viaje con mayor cobertura poblacional	15 minutos	30 minutos	70 minutos
Tiempo de viaje para cobertura poblacional del 99%	40 minutos	45 minutos	95 minutos

Elaboración propia.

Al analizar la accesibilidad de las electrolineras proyectadas, se interpreta que la electrolinera del sector Los Cambulos es aquella que presenta las mejores condiciones para acceder a ella, pues las poblaciones de tres estratos socioeconómicos (estrato III, IV y V) de la ciudad tardan menores tiempos de viaje en sus desplazamientos para llegar a este destino. Lo anterior considerando que las demás electrolineras solo presentan un estrato socioeconómico con los menores tiempos de viaje; complementario a lo anterior, dicha electrolinera tiene el menor intervalo de tiempo considerado de los tiempos de viaje promedio, el cual se encuentra entre 5 minutos y 75 minutos, también, la mayor cantidad de personas que acceden al servicio de la electrolinera lo hacen en 15 minutos y además es necesario un viaje de hasta 40 minutos para que el 99.07% de la población acceda.

Por otro lado, la electrolinera del sector el Tambo La Manuela, es aquella con la menor accesibilidad, debido a que la población de dos estratos socioeconómicos (estrato I y VI) se demoran más tiempo en su recorrido para acceder a ella, Lo anterior considerando que las demás electrolineras solo presentan un estrato socioeconómico con los mayores tiempos de viaje; complementario a lo anterior, dicha electrolinera tiene el mayor intervalo

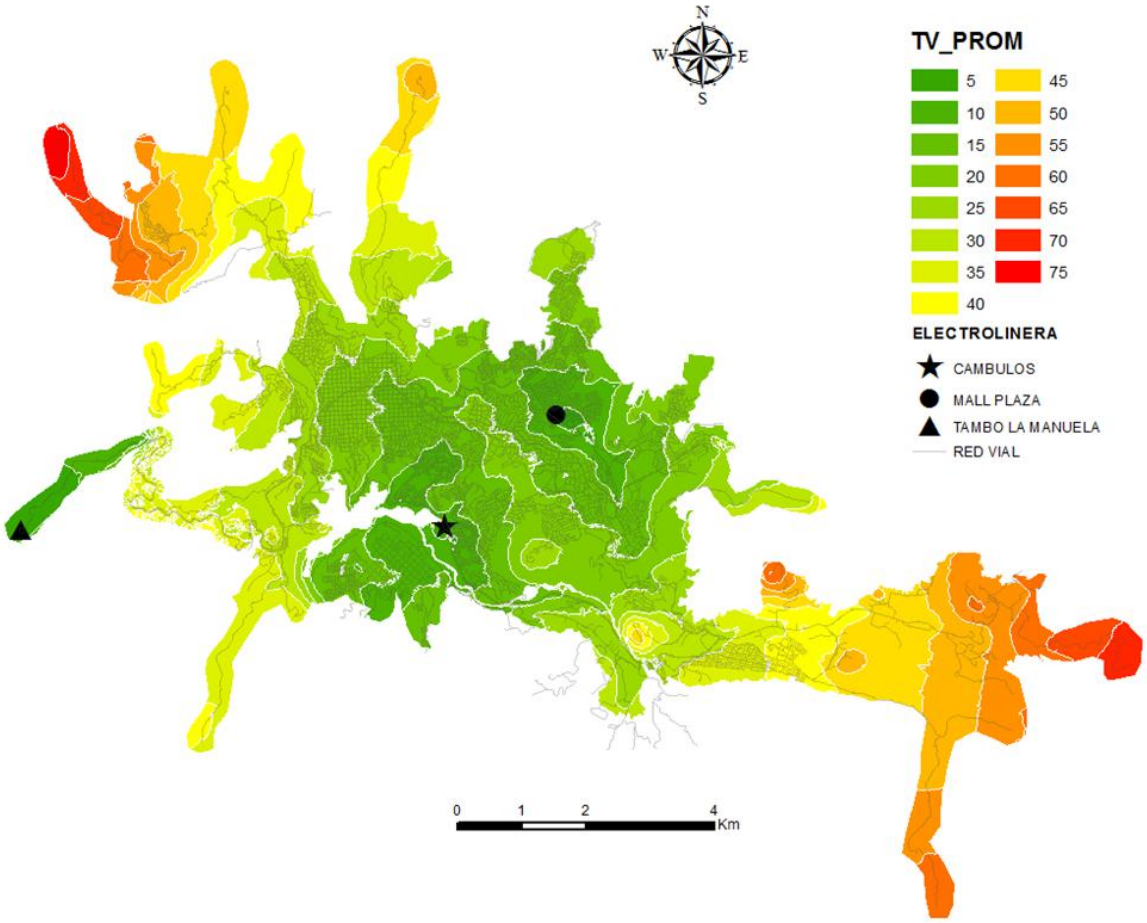
de tiempo considerado de los tiempos de viaje promedio, el cual se encuentra entre 5 minutos y 125 minutos, también, la mayor cantidad de personas que acceden al servicio de la electrolinera lo hacen en 70 minutos y además es necesario un viaje de hasta 95 minutos para que el 99.63% de la población acceda.

Por su parte, la electrolinera de Mall Plaza, presenta unas condiciones de accesibilidad intermedias, en comparación con las dos electrolineras descritas anteriormente, pues el intervalo de los tiempos de viaje esta entre los 5 minutos y los 85 minutos, también, la mayor cantidad de personas que acceden al servicio de la electrolinera lo hacen en 30 minutos y además es necesario un viaje de hasta 45 minutos para que el 99.63% de la población acceda.

En los anteriores análisis se considera un cobertura de población del 99%, debido a que con dicho porcentaje se asume que la mayoría de personas accedieron a los servicios de las electrolineras, debido a que el porcentaje de población faltante para completar la totalidad, es decir el 100% es muy poca.

6.2.7 Accesibilidad Media Integral de todas las electrolineras

Gráfica 27. Curvas isócronas. Accesibilidad integral de todas las electrolineras. Bus eléctrico.



Elaboración propia

A partir de la integración de los tres puntos en donde es proyectado instalar las electrolineras, se puede observar en la gráfica 27, las curvas isócronas obtenidas, las

cuales describen los tiempos promedio de viaje, en el intervalo de 5 minutos a 75 minutos.

Tabla 53. Porcentaje de la población cubierta por las curvas isócronas. Accesibilidad integral. Bus eléctrico. Todas las electrolineras.

PORCENTAJE DE COBERTURA				
CURVA ISOCRONA	**% AREA EN EL MAPA**	**% AREA ACUMULADA**	**% POBLACION**	**% POBLACION ACUMULADA**
5	0,82%	0,82%	0,58%	0,58%
10	19,45%	20,27%	18,30%	18,89%
15	35,93%	56,20%	37,13%	56,01%
20	22,81%	79,01%	24,79%	80,80%
25	8,61%	87,62%	10,19%	90,99%
30	4,29%	91,91%	3,56%	94,55%
35	3,91%	95,82%	2,77%	97,32%
40	2,36%	98,18%	1,74%	99,06%
45	0,21%	98,39%	0,10%	99,17%
50	1,23%	99,62%	0,62%	99,78%
55	0,25%	99,87%	0,14%	99,92%
60	0,12%	99,99%	0,08%	100,00%
65	0,01%	100,00%	0,0002%	100,00%

Elaboración propia

En la tabla 53 se percibe que la curva isócrona del tiempo promedio de viaje, correspondiente a los 15 minutos, ocupa el 35.93% del área del mapa de la ciudad, es decir que es el tiempo de viaje en el cual el 37.13% de la población accede a alguna de las electrolineras planteadas, es decir, que este tiempo de viaje es el menor tiempo en el que accede la mayor cantidad de personas.

También se puede interpretar de los datos de la tabla 53, que con un tiempo de viaje de hasta 40 minutos, la cobertura de la población es del 99.06%, es decir que en los tiempos comprendidos entre los 45 minutos y los 65 minutos, solo faltaría el 0.94%, osea 3.971 personas para completar la totalidad de la población.

Considerando el análisis individual de las tres electrolineras proyectadas, se analiza la cobertura de la población cuando el tiempo de viaje es de 35 minutos, (elegido debido a que es el tiempo a partir del cual se tienen datos de población en la electrolinera el Tambo La Manuela) y se obtiene que en la electrolinera Los Cambulos, el 11.8% de la población accede con un tiempo de viaje de máximo 35 minutos, mientras que la electrolinera Mall Plaza con el 7.56% de población y la electrolinera tambo La Manuela con el 0.02% de personas, con lo anterior se concluye, que el porcentaje de la población que accede en un tiempo de viaje determinado a cada una de las electrolineras, no se ve reflejado en la suma de cada uno de los porcentajes individuales, sino que al superponerse las curvas isócronas que representan los tiempos de viaje, se ponderan los resultados y se obtiene un estimativo global.

A partir de un análisis poblacional, en el cual se intercepta el área de cobertura de las curvas isócronas obtenidas, con la variable estrato socioeconómico, se obtienen los resultados de la tabla 54, de los cuales se analiza que la población de los estratos IV, V y VI solo accede a alguna de las electrolineras a partir de un tiempo de viaje de 10 minutos. También se interpreta que la población del estrato I no se moviliza con un tiempo de viaje de 45 minutos, sin embargo las 642 personas faltantes por desplazarse hasta alguna de las electrolineras, lo hacen en el intervalo de tiempo entre 50 y 60 minutos.

Por otro lado se analiza, que el tiempo de viaje de 65 minutos es en el cual accede la menor cantidad de población a cualquiera de las electrolineras, con un total de 1 persona perteneciente al estrato VI.

Tabla 54. Población total discriminada por estratos y cubierta por las curvas isócronas de la accesibilidad media integral. Todas las electrolineras. . Bus eléctrico.

POBLACION POR ESTRATO							
TIEMPO DE VIAJE (min)	ESTRATO						TOTAL GENERA
	I	II	III	IV	V	VI	
5	21	579	1857	0	0	0	2457
10	6113	23191	41585	4854	1635	103	77481
15	10691	45548	66820	16756	8855	8477	157146
20	20448	21555	42114	7341	3667	9803	104928
25	9332	2052	13936	14561	539	2693	43114
30	520	1178	3038	7205	735	2412	15087
35	547	76	10722	0	0	395	11740
40	29	725	4524	1814	0	268	7360
45	0	29	0	0	0	409	439
50	243	2219	0	0	0	146	2608
55	250	198	0	0	0	125	573
60	149	4	0	0	0	197	350
65	0	0	0	0	0	1	1
TOTAL POR ESTRATOS	48342	97355	184597	52531	15432	25028	**423284**

Elaboración propia

El porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas, obtenidas de la accesibilidad media integral del bus eléctrico para las electrolineras Los Cambulos, Mall Plaza y Tambo la Manuela, se resume en la tabla 55.

Tabla 55. Porcentaje acumulado de la población cubierta por las curvas isócronas dependiendo el estrato socioeconómico. Todas las electrolineras. Bus eléctrico.

PORCENTAJE ACUMULADO DE LA POBLACION						
TIEMPO DE VIAJE (min)	**ESTRATO**					
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**
5	0,04%	0,59%	1,01%	0,00%	0,00%	0,00%
10	12,69%	24,42%	23,53%	9,24%	10,60%	0,41%
15	34,80%	71,20%	59,73%	41,14%	67,98%	34,28%
20	77,10%	93,34%	82,55%	55,11%	91,74%	73,45%
25	96,41%	95,45%	90,10%	82,83%	95,24%	84,21%
30	97,48%	96,66%	91,74%	96,55%	100,00%	93,85%
35	98,61%	96,74%	97,55%	96,55%	100,00%	95,42%
40	98,67%	97,48%	100,00%	100,00%	100,00%	96,49%
45	98,67%	97,51%	100,00%	100,00%	100,00%	98,13%
50	99,17%	99,79%	100,00%	100,00%	100,00%	98,71%
55	99,69%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,21%
60	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
65	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaboración propia.

En la tabla 55 se interpreta que la totalidad de la población perteneciente a los estratos I y VI tardan más en acceder a alguna de las electrolineras, pues el tiempo de viaje de su recorrido es hasta 60 minutos, mientras que la población del estrato V es la que accede en el menor tiempo, pues se movilizan en máximo 30 minutos y logran llegar al servicio de electrolinera.

Por su parte la población de los estratos II, III y IV se desplaza con tiempos de viaje de hasta 55 minutos para el primer estrato y 40 minutos para los dos últimos estratos en mención.

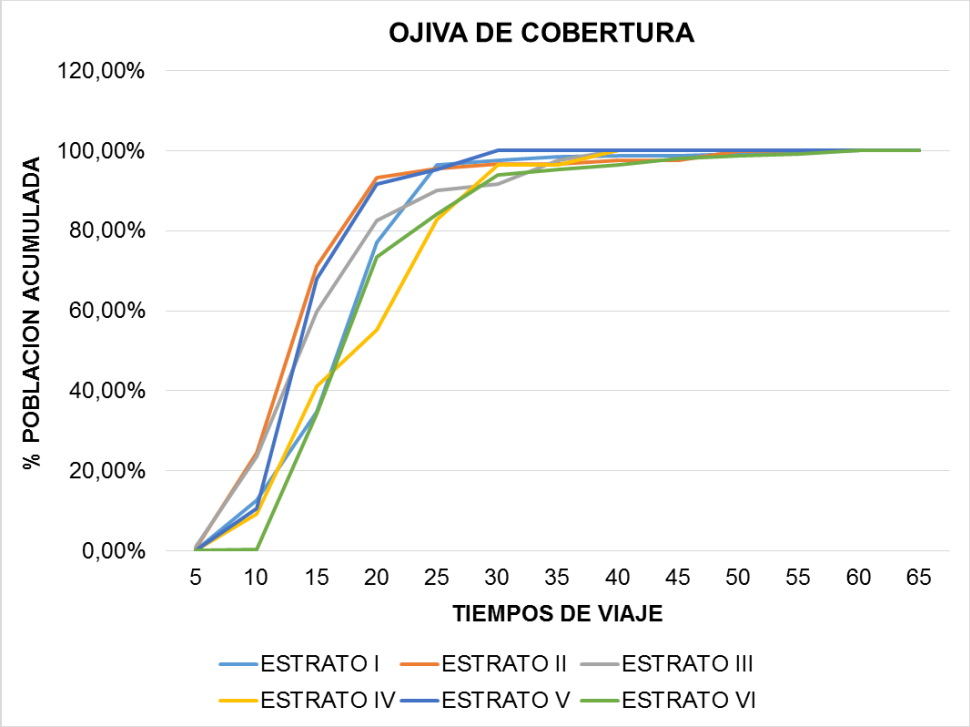
Con el análisis anterior se concluye, que a partir de la instalación de las electrolineras en la ciudad de Manizales, la población perteneciente al estrato V, es aquella que podrá acceder en menor tiempo de viaje a cualquiera de ellas, es decir que se convierte en el estrato más beneficiado con dicha instalación.

De los datos de la tabla 53 y la tabla 55 también se infiere que con un tiempo de viaje de 25 minutos, el 90.99% de la población total de la ciudad, sin agruparse por estratos sociales, podrán acceder al servicio de alguna de las electrolineras.

En la gráfica 28, se representa la ojiva porcentual de la población respecto al estrato socioeconómico y en ella se evidencia que aproximadamente el 90% de la población de los estratos II y V acceden a alguna de las electrolineras en menos de 20 minutos, mientras que los estrato IV y VI lo hacen en máximo 30 minutos.

También se analiza que el 70% de la población de los estratos I, II, V, y VI tardan aproximadamente entre 15 y 20 minutos en acceder al servicio de alguna electrolinera, lo anterior debido que las curvas que describen el comportamiento de los tiempos de viaje así lo reflejan.

Gráfica 28. Ojiva de cobertura. Todas las electrolineras. Bus eléctrico.



Elaboración propia

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

7.1.1 Escogencia de la ruta

El criterio con el cual fue elegida la ruta del bus eléctrico se basó en la longitud, la cantidad de pasajeros que transportaba y el sitio donde el bus pernoctaba, lo anterior debido a la oportunidad de registrar la mayor cantidad de datos, la capacidad del bus y el parqueadero del bus, respectivamente. Sin embargo no se tuvieron en cuenta las condiciones operativas de las vías por las cuales el bus iba a transitar, las que resultaron afectar considerablemente los datos, debido a que las velocidades promedio de ruta fueron muy bajas. Simultáneamente a la toma de datos, se construyeron sobre la ruta dos obras de infraestructura vial, específicamente en la glorieta de la autónoma (construcción de puente elevado) y en la avenida del rio (construcción de glorieta de la Carola), lo cual alteró el flujo vehicular y ocasionó la reducción de la velocidad y el aumento en el tiempo de recorrido de la ruta.

Por otro lado, la elección de la ruta del bus a combustión presentó varios inconvenientes debido a los permisos necesarios con el área de transportes de la CHEC y la empresa Promotur, razón por la cual la toma de datos no se realizó en el mismo periodo de tiempo, a pesar de ser en años diferentes. La ruta en la que concedieron el permiso para la toma de datos no fue igual a la del bus eléctrico, sin embargo las condiciones operativas de ésta ayudaron para que la velocidad registrada por el bus fuera mucho mayor.

Es así como de las situaciones anteriores se concluye, que la elección de la ruta del bus eléctrico no fue la mejor, pues no se consideraron variables que afectarían directamente su operación en la ruta.

7.1.2 Obtención de datos

Debido a que el registro de los datos era electrónico, por el GPS, y manual debido a las planillas diligenciadas por los conductores de los buses, se presentaron errores en dicha digitación, los cuales se evidenciaron al comparar los archivos digitales obtenidos y las planillas en físico, es así como hubo días en los que no se registraron pasajeros, sin embargo el bus transitó por la ruta establecida, caso contrario cuando por el manejo del GPS, era desconectado del puerto de funcionamiento en el bus y reconectado cuando ya se recorría la ruta.

También se presentó intermitencia en la toma de datos, por un lado, debido a que el bus eléctrico es el único en la región, este era programado para asistir a diferentes reuniones de mercadeo y publicidad en las cuales se promocionaba y se daba a conocer, por lo cual el bus no cubría la ruta normalmente. Además, en el periodo de la toma de datos, solo había un conductor capacitado para conducir dicho bus, el cual tuvo una calamidad doméstica y como consecuencia el bus estuvo parado durante varios días, sin registro ni obtención de datos. Situación similar se presentó con el bus a combustión, pero en este caso relacionadas con la disponibilidad de este para realizar la ruta contratada con la empresa CHEC, lo anterior debido a que hubo días en los cuales la empresa Promotur destinaba el bus para cubrir otras rutas ajenas al proyecto, tanto dentro como fuera de la ciudad, lo cual repercutió en la cantidad de datos registrados y en el tiempo de toma de datos, el cual toco extender.

Debido a lo anterior, se concluye que la continuidad en el registro de la información y el orden y compromiso en el diligenciamiento de los datos manuales, afectaron los resultados, pues ante la ausencia de datos, hubo recorridos de ruta no considerados y con ello se disminuyeron los datos disponibles para los cálculos.

7.1.3 Velocidad operativa sobre la red

El registro de las velocidades que realiza el GPS, lo hace para cada punto por el cual el bus transita en la red vial, sin embargo dichas velocidades son registradas en movimiento o en tiempo en stop, por lo cual al momento de obtener las velocidades de los arcos viales, gracias al procesamiento realizado por el software Velocidades GPS, se tienen arcos con velocidades inferiores a los 5km/h, datos que representan valores muy bajos de velocidad y a la cual un bus no transita en condiciones normales, por lo que fue necesario promediar la velocidad de los arcos viales contiguos a los que presentaban dicho valor, con el fin de que los datos de velocidad ingresados a la red de transporte público de la ciudad fueran concordantes y semejantes a la realidad.

También es importante informar, que las vías por las cuales el desplazamiento de los buses fue mínima, casi nula, fue por las vías pertenecientes a la tipología Nacional.

De los anteriores datos se concluye entonces, que el procesamiento de los datos para la obtención de la velocidad en los arcos debe ser lo suficientemente cuidadosa para que no se asuman velocidades como reales, pues son el resultado de considerar puntos con velocidad y puntos sin ella; de no tener presente lo anterior se calcularían los tiempos de viaje promedio con velocidades mínimas a las cuales no transitan los buses en la red vial.

7.1.4 Metodología de obtención de los costos de operación

Teniendo presente que la clasificación de los costos de operación, en costos variables y costos fijos, fue obtenida de la Resolución 4350 de 1998, en la cual “se establece la metodología para la elaboración de estudios de costos que sirvan de base para la fijación de las tarifas de transporte publico municipal, distrital y/o metropolitano y/o mixto”, se aclara que dicha resolución solo es utilizada como un lineamiento, a partir del cual se determinan los costos a considerarse, además de los parámetros de operación (kilómetros recorridos, número de recorridos y número de pasajeros movilizados), debido

a que en la resolución se aplican fórmulas con el objetivo de establecer tarifas del transporte público, lo cual no es el objetivo del presente estudio.

Debido a lo anterior, la metodología que se aplica en este estudio, se basa en una investigación de precios, rendimiento y frecuencia de cambio de los insumos necesarios para cada uno de los buses, teniendo en cuenta las características técnicas de cada uno de ellos; dichos precios fueron consultados en almacenes distribuidores de repuestos de la ciudad de Manizales, con precios vigentes al año 2019. Además los costos fueron calculados mensualmente, debido a que las frecuencias de cambio de los insumos no se realiza en periodos de tiempo menores, es decir días, pero en ocasiones si, en periodos de tiempo mayores, es decir anualmente.

También, las frecuencias de cambio, en ocasiones establecidas en kilometraje, se convirtieron en tiempo, con el fin de realizar el análisis mensualmente, según lo descrito con anterioridad.

Es así como, a partir de lo anterior se concluye que en el presente estudio no es utilizada ninguna metodología planteada para el cálculo de los costos de operación, debido a que la más semejante, es decir la establecida en la Resolución 4350 de 1998, no aplica para los objetivos planteados.

7.1.5 Costos de operación vs accesibilidad

La inclusión de las penalidades por giro y la prohibición del giro en U al realizar los cálculos de la accesibilidad media global, incrementan los valores de los tiempos de viaje promedio.

La ubicación proyectada de las electrolineras en la ciudad de Manizales, presenta condiciones de accesibilidad en las cuales la población perteneciente al estrato V, tarda menos tiempo de viaje en acceder a ellas; complemento a lo anterior dicho estrato socioeconómico presenta un poder adquisitivo alto, el cual puede verse reflejado en el deseo de adquirir un vehículo eléctrico para movilizarse, decisión que conlleva en la actualidad factores económicos considerables, debido al alto costo de dichos vehículos en el mercado. Por otro lado, puede afirmarse que, a partir de los resultados, el ahorro se verá reflejado en los costos de operación y de mantenimiento, mas no en los tiempos de

viaje, pues a partir de los análisis de accesibilidad media integral, se obtuvo que esta variable es mayor en comparación con la del vehículo a combustión.

7.2 Recomendaciones

Se propone para futuras líneas de investigación, realizar el mismo procedimiento planteado en la metodología pero con una muestra mayor, debido a que solo se utilizó un bus eléctrico, por consiguiente los resultados se limitan considerablemente. Se debe tener presente que el estudio puede ser realizado con cualquier flota eléctrica de vehículos, sean buses, colectivos o taxis, para así tener una consideración más amplia del transporte público urbano eléctrico de la ciudad de Manizales, lo anterior incluyendo todas las rutas consideradas en dicha red vial.

8. Bibliografía

Alvarez Valencia, C. P., & Grajales Medina, J. F. (2015). *Diseño de la estructura de costos del servicio de transporte para el calculo del precio optimo en base al WACC (costo promedio ponderado de capital) aplicado en la empresa ICOLTRANS S.A.S.* 75. Recuperado de http://repository.udem.edu.co:8080/bitstream/handle/11407/3514/TG_EGFE_51.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Andemos. (2017a). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Diciembre 2017*. 5. Recuperado de http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2018/01/Informe-Híbridos-y-Electricos-2017-12.pdf

Andemos. (2017b). *Sector Automotor Informe Vehículos Octubre Visión general del sector2017*. 1-21.

ANDEMOS. (2018a). *Informe Vehículos Diciembre Contenido2018*. Recuperado de http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2019/01/Informe-Vehiculos-2018-12.pdf

ANDEMOS. (2018b). *Sector Automotor Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Diciembre Híbridos y Eléctricos*.

ANDEMOS. (2019a). *Informe Vehículos Abril Contenido*.

ANDEMOS. (2019b). *Informe Vehículos Enero Contenido*.

ANDEMOS. (2019c). *Informe Vehículos Febrero Colombia FEBRERO*. 3-22. Recuperado de http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2019/03/Informe-Vehiculos-2019-02.pdf

ANDEMOS. (2019d). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Febrero*. 2-7. Recuperado de http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2019/03/Informe-Híbridos-y-Electricos-2019-2.pdf

ANDEMOS. (2019e). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Marzo*. Recuperado de http://www.andemos.org/wp-content/uploads/2019/04/Informe-Híbridos-y-Electricos-2019-3.pdf

ANDEMOS. (2019f). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Mayo Visión general del Mercado Evolución mes a mes 2018 / 2019-1*.

ANDEMOS. (2019g). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Mayo Visión general del Mercado Evolución mes a mes 2018 / 2019 Abril*.

ANDEMOS. (2019h). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Mayo Visión general del Mercado Evolución mes a mes 2018 / 2019 Junio*.

ANDEMOS. (2019i). *Informe Vehículos Híbridos y Eléctricos Mayo Visión general del Mercado Evolución mes a mes 2018 / 2019 Mayo*.

ANDEMOS. (2019j). *Informe Vehículos Junio Contenido*.

ANDEMOS. (2019k). *Informe Vehículos Marzo Contenido*.

ANDEMOS. (2019l). *Informe Vehículos Mayo Contenido*.

Batty, M. (2009). Accessibility: In search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *36*(2), 191-194. https://doi.org/10.1068/b3602ed

Bosch. (2011). *Filtros Bisch*. *111*(479), 1009-1010. https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a

Cadena, Gaitán. C. (2014). *Green Politics in Latin American Cities: Sustainable Transport Agendas*. (October), 269. Recuperado de http://digitalarchive.maastrichtuniversity.nl/fedora/get/guid:d0ba3ac1-eadc-439e-a31b-cbc48c3617a2/ASSET1

Cardona Urrea, S. (2018). *Propuesta metodológica para el cálculo de las penalidades por giro en modelos de accesibilidad*. 170.

Colombia, C. de la R. de. (1998). *LEY 488/1998*. *1*(071116072), 7. Recuperado de http://journal.unair.ac.id/download-fullpapers-ln522cc87c61full.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2018a). CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA 1943. *Consejo Nacional de Politica Economica y Social - Republica de Colombia*, (ESTRATEGIA PARA LA ATENCIÓN DE LA MIGRACIÓN DESDE VENEZUELA), 115. Recuperado de https://www.cancilleria.gov.co/documento-conpes-estrategia-atencion-migracion-venezuela

Departamento Nacional de Planeación. (2018b). *CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA 3934*. 114. Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3934.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2018c). *Presentación Calidad del aire: Una prioridad de política pública en Colombia - Departamento Nacional de Planeación*. 5. Recuperado de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentación Calidad del Aire 15_02_2018.pdf

Dijkstras, E W., D. (1959). Anote on two problems in conexion with grahs. *Numerische Mathematlk*, *6*(2), 269-271.

Dirección de Transporte, Conae, & Martínez, A. (2000). *Manual De Información Técnica De Neumáticos.* 27. Recuperado de http://www.fivi.cat/archibos_fivi/manual_llantas.pdf

Dirección de Transporte y tránsito, grupo de investigacion y desarrollo en trasnporte (Nov.2007).Ministerio de transporte Estructura de costos de operación vehicular. *Informe ejecutivo.* 27. Recuperado de https://mintransporte.gov.co

Escobar García, D. A., & Garcia, F. J. (2012). *Diagnostico de la Movilidad Urbana de Manizales*.

European Environment Agency. (2551). *EMEP EEA air pollutant emission inventory guidebook*

2016 Introduction. (21).

GARCIA SAN JOSE, R. (2001). Combustion y combustibles. *Combustion*, 1-23.

Gomez Gelvez, J. A., Mojica, C. H., Kaul, V., & Isla, L. (2016). La incorporacion de los vehiculos electricos en america latina. *Banco Interamericano de Desarrollo*, *53*(9), 1689-1699. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Gutiérrez, A. (2012). ¿qué es la movilidad? Elementos para (re) construir las definiciones básicas del campo del transporte. *Bitacora Urbano Territorial*, *21*(2), 61-74.

Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. Journal of the American Institute of Planners, 25(2), 73-76. https://doi.org/10.1080/01944365908978307

Hinestroza Olascuaga, L. M. (2014). *Formulacion de un marco regulatorio para la integracion optima del vehiculo electrico con el sector electrico y la movilidad urbana de Bogota D.C.* 142. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/41990/

IDEAM, I. de H. M. y E. A.-. (2016). *Informe del estado del aire en Colombia* (Vol. 14). https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCILLERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científica para los Tomadores de Decisione- Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. En *BMC Genetics* (Vol. 13). https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-58

Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: A search for an operational form. Regional Studies, 5(2), 101-107. https://doi.org/10.1080/09595237100185131

Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), U. N. de C. S. M., & Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental, C. (2018). *Boletín calidad del aire en manizales periodo enero - septiembre de 2018*. 1-14.

Laumbach, R. J. (2010). Outdoor air pollutants and patient health. *American Family Physician*, *81*(2), 175-180.

Leduc, G. (2008). Road Traffic Data : Collection Methods and Applications. *EUR Number: Technical Note: JRC 47967*, *JRC 47967*(May), 55. https://doi.org/JRC 47967 - 2008

Lopez Castro, M. O. (2013). GUIA AMBIENTAL PARA EL TRATAMIENTO DE VEHÍCULOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL (VFVU) O DESINTEGRACIÓN VEHICULAR. *Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, *53*(9), 1689-1699. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

MinComercio. (2017). *Decreto Número 1116 de 2017*. 2026-2028. Recuperado de http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO 1116 DEL 29 DE JUNIO DE 2017.pdf

Mintransporte. (1998). *RESOLUCION 4350 DICIEMBRE 31 DE 1998*. *1*(071116072), 7. Recuperado de http://journal.unair.ac.id/download-fullpapers-ln522cc87c61full.pdf

Montoya Gomez, J. A. (2019). ANÁLISIS DE COBERTURA, MEDIANTE ACCESIBILIDAD GEOGRÁFICA, PARA SISTEMAS DE PARADEROS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO URBANO.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA SEDE MANIZALES, *8*(5), 55.

Morales Pinzon, T., & Arias Mendoza, J. J. (2013). *CONTAMINACIÓN VEHICULAR EN LA CONURBACIÓN PEREIRA-DOSQUEBRADAS*.

Onursal, B., & Gautam, S. P. (1997). CONTAMINACIÓN POR VEHÍCULOS AUTOMOTORES Experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina. *Banco Mundial*. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter0.pdf

Q Hussain, H Feng, R Grzebieta, T Brijs, J Oliver, (2019). The relationship between impact speed and the probability of pedestrian fatality during a vehicle -pedestrian crash: A systematic review and meta-analysis. *Revista Elsevier.* https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.033

Quintana, B. M. (2014). Modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá D.C. *Universidad Nacional De Colombia. Departamento De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica*, 137.

Rodr, F. (2009). Editorial del Dossier Movilidad sostenible una construcción multidisciplinaria. *Revista de Ingeniería*, *unknown*(29), 72-74. https://doi.org/10.16924/riua.v0i29.246

Rojas, R. (2007). *Sistemas de costos .Un proceso para su implementación*. 223. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/6824/5/97895882800907.pdf

Superintendencia de industria y comercio (2016). Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial (CIGEPI). *Sistemas de carga para vehiculos eléctricos Boletín tecnologico*. 223. Recuperado de www.sic.gov.co › sistemas-de-carga-para-vehiculos-electricos

Thomson, I., & Bull, A. (2001). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales recursos naturales e infraestructura. En *CEPAL - SERIE: Recursos naturales e infraestructura.* Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6381/1/S01060513_es.pdf

Tyler, N., Acevedo, J., Bocarejo, J. P., & Velásquez, J. M. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. *Universidad de los Andes*, 35 págs.

UPME. (2016). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. *Ministerio de Minas y Energía*, 1-157. Recuperado de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf

Velandia Duran, E. A. (2007). Fundamentos para el desarrollo de sistemas de trasnporte con traccion electrica como una alternativa sostenible para Bogotá Colombia. *Epsilon, revista de las facultades de ingenieria*, *3*, 89-104. Recuperado de http://autoorganizacioncreativa.net/FelipeRivas-AutoorganizacionCreativa-2010.pdf

Wang, P., Hunter, T., Bayen, A. M., Schechtner, K., & González, M. C. (2012). Understanding road usage patterns in urban areas. Scientific Reports. [i]https://doi.org/10.1038/srep01001

Zapata, G., María, M., & Maya Ochoa, C. (2008). Volatility modeling of electric power prices in Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *7*(12), 87-114. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-33242008000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es%5Cnhttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242008000100006