

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Autos eléctricos enchufables (Plug-in Electric Vehicles): Factores que influyen en el consumo de la energía, costo y desempeño en Quito**

Proyecto de investigación

**Isaac Felipe Carpio Rubio**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 17 de diciembre de 2019

Universidad San Francisco de Quito USFQ  
Colegio de Ciencias e Ingeniería

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Autos eléctricos enchufables (Plug-in Electric Vehicles): Factores  
que influyen en el consumo de la energía, costo y desempeño en  
Quito**

**Isaac Felipe Carpio Rubio**

**Calificación:**

Nombre del director, Título académico

Alfredo Valarezo, PhD

**Firma del director:**

\_\_\_\_\_

Quito, 17 de diciembre de 2019

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

---

Nombres y apellidos:

Isaac Felipe Carpio Rubio

Código:

00125232

Cédula de identidad:

1718007717

Lugar y fecha:

Quito, 17 de diciembre de 2019

## **Agradecimientos**

A mi familia por su incondicional amor y apoyo durante toda la carrera especialmente a mi hermano Jorge quien me acompañó siempre y fue mi guía para poder culminar la tesis.

Especial agradecimiento a mi director de tesis: Alfredo Valarezo, por su guía, compromiso, apertura, entereza y apoyo en mi desarrollo personal y estudiantil durante mi carrera y mi proceso de titulación. A mis padres quienes me sostuvieron en los momentos más difíciles y me supieron soportar en todo momento. Al grupo de ingeniero Mecánicos Jorge Carpio Emilio Morales y Luis Castellano quienes supieron ayudarme en la interpretación de los datos como en la construcción del sistema de datos del, al departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito.

Finalmente, un gran agradecimiento a mis amigos Alex Laufer, Nicolas Viñas, Juan Martin Villacreses y Mauro Rivadeneira por la colaboración intelectual y su incondicional apoyo en todo momento en la universidad.

## RESUMEN

En este estudio se analiza por primera vez, la competitividad de autos eléctricos (EVs) en Quito, Ecuador, basándose en el consumo energético, costo y desempeño mecánico. Esto se logró mediante un sistema recolección de datos a tiempo real del desempeño mecánico del vehículo comparado a los datos de conducción. Este sistema, permitió recopilar información que se utilizó para analizar el rendimiento de los EV y el estilo de conducir de los conductores. El análisis mostró en primer lugar que los EVs son eficientes dentro de la ciudad, y también cuando circula a través de autopistas, tomando en cuenta factores como el tráfico, y el relieve. Todo esto comparado con un vehículo convencional a gasolina. En segundo lugar, se concluyó que la forma de conducir del usuario de un EV trata de tener un punto de equilibrio entre el consumo de energía y el tiempo de viaje para llegar. En base a los resultados del análisis, esta investigación discute las medidas actuales que se consideran para mejorar la competitividad de los autos eléctricos.

Palabras clave: Vehículos Eléctricos o EVs, Movilidad, Datos de EVs, Consumo de energía de es, Desempeño de EVs

## **ABSTRACT**

This study analyzes for the first time the competitiveness of electric cars (EVs) in Quito, Ecuador, considering energy consumption, cost and mechanical performance. This is done through a real-time data collection system, as well as driving data. This system collects information that will be used to analyze the performance of the EVs and the driving style of the drivers. The analysis showed first that EVs are still efficient within the city, such as when driving through highways considering factors such as traffic, ups and downs compared to a conventional vehicle. In the second place it is concluded that the way of driving the user of an EV tries to have a balance between energy consumption and travel time to arrive making it a quieter driver with respect to mobile users. Based on the results of the analysis, this research discusses the current measures currently being considered to improve the competitiveness of electric cars.

**Key words:** Electric vehicle, Mobility, EV data collection system, EV performance, EVs energy consumption

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>Materiales y metodología .....</b>	<b>16</b>
1.1.	Metodología.....	16
1.2.	Sistemas .....	16
1.2.1.	Sistema para el desempeño de los vehículos .....	16
1.2.2.	Sistema de datos del comportamiento de los conductores .....	19
1.2.3.	Selección de Vehículos.....	23
1.2.3.1.	Vehículo Eléctrico: EV .....	23
1.2.3.2.	Vehículo de combustión Interna: ICEs .....	24
<b>2.</b>	<b>Resultados y discusiones.....</b>	<b>26</b>
2.1.	<b>Factores que influyen la competitividad del EV.....</b>	<b>26</b>
2.1.1.	Costo de la energía y de la gasolina. ....	26
2.1.1.	Mantenimiento .....	26
2.1.2.	Infraestructura: Electrolineras y/o conexiones caseras.....	27
2.1.3.	Políticas e Incentivos de los EVs en Ecuador.....	28
2.2.	<b>Comportamiento de los conductores .....</b>	<b>28</b>
2.2.1.	Elección de las rutas para análisis .....	29
2.2.2.	Estilo de manejo de “Casa” a “Xlugar” .....	31
2.3.	<b>Desempeño de los vehículos .....</b>	<b>35</b>
2.3.1.	Eficiencia energética en la ciudad versus la eficiencia en la autopista del vehículo eléctrico .....	35
2.3.2.	Potencia vs Velocidad .....	35
2.3.3.	Estado de carga del vehículo eléctrico (SOC) .....	39
2.3.4.	Consumo de Combustible del vehículo convencional.....	43
<b>3.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>47</b>
<b>4.</b>	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Beneficios de un nuevo tipo de automóvil: .....	13
Tabla 2: Precio actual de los combustibles en Ecuador .....	26



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Arquitectura del sistema de recolección de datos .....	16
Figura 2: Escáner utilizado para los vehículos .....	18
Figura 3: CANEDGE1 CAN BUS DATA LOGGER más tarjeta SD.....	19
Figura 4: Ejemplo de datos entregados por los dispositivos.....	19
Figura 5: ESP32 GREY Development Kit with 9Axis Sensor" .....	20
Figura 6: Modulo GPS “NEO-M8N” .....	20
Figura 7: Sistema de datos del GPS .....	21
Figura 8: Ejemplo de datos entregados para el comportamiento.....	22
Figura 9: Kia Soul, modelo 2015.....	24
Figura 10: Citroën Berlingo, modelo 2015 .....	25
Figura 11: Ruta 1 de "Casa a un X lugar" .....	30
Figura 12: Ruta 2 de " X lugar a Casa .....	30
Figura 13: Información de la Ruta 1 .....	31
Figura 14: Información de la Ruta 2 .....	33
Figura 15: Costo y Eficiencia .....	34
Figura 16: Potencia en función de la velocidad en Ciudad de "CaX" del vehículo eléctrico..	36
Figura 17: Potencia función de la velocidad en Autopista de "CaX" del vehículo eléctrico...36	
Figura 18: Potencia función de la velocidad en Ciudad de "XaC" vehículo eléctrico.....36	
Figura 19: Potencia función de la velocidad en Autopista de "XaC" del vehículo eléctrico...37	
Figura 20: Potencia función de la velocidad en Autopista de "XaC" del vehículo convencional. ....	38
Figura 21: Potencia función de la velocidad en Ciudad de "CaX" del vehículo convencional. ....	38
Figura 22: Potencia en función de la velocidad en la ciudad en de "XaC" del vehículo convencional. ....	38
Figura 23: Potencia en función de la velocidad en la autopista en de "XaC" del vehículo convencional. ....	39
Figura 24: SOC real y teórico en función de la distancia .....	40
Figura 25: SOC real y altitud en función de la distancia de “CaX” .....	41
Figura 26: SOC real y altitud en función de la distancia de “XaC” .....	42

Figura 27: Energía utilizada y tráfico en función de la distancia de "CaX" .....	43
Figura 28: Energía utilizada y tráfico en función de la distancia de "XaC" .....	43
Figura 29: Consumo total y altitud en función de la distancia .....	44
Figura 30: Consumo total y altitud en función de la distancia .....	45
Figura 31: Consumo de combustible y tráfico con respecto a la distancia de "CaX" .....	46
Figura 32: Consumo de combustible y tráfico con respecto a la distancia de "XaC" .....	46

## Introducción

En la actualidad los automóviles son una de las más brillantes ideas que ha tenido el ser humano, su capacidad para transportar ha permitido cambiar radicalmente la forma en que viven las personas. Desde sus inicios, la industria automotriz, ha utilizado en su mayoría automóviles de combustión interna o por sus siglas en inglés ICEs, que son todos aquellos vehículos que utilicen combustibles fósiles como fuente principal de energía, los cuales, generan una fuente considerable de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>, que ha afectado considerablemente a la temperatura y clima (Wu, Freese, Cabrera, & Kitch, 2015). Hoy en día el calentamiento global se ha vuelto una de las principales preocupaciones en todo el mundo, principalmente por el constante uso de combustibles fósiles. Según la agencia internacional de energía (IEA) uno de los principales responsables es el sistema de transporte, el cual representa el 26% del consumo total global, mientras que emite una cantidad de CO<sub>2</sub> al medioambiente de alrededor de 2.7 billones de toneladas, lo cual representa el 23% de las emisiones totales en el mundo (Muneer & García, 2017). Estos resultados han motivado a la comunidad internacional y varios países a establecer medidas de prevención que incluyan normas que permitan la introducción de vehículos más amigables con el medio ambiente, siendo los más populares los vehículos electivos enchufables o PEV. Estos vehículos no fueron inventados hace poco, realmente nacieron alrededor de los años 1800 por el inventor Escocés Robert Anderson y en los últimos años han sido vistos como una solución a este problema ambiental. Estos son impulsados completamente por uno o más motores eléctricos que utilizan electricidad de su sistema de almacenamiento interno, generalmente hecho de baterías de litio (Doyle & Muneer, 2017), estos necesitan de estaciones de servicio de recargas llamadas electrolinerías, que pueden ser instaladas en estacionamientos, gasolineras y hogares. La mayoría de los vehículos eléctricos enchufables utilizan un sistema de recuperación de energía conocido como sistema regenerativo de frenos, el cual es una técnica única que utiliza la energía cinética que

se forma al desacelerar. (Wu et al., 2015). Sin embargo, no se ha experimentado realmente la eficiencia en el consumo de la energía en cada región en donde se propone implementas estos vehículos eléctricos

En Ecuador a partir de 2008, el gobierno desarrollo un plan ecológico y social de hacer efectivo un cambio en la matriz energética que incluyó una renovación de las leyes y políticas energéticas (Constantes, 2016). A partir de esto se empezó con el plan de la construcción de plantas de energía renovables, con el fin de implementar energía limpia, logrando así un cambio en la matriz productiva del país (Purcell & Martínez, 2018). Estos representan beneficios ambientales, legislativos y regulaciones que brindan una mayor facilidad al ingreso de los PEVs como de otros vehículos alternativos. Algunas de las razones para que se efectuó el cambio son la irregularidad de los precios del petróleo, conflictos con los grupos indígenas y ambientalistas por el cambio de políticas mineras y disminuir la dependencia de plantas de energía térmicas y combustibles fósiles (Purcell & Martínez, 2018). Esto supone una gran contribución a la reducción de gases de efecto invernadero en el país y por ende en el mundo. Por lo tanto, la inclusión de vehículos eléctricos sumaría un gran beneficio a estas medidas expuestas.

Se conoce que la primera iniciativa de adopción de autos eléctricos en el país fue, el proyecto de la creación de una cooperativa de taxis en Loja, llamada Ecotaxis, con unidades cien por ciento eléctricas. Este fue un emprendimiento de una sociedad de 30 migrantes que se asociaron con el actual cabildo de Loja para mediante la ayuda de un crédito sacar el proyecto adelante. Esta cooperativa consta de 30 unidades de la marca BYD EMotors 100, que costaron aproximadamente 35000 USD por unidad (Economía, 2018). Estos pueden recorrer libremente, según el fabricante, un máximo de 200 kilómetros por cada carga completa a una velocidad de 130 kilómetros por hora, con una batería que se demora en cargar un total de 5 a 6 horas (Economía, 2018). Además, se conoce que en Ecuador existen alrededor de 5 modelos de

vehículos eléctricos: “Twizy y Zoe” de Renault; “Leaf” de Nissan; “Bolt” de Chevrolet; “E5” de BYD y “Soul” de Kia; cuyos precios varían entre 14990 y 34990 USD, según las características del modelo (Castillo & Serrano, 2018). Actualmente existen 6,581 vehículos híbridos y 240 vehículos totalmente eléctricos(Castillo & Serrano, 2018).

Estos vehículos ya fueron presentados en Quito, no obstante, aún no se ha tenido resultados sobre si realmente cumplen con sus características en desempeño, en la capital. Es por esta razón que existe una necesidad analizar si un vehículo eléctrico será más beneficio con respecto a un auto convencional, así como también la de aclarar la duda sobre los problemas que existen hoy en día con respecto al uso de los PEVs. A partir de estos análisis, se puede determinar si un auto eléctrico es competitivo o no. La competitividad está basada en el desempeño y en las políticas que se rijan en el país, si se analiza las cifras de autonomía pueden variar específicamente de región en región, en Quito, el cual se encuentra ubicado en una zona geográfica muy irregular y que posee un clima impredecible. Por lo que se vuelve bastante interesante saber si estas combinaciones de consumo revelarán información importante sobre lo que pueden llegar a ser los PEVs en el país. En consecuencia, con esta investigación la adopción pública de los vehículos podría verse aumentada debido a potenciales ahorros en costos con respecto a los ICEVs. Los beneficios extrapolados por Mitchell, Hainley, & Burns (2010) se presentan en la tabla 1. Todas estas características requeridas para alcanzar estos beneficios a largo plazo se han tratado de implementar en mayor medida en las nuevas generaciones de PEVs, como lo hizo “TESLA”(Wu et al., 2015)

Tabla 1: Beneficios de un nuevo tipo de automóvil:

Ideas		Cambio en la movilidad		Beneficios
ADN automotriz nuevo (eléctrico y conectividad) + Internet Móvil + Energía Limpia e inteligente + Mercados con precios dinámicos	=	Cero emisiones de efecto invernadero. Usos de energía Renovable. Reducción de accidentes. Seguridad en la formación de redes empresariales mientras se conduce. Conducción autónoma y divertida. Diseños más cortos de automóviles. Tiempos de viaje más predecibles y cortos. Estacionamiento eficiente tanto en espacio como en tiempo. Ciudades silenciosas. Calzadas más grandes.	=	Aumento en la libertad en las actividades del usuario + movilidad sostenible + prosperidad y crecimiento económico sostenible

Mitchell, W., Boronia-Bird, C., & Burns, L. (2010). *Reinventing the automobile* (1st ed.). Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology

Aunque la popularidad de estos vehículos haya aumentado en los últimos años también se deben considerar algunos contras de estos como el rango, el cual es limitado; tiempo de recarga, que toma mucho más que en un auto convencional; costo elevado; falta de variedad en modelos. Sin embargo, estos contras no superan la calidad y los beneficios que se pueden alcanzar, además de que estas desventajas pueden ser corregidas conforme la ciencia y la tecnología avancen con nuevas ideas y soluciones para estos problemas actuales de los PEVs.

El alcance de este proyecto se basa en analizar un vehículo eléctrico y un vehículo convencional que se encuentren comercialmente en el país, para que mediante un sistema de recolección de datos se pueda analizar de manera precisa tanto el desempeño que incluye: el estado de carga o combustible utilizado con respecto a la distancia, la velocidad y el tráfico relativo en la ciudad; como el comportamiento del conductor que incluye los datos de telemetría como la ruta que escogió para movilizarse. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo principal determinar la competitividad de los vehículos eléctricos en Quito, Ecuador, por medio de un análisis del consumo de energía y ubicación en tiempo real, obtenidos del dispositivo tipo “CAN bus Data Logger” así como de un GPS, respectivamente.

A través de este sistema se analizará tanto el comportamiento del conductor mediante los datos de la velocidad y posición del vehículo (latitud, longitud y elevación) y el estado de carga y tráfico. Además, se profundiza en el desempeño del vehículo eléctrico relacionando la energía consumida de la batería del EV con la velocidad del vehículo, así como con la geografía de la carretera. Por último, se analizará brevemente los factores que influyen en la competitividad de los EVs: precio de la energía, infraestructura, incentivos y mantenimiento. Además, se espera ver si existe algún cambio en el comportamiento del conductor en un vehículo eléctrico.

# 1. Materiales y metodología

## 1.1. Metodología

La elaboración del sistema de recolección de datos para los vehículos eléctricos en este estudio de investigación permitirá recolectar tanto datos del EV como la información de conducción. A continuación, esta sección explicará con profundidad cada detalle del sistema, es decir sus partes, así como también como utilizarlo. La explicación está dividida en 2 partes: el sistema de datos del vehículo y el sistema de datos de conducción. El primero registrará la información a tiempo real del vehículo, mientras que el segundo recolecta los datos de localización o telemetría generando una trayectoria de viaje. Estos se relacionan y se sincronizan para finalmente procesarlos. En la figura 1 se muestra la arquitectura para el sistema de recolección de datos.

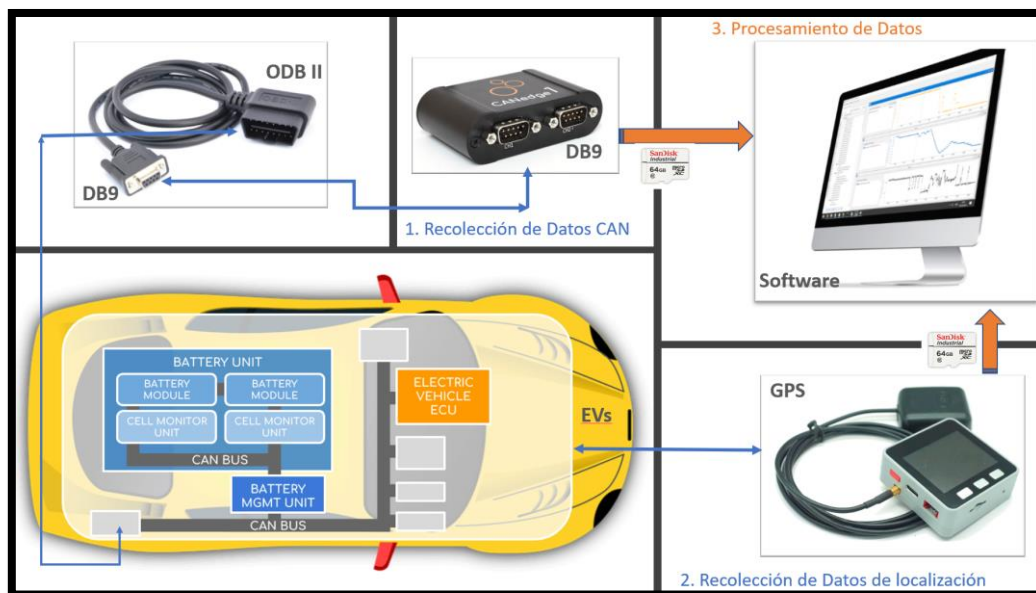


Figura 1: Arquitectura del sistema de recolección de datos

## 1.2. Sistemas

### 1.2.1. Sistema para el desempeño de los vehículos



Para entender este sistema es necesario explicar sobre los componentes centrales en el registro de datos automotrices, que son el “CAN Bus” y “ODB II” los cuales abarcan desde el diagnóstico del automóvil hasta la optimización. En primer lugar, el “Controler Area Network” o simplemente CAN por sus siglas es un protocolo de bajo costo, centralizado y eficiente desarrollado por Robert Bosch en 1986 y fue esencial para muchas aplicaciones entre automóviles, camiones, tractores como el medio de comunicación entre el ECUs, y el BMS (CSS Electronics, 2019). La unidad de control electrónico o (ECU) es el sistema integrado dentro del vehículo que controla uno o más de los sistemas o subsistemas eléctricos de un vehículo como la unidad de control del motor, los airbags o el sistema de audio, etc. (Hauser & Kuhn, 2015). En cambio, el sistema de gestión de la batería o (BMS) automotriz es el principal preservador de seguridad del sistema de batería de los vehículos eléctricos, cuya función es garantizar el funcionamiento fiable y seguro de las celdas de la batería conectadas al motor para suministrar altas corrientes a niveles de alto voltaje.

Por otra parte el “On-Board Diagnostics” o ODB II por sus siglas en inglés del vehículo, se define como el sistema de lenguaje autodiagnóstico del vehículo que permite ver el mal funcionamiento del motor u otro sistema del vehículo (CSS electronics, 2019). El sistema se origina en California, donde la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) comenzó a exigir que el sistema OBD este instalado en todos los automóviles para fines de control de emisiones(SAE International, 2011). Esto se hizo efecto con todos los carros fabricados a partir de 1996, favorecido por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) y que permitió una estandarización de los códigos de diagnóstico y el conector OBD en todos los fabricantes (SAE International, 2011). Hoy, el sistema OBD-II es, por lo tanto, estándar en la mayoría de los vehículos. Es imprescindible para facilitar la resolución de errores y la estandarización de los códigos de diagnóstico o (DTC) y evita que solo los fabricantes puedan acceder a estos datos (CSS electronics, 2019) . La diferencia entre OBD-II y el CAN BUS, está en que el OBD-II es

un "protocolo de capa superior" (como un lenguaje), mientras que el CAN BUS es un método o medio de comunicación (como el teléfono)(CSS electronics, 2019). Desde 2008, el CAN BUS (ISO 15765) se ha convertido en el protocolo obligatorio para OBD-II y es el estándar en automóviles y vehículos en el mundo(CSS electronics, 2019). Cabe señalar que este estudio no se profundizara en cómo se registra los datos ODB II, sin embargo, en términos prácticos, OBD-II funciona de la siguiente manera: se conecta un escáner de datos OBD-II al conector OBD-II de 16 pines, El ECUs del vehículo reacciona y envía un "mensaje de solicitud" a través del CAN BUS, obteniendo así los datos del vehículo.

Para soportar esta investigación se hizo un análisis exhaustivo de los sensores que se podría ocupar para tomar los datos específicos de los EV. Sin embargo, debido a problemas de compatibilidad y lectura de archivos se terminó utilizando dispositivo ELM ODBII 327 que se muestra en la Figura 2,



Figura 2: Escáner utilizado para los vehículos  
Fuente:

Este se conecta mediante bluetooth a una aplicación llamada "Torque pro" al celular Esta aplicación sirve para recolectar tiempo real la información de la mayoría de los vehículos con el puerto OBD-II. Luego la APP permite guardar dentro de la SD del teléfono los datos. Otro candidato a utilizar fue el "CANEDGE 1" que se muestra en la figura 3, el cual, era ideal para monitorear sistemas durante largos períodos para el desarrollo, diagnóstico, mantenimiento o investigación para todo tipo de vehículos, tractores, buses, etc. (CSS ELECTRONICS, n.d.). Sin embargo, debido a que requiere de un archivo especial único de cada marca no se pudo llegar a utilizar.



Figura 3: CANEDGE1 CAN BUS DATA LOGGER más tarjeta SD  
Fuente:

A través de ellos se recopilará datos para dos vehículos en tiempo real incluyendo el uso de la batería, el estado de carga de la batería, el consumo de combustible y la velocidad, que permitirán analizar diferentes características del consumo de la energía de un EV. Estos datos son entregados en formato tipo CSV como se muestra en la figura 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	GPS Tim	Comp	Altitude	Fuel use	Fuel use	Capacidi	Cost per	CO <sub>2</sub> in g.	Trip Dist	Engine k	Kw Engin	Fuel flow		
20	9:42:30 PM	10:00:00 AM	11:42:30	90	2804	0.067117	0.254067	59.74593	0.061849	492.6997	0.278416	1.341923	1.677404	0.015021
21	9:42:35 PM	10:00:00 AM	11:42:35	95	2803	0.06883	0.26055	59.73945	0.049772	329.8697	0.317787	7.26725	9.084062	0.014631
22	9:42:40 PM	10:00:00 AM	11:42:40	100	2802	0.06985	0.264412	59.73559	0.040744	349.5454	0.381976		0	0.013566
23	9:42:45 PM	10:00:00 AM	11:42:45	105	2801	0.071696	0.271398	59.7286	0.186016	1319.71	0.393481	2.435941	3.044927	0.04756
24	9:42:50 PM	10:00:00 AM	11:42:50	110	2800	0.075506	0.28582	59.71418	0.11318	0	0.457865	5.685507	7.106884	0
25	9:42:55 PM	10:00:00 AM	11:42:55	115	2802	0.076871	0.290988	59.70901	0.025758	186.9067	0.522332	-	#¡VALOR!	0.011917
26	9:43:00 PM	10:00:00 AM	11:43:00	120	2803	0.077054	0.29168	59.70832	0.024306	161.6149	0.564975	-	#¡VALOR!	0.006046
34	9:43:40 PM	10:00:00 AM	11:43:40	160	2806	0.082723	0.313139	59.68686	0.040901	532.2244	0.611066	7.896538	9.870672	0.016225
35	9:43:45 PM	10:00:00 AM	11:43:45	165	2804	0.084376	0.319396	59.6806	0.059347	489.7696	0.659882	6.584706	8.230883	0.024435
36	9:43:50 PM	10:00:00 AM	11:43:50	170	2803	0.087109	0.329744	59.67026	0.067937	680.1365	0.716961	11.18318	13.97897	0.042422
37	9:43:55 PM	10:00:00 AM	11:43:55	175	2802	0.088724	0.335856	59.66414	0.039836	289.0965	0.773255	7.102211	8.877764	0.020035
38	9:44:00 PM	10:00:00 AM	11:44:00	180	2800	0.090248	0.341627	59.65837	0.040111	319.2792	0.866538	6.915638	8.644547	0.023455
39	9:44:05 PM	10:00:00 AM	11:44:05	185	2800	0.092425	0.349867	59.65013	0.043456	306.8687	0.923556	5.117918	6.397398	0.023815
40	9:44:10 PM	10:00:00 AM	11:44:10	190	2799	0.094307	0.356992	59.64301	0.033891	293.1594	0.99823	5.619238	7.024048	0.023566
41	9:44:15 PM	10:00:00 AM	11:44:15	195	2800	0.095908	0.363053	59.63695	0.032134	0	1.084637	-	#¡VALOR!	0
42	9:44:20 PM	10:00:00 AM	11:44:20	200	2801	0.096044	0.363566	59.63643	0.00546	192.6243	1.144174	-	#¡VALOR!	0.005607
43	9:44:25 PM	10:00:00 AM	11:44:25	205	2802	0.098351	0.372299	59.6277	0.106792	3626.675	1.166047	11.52507	14.40634	0.090483

Figura 4: Ejemplo de datos entregados por los dispositivos

Por fines de esta investigación se analiza las relaciones entre descarga de la batería y consumo de combustible, velocidad y la geografía del segmento vial. Las características de consumo de energía de los vehículos eléctricos podrían ser diferentes al conducir en calles urbanas como en autopistas, por lo que es necesario categorizar los datos en la conducción en primer lugar como “Ciudad” y en segundo lugar como Autopista según en qué segmento vial se encuentre el EV y el ICE.

### 1.2.2. Sistema de datos del comportamiento de los conductores

La recopilación de datos se realiza mediante un módulo GPS, de la marca “M5STACK” de modelo “ESP32 GREY Development Kit with 9Axis Sensor” que se muestra en la Figura 5. Es un dispositivo modular y portátil con WIFI y bluetooth que está alimentado con un núcleo ESP-32, que es un microprocesador de código abierto, de bajo costo, de función completa y fácil para los desarrolladores de manejar nuevos productos (M5STACK, 2019a).



Figura 5: ESP32 GREY Development Kit with 9Axis Sensor"  
Fuente:

Junto a este se utilizó un módulo GPS con antena externa e interna de serie “NEO-M8N” de la misma marca como se ve en la Figura 6, el cual tiene una fuerte sensibilidad y tiempos mínimos de adquisición de datos a bajos niveles de energía que soportan múltiples sistemas globales de navegación por satélite o GNSS (M5STACK, 2019b).



Figura 6: Modulo GPS “NEO-M8N”  
Fuente:

Una vez que se adquiere este dispositivo, es necesario cargar un código, que permita llamar a las APIs de Google para que entreguen los datos de latitud, longitud y elevación y de tráfico. La interfaz de programación de aplicaciones o APIs son un conjunto de funciones y protocolos que contienen bibliotecas, cuya función permite la comunicación y unión con diferentes

softwares (Chow, 2008). Luego, se debe crear un usuario en Google Cloud Platform, el cual, es una plataforma que reúne aplicaciones de desarrollo web que permite información y obtención de datos de ubicaciones, lugares y tráfico a tiempo real mediante los APIs (Chow, 2008). Una vez creado es necesario seleccionar los siguientes APIs: Directions API, Distance Matrix API, Maps Elevation API, Maps JavaScript API, Roads API. Luego es necesario generar un programa que permita utilizar estos protocolos de Google. Por fines prácticos no se explicará cada línea de la programación, sin embargo, se explicará de manera concisa como funciona y que datos genera. Entonces, el programa consiste en inputs y en outputs; los primeros son los APIs y los segundos son los datos que se generaron en el tiempo a través de estos como se ve en la figura 7,

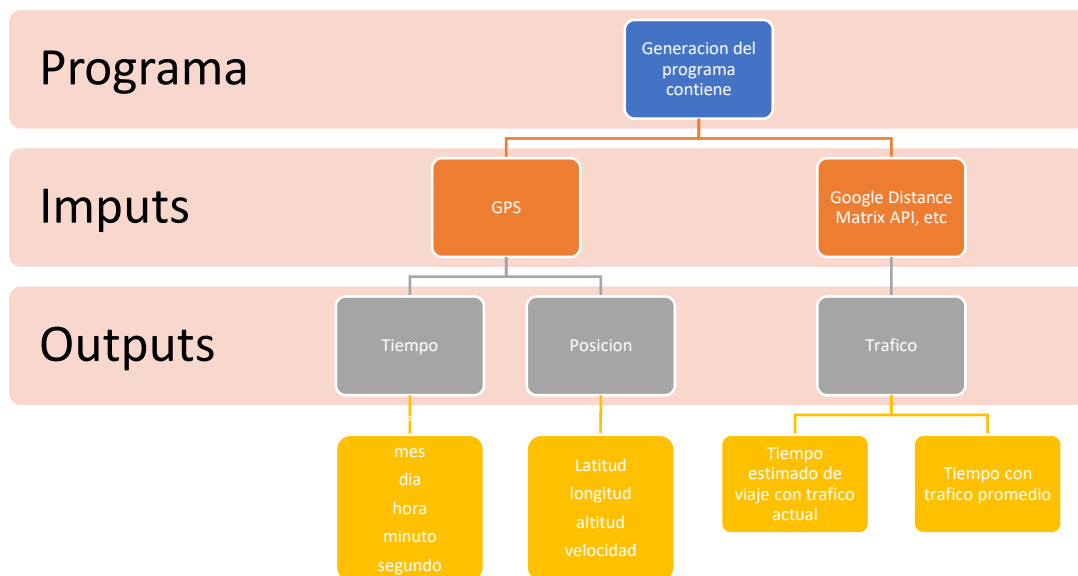


Figura 7: Sistema de datos del GPS

Estos datos constan del tiempo y la posición parte del GPS, mientras que el tiempo estimado en el tráfico como el promedio los da el Google distance Matrix API. Una vez el programa obtenga estos datos se genera automáticamente un archivo tipo CSV que guardará los datos de las rutas realizadas ese día, como se ve en la figura 7.

Fecha/Hora	Latitud	Longitud	Altura	deltaDistancia	Distancia	TraficoRelativo	TiempoConTrafico	TiempoNormal		
5:42:34 PM	-0.31677633	-78.46550967	2500.5	0.09	4523.49	5900	0	1		
5:44:45 PM	###	###	-0.3169175	-78.46612667	2503.7	23.53	151.63	25	47	48
5:44:55 PM	###	###	-0.31605783	-78.46575783	2500.3	104.05	255.67	25	47	48
5:45:00 PM	###	###	-0.31562717	-78.46558283	2498.5	51.7	307.38	25	47	48
5:45:05 PM	###	###	-0.31541767	-78.46549417	2497.5	25.3	332.68	25	47	48
5:45:10 PM	###	###	-0.31497167	-78.46531283	2495.8	53.55	386.23	25	47	48
5:45:15 PM	###	###	-0.314387	-78.46507767	2493.1	70.09	456.33	25	47	48
5:45:20 PM	###	###	-0.313815	-78.46485083	2490.1	68.44	524.77	25	47	48
5:45:25 PM	###	###	-0.313363	-78.46467333	2488.5	54.01	578.78	25	47	48
5:45:30 PM	###	###	-0.31282267	-78.46445483	2486.6	64.83	643.61	25	47	48
5:45:35 PM	###	###	-0.31235233	-78.46426383	2484.8	56.46	700.07	25	47	48
5:45:41 PM	###	###	-0.31216483	-78.46418883	2484.8	22.46	722.53	25	47	48
5:45:46 PM	###	###	-0.31173517	-78.46402067	2484.1	51.32	773.85	25	47	48
5:45:51 PM	###	###	-0.311135	-78.46378333	2483.3	71.78	845.63	-25.93	76	81
5:45:58 PM	###	###	-0.31037967	-78.463482	2481	90.45	936.09	-25.93	76	81
5:46:03 PM	###	###	-0.3101905	-78.46340167	2480	22.86	958.94	-25.93	76	81
5:46:08 PM	###	###	-0.31000133	-78.4631145	2479.3	38.25	997.19	-25.93	76	81
5:46:13 PM	###	###	-0.309933	-78.4629435	2479.7	20.48	1017.67	-25.93	76	81
5:46:18 PM	###	###	-0.30982267	-78.4626735	2479.6	32.44	1050.11	-25.93	76	81
5:46:23 PM	###	###	-0.30967467	-78.4622955	2479.5	45.15	1095.27	-25.93	76	81

Figura 8: Ejemplo de datos entregados para el comportamiento

De todos estos datos generados, el del tráfico es muy importante pues se basa en estimaciones de promedios del tiempo de viaje en cada segmento que el usuario puede tomar en la ciudad. Estos datos de tráfico se toman cada 2 minutos y representan el tiempo estimado de viaje con tráfico actual, el cual es un intervalo definido, como el “Trafico Real” y el tiempo con tráfico promedio que generalmente existe en situaciones de mínima densidad vehicular en la ciudad. Para tener un dato medible de esto se decidió relacionar estos dos datos a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{T_{real} - T_{normal}}{T_{normal}} \times 100\%$$

La ecuación representa la relación entre factores cotidianos de la movilización. Para entender esto de mejor manera podemos ver que si el *Treal* es de alrededor de 60 minutos y el *Tnormal* es de 30 minutos, el usuario ira un 100% más lento. Sin embargo, si ocurre lo contrario el usuario ira un 50% más rápido en la ruta. Tome en cuenta que el valor positivo indica más lento y un valor negativo indica un valor de mayor velocidad del vehículo.

En esta investigación, estos datos se utilizarán para analizar el comportamiento del conductor categorizando las rutas de los viajes que se hizo como: de “Casa” a “Xlugar” y “Xlugar” a “Casa”, estas rutas de los viajes se verán influenciadas directamente por el deseo de llegar a buen tiempo y con menos tráfico, esto aplicado para todos los tipos de vehiculos

pues suponemos que escogerá la ruta con menos tráfico. La segunda es elegir la ruta con más tráfico pero más corta. Ambas opciones poseen efectos basados principalmente en el “**tiempo para llegar al destino**” como el “**ahorro de energía**”. En la sección de resultados se analizará a mayor profundidad esta categorización.

### **1.2.3. Selección de Vehículos**

Los vehículos que se presentan a continuación no son vehículos tan diferentes, con respecto al motor, sin embargo, se debe tomar en cuenta que fueron los únicos asequibles en el periodo de pruebas debido a la dificultad en primer lugar de encontrar un usuario de un vehículo eléctrico que nos permita realizar pruebas, y en segundo lugar que se vincule con el dispositivo ODB-II ELM 327.

#### **1.2.3.1. *Vehículo Eléctrico: EV***

El vehículo escogido fue el “Kia SOUL”, figura 9, pues es el vehículo que se presentó inicialmente en el mercado del Ecuador y ha sido el vehículo con más unidades en todo el país (Robayo, 2017). Este vehículo cuenta con Motor eléctrico con 110 caballos de potencia y 285 N-m de torque, la batería es de iones de litio con una capacidad de 27 kW-h con un consumo promedio de 13.5 kW-h/100km, tiene una transmisión automática y su autonomía es en promedio de entre 160 a 180 kilómetros logrando alcanzar una velocidad máxima de aproximadamente 145 km/h y tiene un peso de aproximadamente 1480 kg (Robayo, 2017)



Figura 9: Kia Soul, modelo 2015

Fuente:

#### **1.2.3.2. Vehículo de combustión Interna: ICEs**

El vehículo escogido para comparación fue el Citroën Berlingo, que se muestra en la figura 10. Este vehículo cuenta con Motor a gasolina con 74 caballos de potencia y 185 N-m de torque, tiene aproximadamente 60 L de reserva de gasolina, tiene una transmisión manual y un consumo promedio de 8 a 10 L/100km, logrando alcanzar una velocidad máxima de aproximadamente 170 km/h, con un peso de 1395 kg (km77, 2019)





Figura 10: Citroën Berlingo, modelo 2015  
Fuente:

## 2. Resultados y discusiones

### 2.1. Factores que influyen la competitividad del EV

#### 2.1.1. Costo de la energía y de la gasolina.

El costo de la energía genera un impacto considerable en el uso de nuevos vehículos, actualmente el valor tanto de la gasolina, super, extra y Diesel son relativamente económicos con respecto a los demás países europeos y americanos. Los valores se encuentran en la tabla 2, mientras que, la electricidad tiene un valor de alrededor de 0.10 USD/kW-h con el subsidio. A simple vista podemos ver como el costo de los combustibles en el país son hasta 8 veces más que el valor que se puede de la electricidad, considerando que estos precios se encuentran subsidiados, el costo en la electricidad sigue superando por creces a los valores de los combustibles fósiles. Esto vuelve mucho más competitivos a los vehículos eléctricos, ya que el costo del viaje desde un punto a otro, cualquiera que sea este y que este dentro del alcance del vehículo eléctrico, será mucho más eficiente y económico. Esto se demostró más adelante en la sección 3.3

Tabla 2: Precio actual de los combustibles en Ecuador

Combustible	USD/Galón	USD/litro
Super	3.005	0.795
Extra	1.850	0.489
Diesel	1.037	0.274

#### 2.1.1. Mantenimiento

El costo del mantenimiento a los vehículos eléctricos en gran medida se ve influenciado por el costo para reponer el paquete de las baterías, el cual, representa costo más elevado. Las baterías de un vehículo eléctrico están hechas para durar un gran número de ciclos de carga, es decir cuantas veces cargas las baterías. Para la mayoría de baterías de Iones de litio, la capacidad de las mismas tienden a reducir después de 3000 ciclos, 10 años y alrededor de 150

000km (Weldon, Morrissey, & O'Mahony, 2018). Es por esto por lo que muchos países en el mundo ofrecen una garantía muy similar. En Ecuador la empresa Kia ofrece una garantía de 160 000 km o 10 años, (Kia Motors Ecuador, 2019). Sin embargo, también se debe agregar al costo de manteniendo otros factores importantes como posibles arreglos en el sistema eléctrico, de frenos, de suspensión y de dirección. El costo total del mantenimiento y repuestos de los EVs en general a lo largo de otros países es de aproximadamente 3000 USD, después de 100000 km (Torres, 2015). En estos datos se tomó en cuenta promedios de los precios, impuestos y valores adicionales del mercado internacional, debido a que no hay información disponible sobre estos datos de mantenimiento. Por otro lado el costo total de mantenimiento en los vehículos convencionales generados a lo largo de 5 años o 100 000 km es alrededor de 5400 USD (Torres, 2015). Como se observa el mantenimiento para los EV es relativamente más económico, por ende, el mantenimiento resulta ser otro factor que beneficie la competitividad de los vehículos eléctricos.

### **2.1.2. Infraestructura: Electrolineras y/o conexiones caseras**

Los puestos de recarga como las electrolineras y conexiones casera son de vital importancia para transporte de un usuario de un vehículo eléctrico, pues que, son estos lo que permiten un amplio radio de movilización en la ciudad y entre ciudades. En Quito actualmente solo existen 3 puntos de carga en la ciudad ubicadas en los centros comerciales: Quicentro sur. Quicentro shopping y Paseo San Francisco en Cumbayá (El Comercio, 2019). Estos puntos fueron puestos por las alianzas que Kia Ecuador hizo para motivar a la compra de estos vehículos, haciendo de estas un servicio gratuito y de carga rápida (El Comercio, 2019). Es por eso necesario buscar puntos cómodos y accesibles para los usuarios, los cuales deberían estar puestos principalmente en las calles y autopistas cada un mínimo de 50 km, en los estacionamientos de las urbanizaciones y casas; y estaciones de servicio. En estas últimas fechas el Alcalde Jorge Yunda anuncio que el Municipio y la Empresa eléctrica de Quito instalarán alrededor de 10

electrolineras, para lo cual aún es necesario solicitar permisos para espacios públicos que designe la Alcaldía por lo que aún no se han llegado a instalar (El Comercio, 2019). Es importante decir que si no hay infraestructura no hay lógica en motivar a la compra de estos vehículos, pero si la hubiese por ejemplo en las autopistas entre cada provincia, los vehículos ya serían capaces de llegar a diferentes puntos del país, así ya no estarían sujetos a una sola ciudad. Esto fue un punto de vista importante para el propietario del Kia Soul EV que se utilizó para las pruebas.

### **2.1.3. Políticas e Incentivos de los EVs en Ecuador**

El país actualmente sigue implementado más incentivos para traer vehículos eléctricos a la ciudad, los cuales se enumerarán a continuación: Tasas de interés del 9.8% para transportistas de cooperativas de transporte liviano, considerando créditos desde los 59 000 USD de activos fijos y 7000 USD para capital de emprendimiento, ofrecido por BanEcuador. (El Universo, 2019) Interés de 7.5% reajutable por cada 90 días para la adquisición de flotas de transporte público por la Corporación Financiera Nacional. (El Universo, 2019). Créditos para vehículos eléctricos con tasa de interés de 12,5 a 13.5 % por el banco del Pacifico. (El Universo, 2019). Exoneración total de los aranceles a la importación de EVs, baterías y demás aprobada por la resolución del Pleno del comité del comercio exterior en Junio de 2019 (El Universo, 2019). Estas políticas son las más importantes que se han llevado en los últimos años, sin embargo, aún falta que se implementen más políticas que no solo sean específicas para los vehículos eléctricos sino para todo el sistema de transporte sostenible que se quiere llegar a formar

## **2.2. Comportamiento de los conductores**

El comportamiento de los conductores se analizará tanto para los ICEs como EVs, en base a una ruta preestablecida. Se debe aclarar que debido a motivos de tiempo de los

propietarios del vehículo y de compatibilidad entre autos y dispositivos se pudo tomar solo alrededor de un viaje por cada vehículo, esto se discutirá con mayor atención en la sección de discusiones. El estilo de los conductores se puede evaluar en base a varios factores como geografía, tiempo, cantidad de combustible entre otros. Se denominará a los conductor X y Y para los vehículos convencional y eléctrico, respectivamente. En primer lugar, se analizará el estilo de conducción de la casa a un lugar específico para los dos tipos de vehículos, luego se analizará de igual manera el estilo de conducción desde ese lugar específico de vuelta a la casa. Cabe señalar que ambos automóviles estaban con el tanque o batería alrededor de su máxima capacidad.

### **2.2.1. Elección de las rutas para análisis**

Se decidió optar por una ruta que contenga tanto un porcentaje de tramos en ciudad como un porcentaje de autopista, por lo que la ruta empieza en una zona urbana del valle de los chillos y termina cerca del parque de la Carolina como se ve en la figura 11. Esta ruta como se puede observar tiene en su gran mayoría un porcentaje de autopista, que es según Wu y Freese el punto de Aquiles de los automóviles eléctricos (Wu et al., 2015). Sin embargo, la parte de ciudad de la ruta tiene un alto nivel de tráfico, puesto que en esa zona es residencial y comercial.

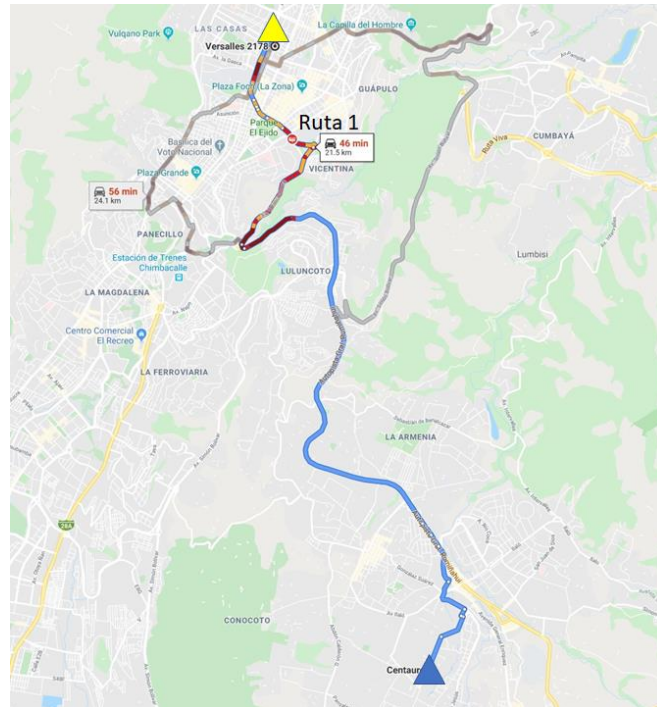


Figura 11: Ruta 1 de "Casa a un X lugar"

La segunda ruta que se puede ver en la figura 12, es en cambio de regreso al valle, sin embargo, esta ruta solo se altera únicamente en la parte de la ciudad puesto que se intentó recorrer más lugares en la ciudad.

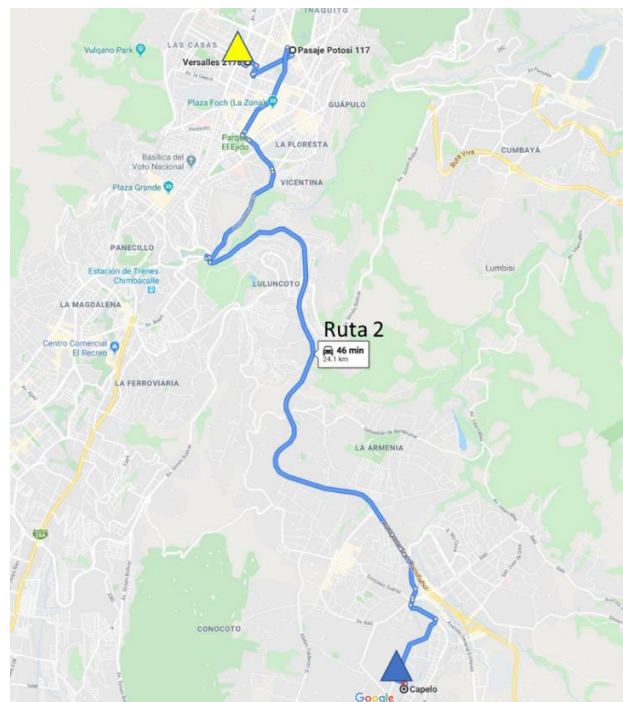


Figura 12: Ruta 2 de " X lugar a Casa"

Ambas rutas poseen alrededor de 23 km de distancia entre punto a punto, en las cuales se encuentran con varias subidas y bajadas que permitirán apreciar cómo se desempeñan ambos vehículos. Este es uno de los factores más importantes en esta investigación puesto que la geografía de Quito al no ser plana puede afectar notablemente a la competitividad de los autos eléctricos

### 2.2.2. Estilo de manejo de “Casa” a “Xlugar”

Para comprender mejor el estilo de manejo de ambos conductores X y Y se analizó el tiempo total de viaje (en min), la distancia total de viaje (en kilómetros “km”), velocidad de desplazamiento promedio (en “km/h”), uso total de energía (en kW), la cantidad de combustible que se utilizó [L] y el promedio de tráfico como se ve en la figura 13.

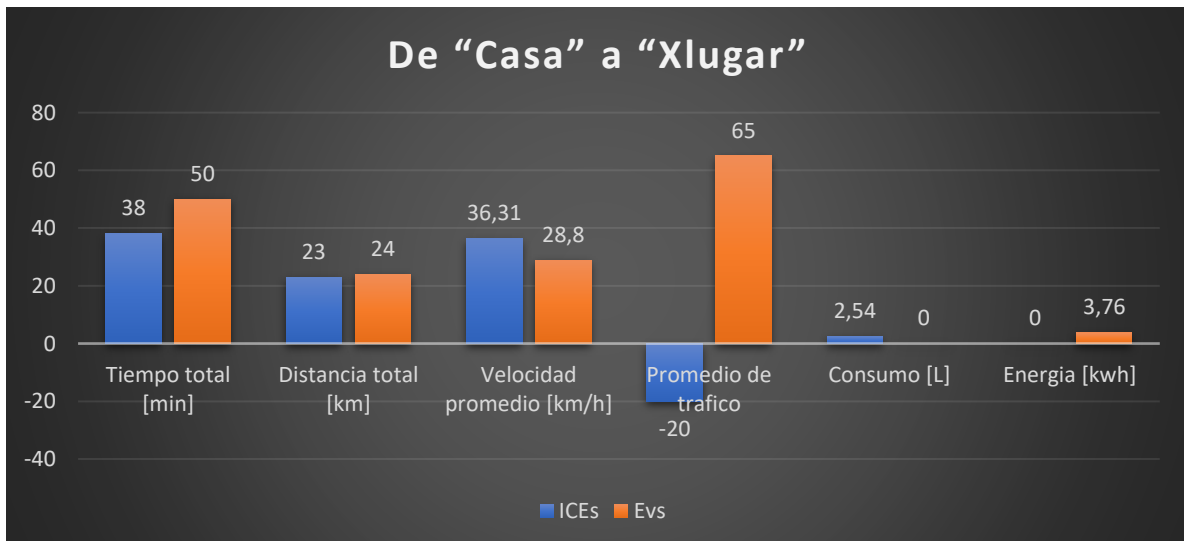


Figura 13: Información de la Ruta 1

De esta Figura podemos observar que a pesar de que la distancia de X y Y es aproximadamente igual, le toma más tiempo al conductor Y en llegar a su destino. Esto sucede pues al haber un mayor porcentaje de tráfico relativo, el usuario se va a demorar más, por lo tanto, el tiempo tiene estrecha relación con el tráfico que es lo que se

esperaría lógicamente. Esto demuestra que el sistema de GPS sirve correctamente y muestra datos reales. Con respecto al consumo, solo se utilizó alrededor de 2.5 litros de diésel mientras que el vehículo eléctrico utilizó alrededor de 3.8 kWh. Si el costo de la gasolina y el de la energía tienen un valor de 0.27 USD/L y 0.10 USD/kWh respectivamente, entonces el costo total por esta ruta es de aproximadamente para el conductor X y Y es de \$0.68 y \$0.38 respectivamente por lo que prácticamente cuesta la mitad movilizarse en un vehículo eléctrico tomando en cuenta el tipo de geografía de la ruta. Cabe señalar que el precio de la gasolina por litro es de alrededor de 0.49 USD/L, que es aún más caro que el valor de la energía. Este costo también es relativo pues, este costo en la ruta puede variar dependiendo igual del estilo de manejo, para esta prueba ambos conductores respetaron los límites de velocidad y manejaron de manera prudente. Sin embargo, se debería realizar pruebas sin un observador ya que puede que este afecte al conductor. El estilo también dependerá como dice Wu & Freese también de qué actividad se encuentre realizando, las condiciones de tráfico, así como el clima, ya que afecta a la hora de que tan rápido va y que ruta escoge para llegar a su destino, no obstante, se necesitaría más pruebas y más tiempo de investigación tomando en cuenta estos factores. Además, el tráfico juega un factor fundamental, pues según Wu & Freese los conductores de EVs prefieren no conducir a lo largo de carreteras, pues al no haber tráfico y paradas, el freno regenerativo no ayudaría a ahorrar el consumo de la batería. (Wu, Freese, Cabrera, & Kitch, 2015) (Ou et al., 2017). Estas pruebas parecen tener sentido si es que se toma en cuenta que la geografía de la ciudad es completamente llana, sin embargo, en el Ecuador esto podría ser diferente pues al tener subidas y bajadas, el vehículo va a variar conforme a la potencia que se necesite en la subida como en la cantidad de tiempo del uso de frenos regenerativos en las bajadas. Posiblemente



esto ayude a elegir la ruta que tome pues de todos modos en las autopistas dentro de Quito existen pendientes que ayudan a mantener el nivel de batería.

Por otro lado, en la ruta 2 que es cuando los conductores tienen que regresar a casa, la información se presenta en la figura 4.

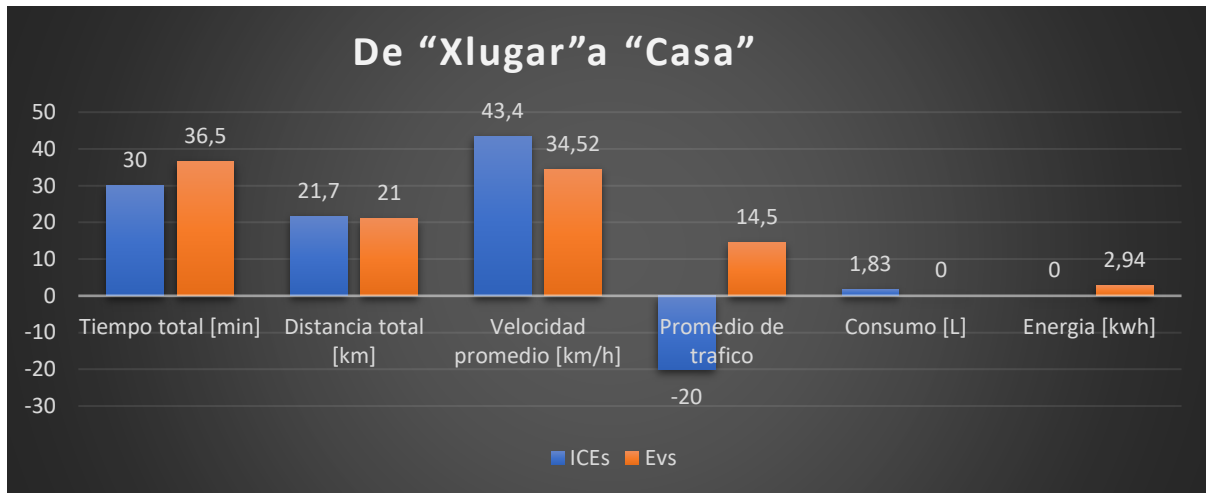


Figura 14: Información de la Ruta 2

En esta ruta es interesante ver como el conductor Y decidió ir por la vía más corta y que le tome menor tiempo. Esto se podría decir que contradice lo dicho por Wu & Fresee, sobre que el conductor de un EV decide tomar rutas de mayor congestión o más largas dentro de la ciudad para cargar el vehículo, sin importar el tiempo que le tome para llegar a su destino (Wu et al., 2015). Es decir que la principal motivación para llegar de un punto a otro sigue siendo llegar en el menor tiempo posible. En este caso, respecto al consumo solo se utilizó alrededor de 1.83 litros de diésel mientras que el vehículo eléctrico utilizó alrededor de 2,94 kWh. Si el costo de la gasolina y el de la energía tienen un valor de 0.27 USD/L y 0.10 USD/kWh respectivamente, entonces el costo total por esta ruta es de aproximadamente, para el conductor X y Y de \$0.49 y \$0.25 respectivamente por lo que prácticamente cuesta la mitad moverse en un vehículo eléctrico tomando en cuenta el tipo de geografía de la ruta en una pendiente de bajada para los vehículos. Cabe señalar que este costo también es relativo pues, este

costo en la ruta puede variar dependiendo igual del estilo de manejo como se explicó anteriormente.

Por lo tanto, ahora de manera general como se aprecia en la figura 15, el costo total de ir y venir a la casa tanto para el ICEs como para el PEVs es de 1,17 y 0,67 USD respectivamente. Además, se puede apreciar como la eficiencia del conductor Y es constante mientras que en el caso del conductor X la eficiencia de combustible tiene una diferencia de 3 L/100km. De estos datos se puede suponer que el conductor Y tuvo un estilo de conducción casi uniforme en todo momento, es decir no acelero ni frenó bruscamente mientras en el caso del conductor X tuvo un estilo de manejo un poco más brusco y acelerado. No obstante, se debe tomar en cuenta que las pendientes jugaron un rol importante en contra de los ICEs pues la gran diferencia entre la eficiencia entre la subida a Quito y la bajada al valle la eficiencia del EV solo es de 0.8 kWh/100km.

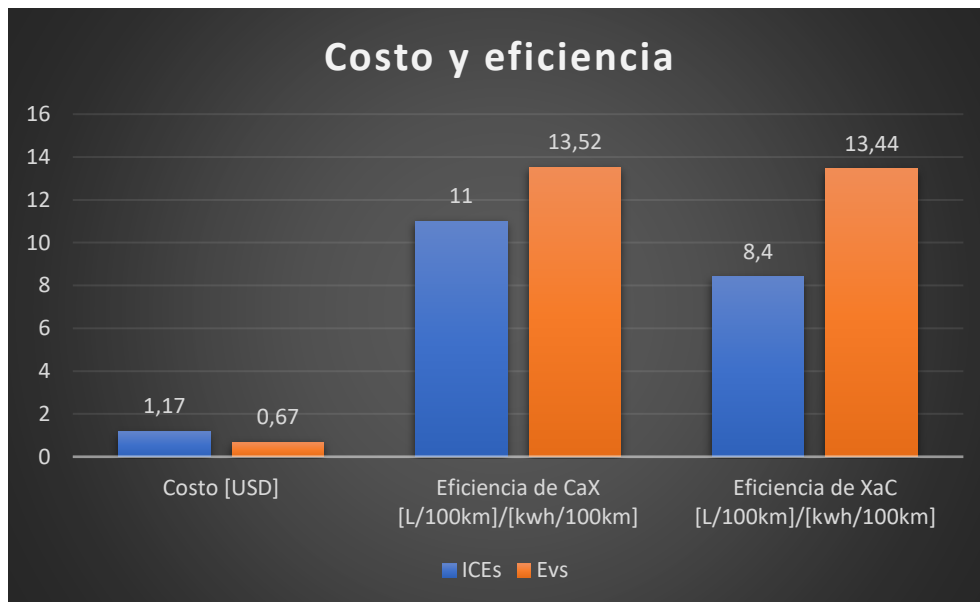


Figura 15: Costo y Eficiencia

## **2.3. Desempeño de los vehículos**

### **2.3.1. Eficiencia energética en la ciudad versus la eficiencia en la autopista del vehículo eléctrico**

Como esta investigación se basa en ver que tan competitivos son los vehículos se diferenciaron los datos en de las rutas en ciudad y en autopista. Para analizar qué tan eficientes son en estas categorías se usó la energía total consumida con respecto a la distancia total realizada por la ruta. Los resultados muestran que en la autopista en la Ruta 1 hay un valor de 0.1344 kWh/km mientras que en la ciudad 0.1352 kWh/km como se apreció en la figura 15. Se puede suponer entonces que la eficiencia de los vehículos eléctricos no es muy diferente en la ciudad de la autopista. Cabe señalar que esta es una suposición, por lo que es necesario tomar más datos para llegar a resultados más reales. Puesto que, según la literatura los PEVs suelen ser mucho más eficientes en la ciudad que en las autopistas (Wu et al., 2015) De esto podemos inferir que los relieves pueden afectar a este valor de eficiencia, como se verá más adelante

### **2.3.2. Potencia vs Velocidad**

La relación entre la velocidad y la potencia utilizada para ir y regresar, del PEV y del ICE se presentan en las figuras 16, 17, 18, 19 y en las figuras 20, 21, 22, 23 respectivamente. Estas imágenes muestran que tanto en la ciudad como en la autopista, mientras más velocidad mayor es la potencia, mostrando así una relación de dependencia como se esperaría, según la literatura.

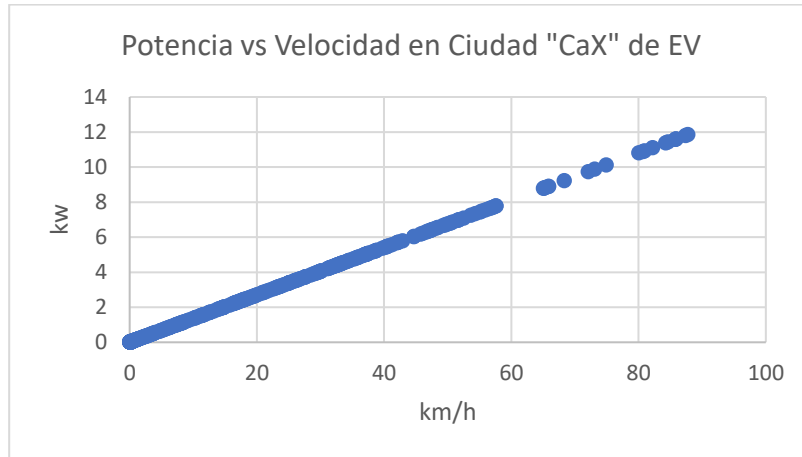


Figura 16: Potencia en función de la velocidad en Ciudad de "CaX" del vehículo eléctrico.

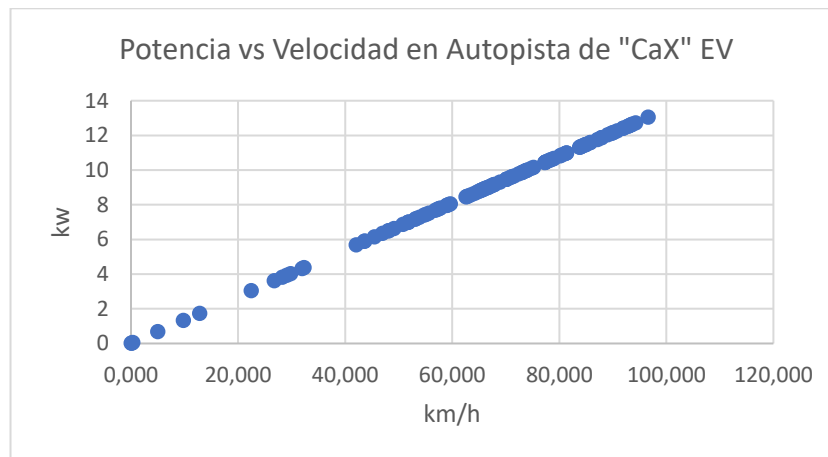


Figura 17: Potencia función de la velocidad en Autopista de "CaX" del vehículo eléctrico

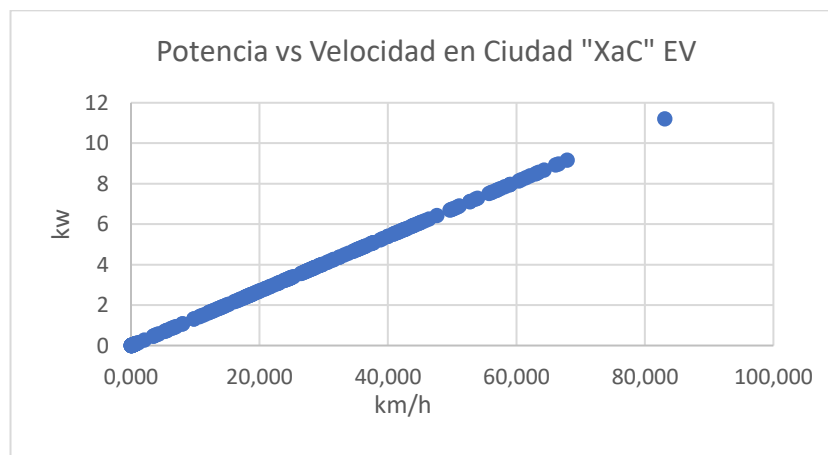


Figura 18: Potencia función de la velocidad en Ciudad de "XaC" vehículo eléctrico

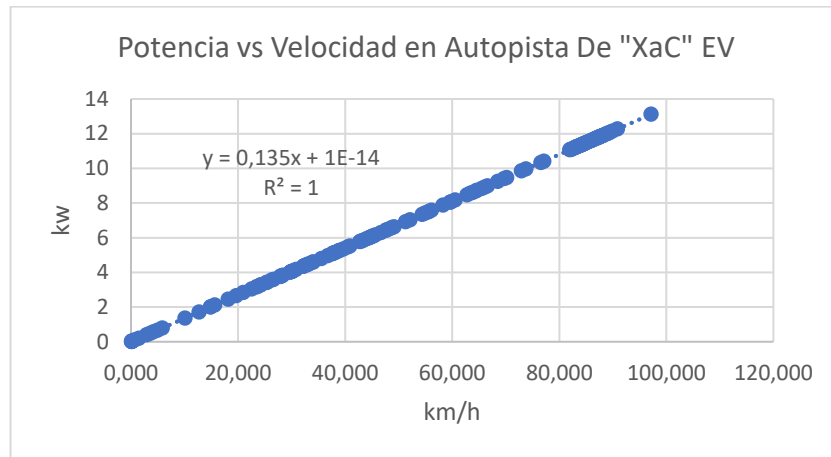
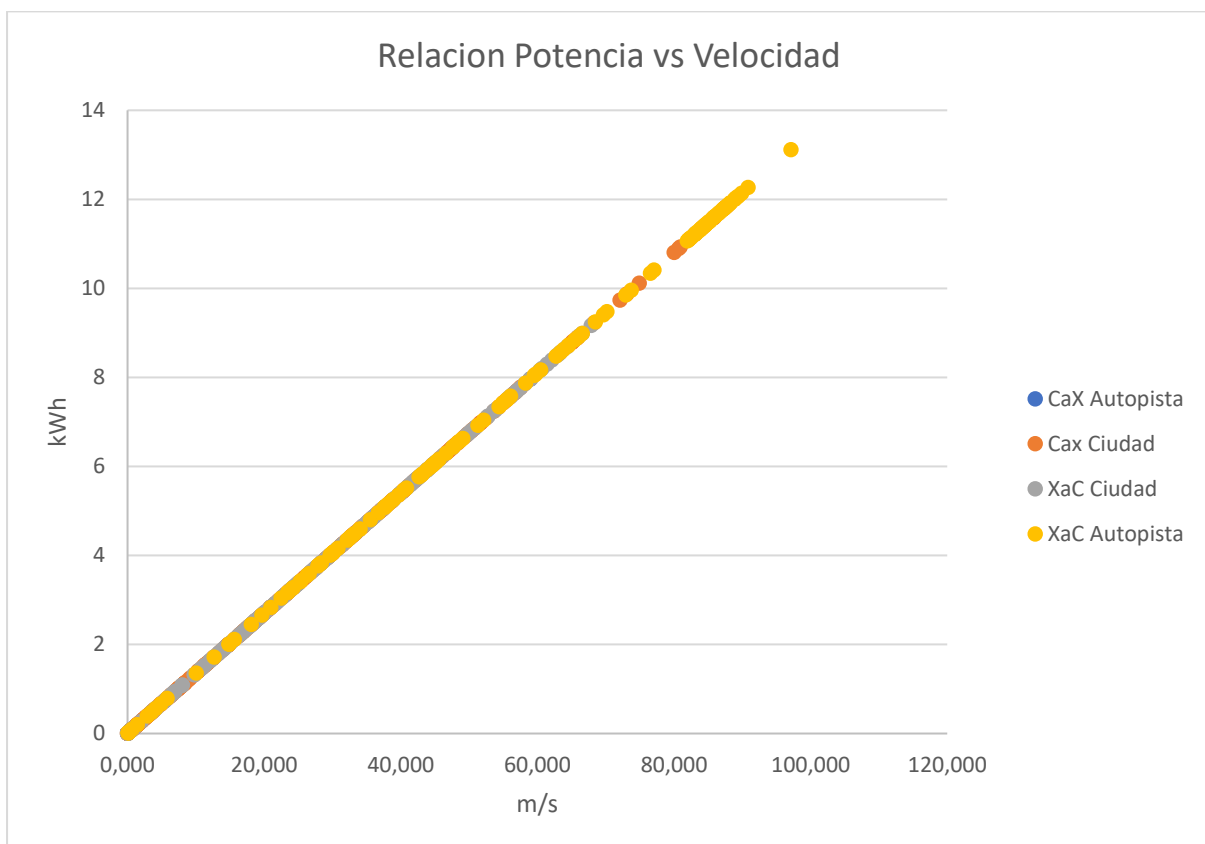


Figura 19: Potencia función de la velocidad en Autopista de "XaC" del vehículo eléctrico.



Por otro lado, las gráficas de potencia en función de la velocidad del vehículo de combustión interna, no presentan alguna relación, sin embargo, se debe tomar en cuenta que el motor de combustión interna puede tener un torque muy elevado a bajas revoluciones por minuto, lo que podría explicar el porqué de los altos valores de potencia a baja velocidad y viceversa. Otra posible razón es que el dispositivo ODB perdía conexión con el ECU del vehículo tomando valores erróneos de potencia

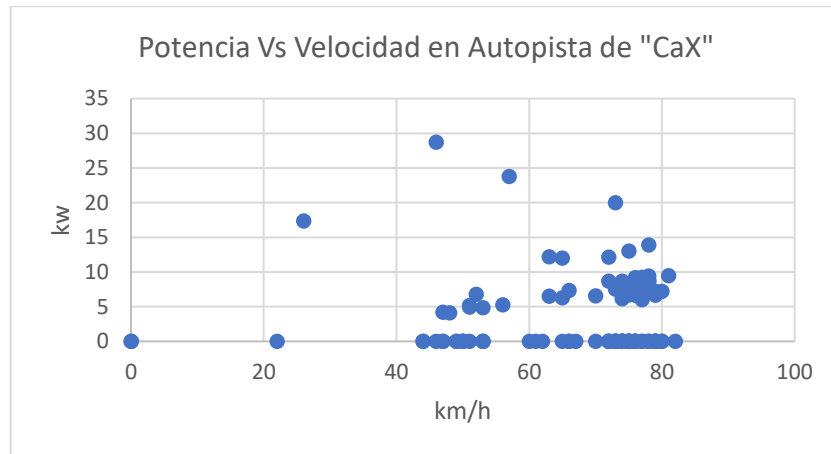


Figura 20: Potencia función de la velocidad en Autopista de "XaC" del vehículo convencional.

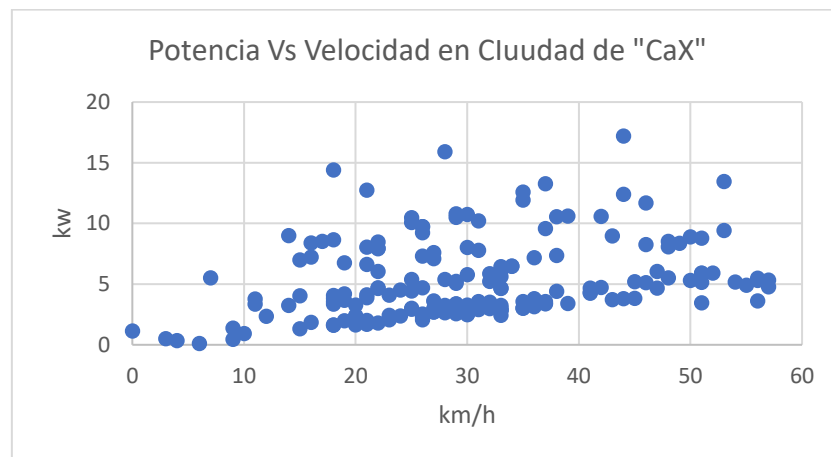


Figura 21: Potencia función de la velocidad en Ciudad de "CaX" del vehículo convencional.

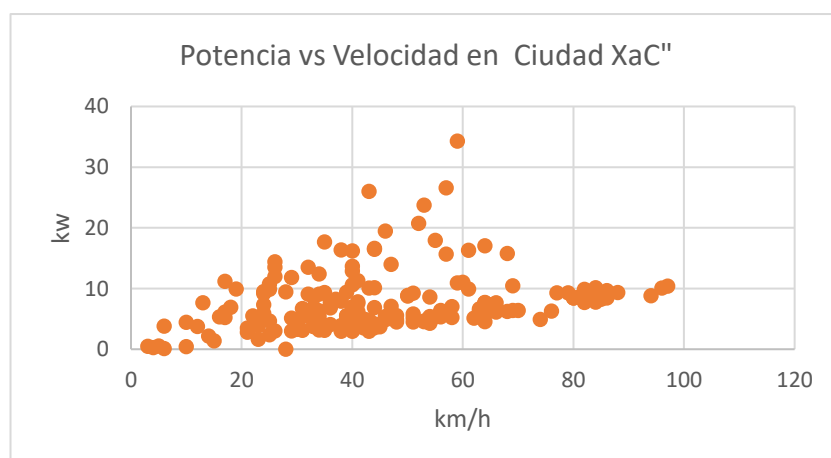


Figura 22: Potencia en función de la velocidad en la ciudad en de "XaC" del vehículo convencional.

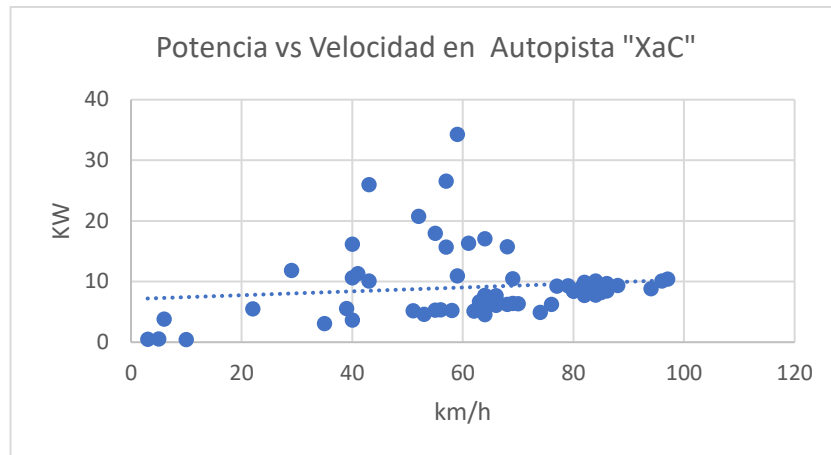


Figura 23: Potencia en función de la velocidad en la autopista en de "XaC" del vehículo convencional.

### **2.3.3. Estado de carga del vehículo eléctrico (SOC)**

El estado de carga se define como la cantidad de carga que hay en la batería en relación a sus estados de lleno o vacío definidos previamente, es decir la cantidad de carga por Amperios-horas que quedan en la batería (Ogura & Kolhe, 2017). Se obtuvo tomando los datos a mano debido a que el Kia Soul no permitió que el dispositivo ODB II se conecte al Sistema de control de batería como al ECU del carro.

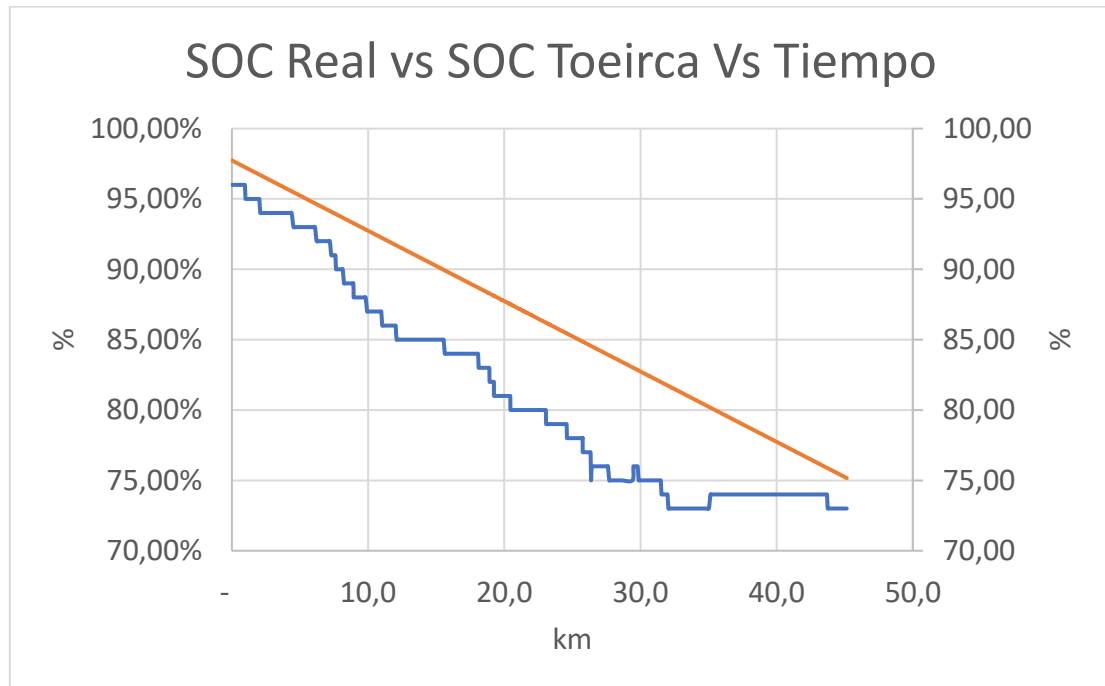


Figura 24: SOC real y teórico en función de la distancia

En la figura 24 se comparó el valor teórico del SOC con el medido cada minuto en la prueba de manejo. Este SOC promedio, se calculó tomando en cuenta, los valores que proporciona el fabricante. Estos valores establecen en primer lugar que el promedio de eficiencia en el consumo es de alrededor de 13.5 kWh/100km o 0,153 kWh/1km, este valor multiplicado por la distancia absoluta permite hallar la energía teórica utilizada en kW. Con este valor se puede hallar la energía teórica que la batería del vehículo posee, mediante la diferencia entre 27 kWh, que son la máxima capacidad de batería. (Kia Motors Ecuador, 2019) Luego, se cambia el porcentaje obteniendo el valor teórico. Al principio no hay mucha diferencia, pero después de los 5 km recorridos la brecha empieza a ser mucho más grande entre las 2 curvas hasta cuando llega a los 42 km de recorrido. Además, se puede ver como la brecha de 8 a 7% de energía entre las 2 curvas se da cuando el vehículo ha recorrido alrededor de 23 km. Parece haber mucho más consumo de energía cuando sube a la ciudad que cuando regresa, al tener una pendiente menor, como se puede ver en los primeros 20 km, a partir de este punto parece que el freno regenerativo aporta mucho a que la tasa de descarga del vehículo



sea igual o casi igual a la tasa de regeneración de energía. Entonces se podría decir que un factor relevante y de gran importancia para la competitividad es la implementación de los frenos regenerativos. Esto se aprecia en mejor medida en las figuras 25 y 26, en donde se observa que al subir a quito la tasa de descarga de la batería fue mucho más elevada que cuando el vehículo está bajando. Mientras que, en la ciudad, parece haber periodos donde la carga se mantiene, es decir hay menos caída de energía por lo que sigue habiendo el efecto de la tasa de regeneración de energía.

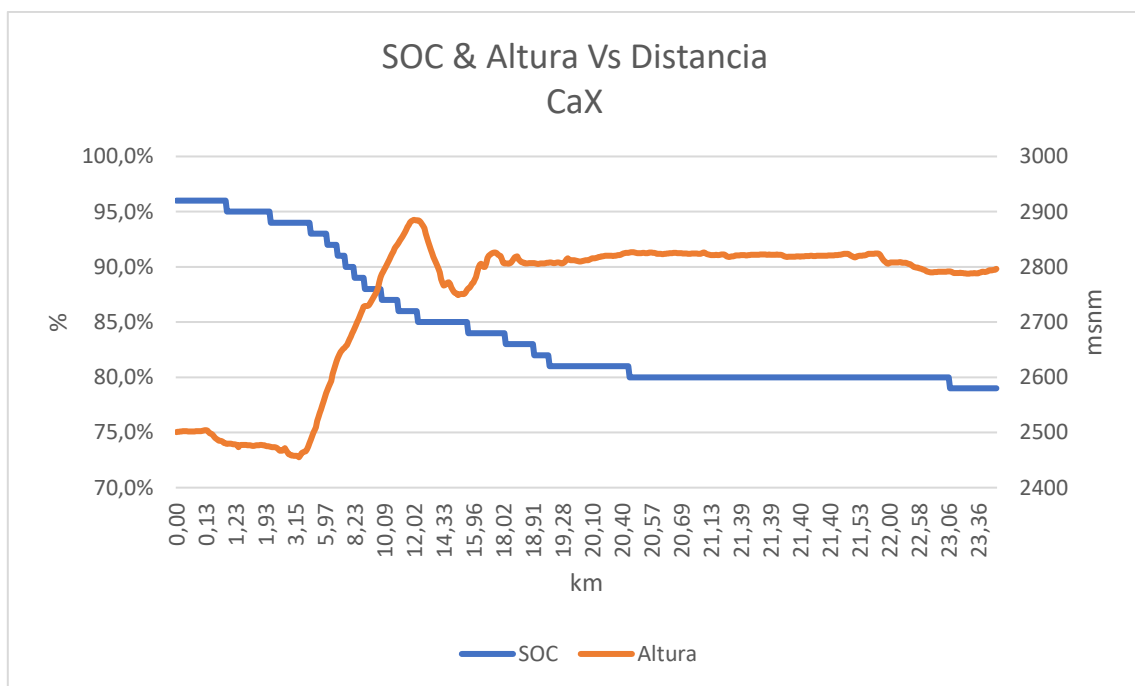


Figura 25: SOC real y altitud en función de la distancia de “CaX”

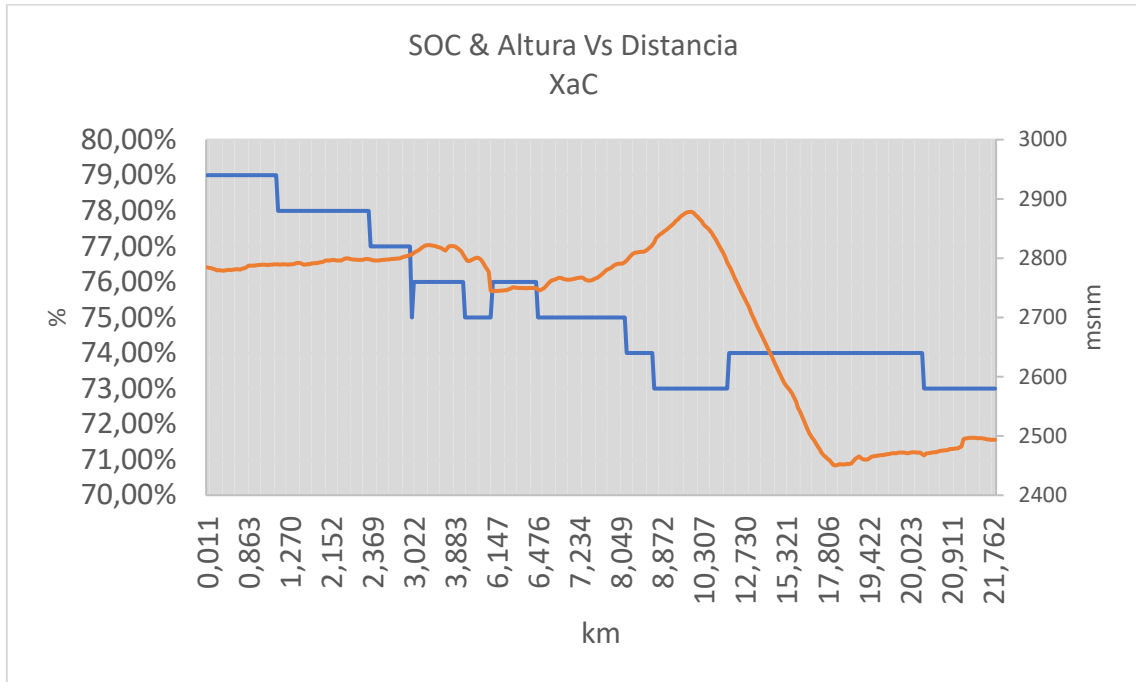


Figura 26: SOC real y altitud en función de la distancia de “XaC”

Para las figuras 27 y 28 se puede ver como la energía que se utilizó no presenta alteraciones muy apreciables a lo largo de la ruta. En la figura 27 y 28 vemos que en ese momento del día de la prueba no existió mucho tráfico, por lo que no se puede afirmar que el tráfico pueda afectar el desempeño mecánico del vehículo. Los picos pueden aparecer en circunstancias muy relativas como semáforos, o conductores que se estacionen en lugares inapropiados.

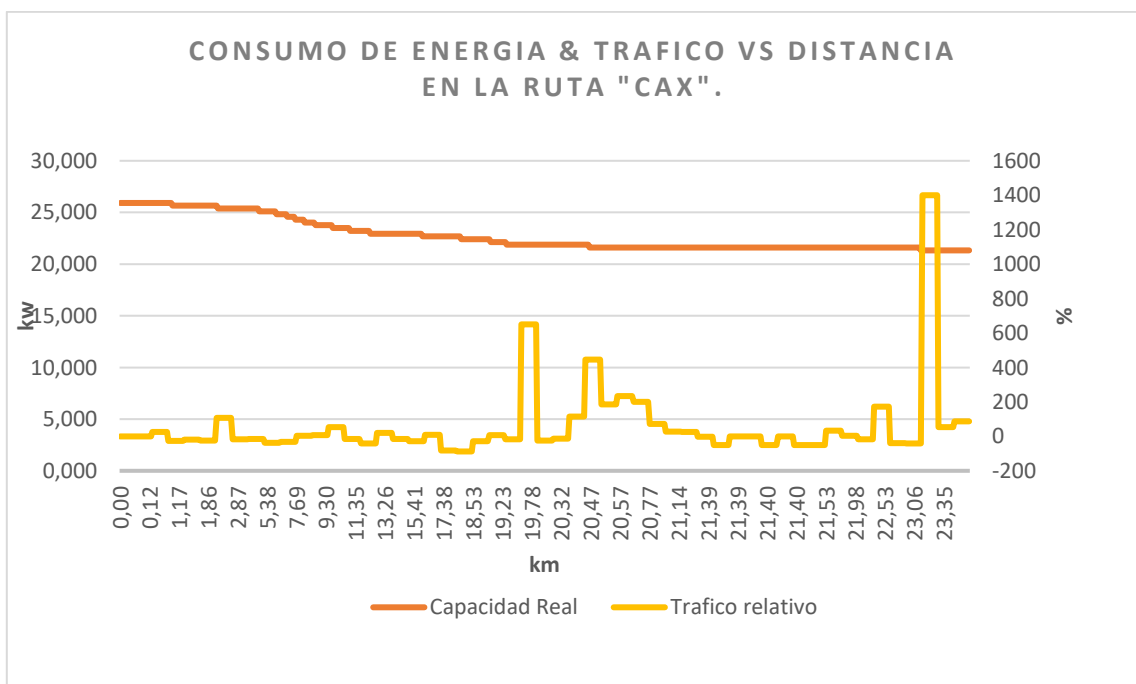


Figura 27: Energía utilizada y tráfico en función de la distancia de "CaX"

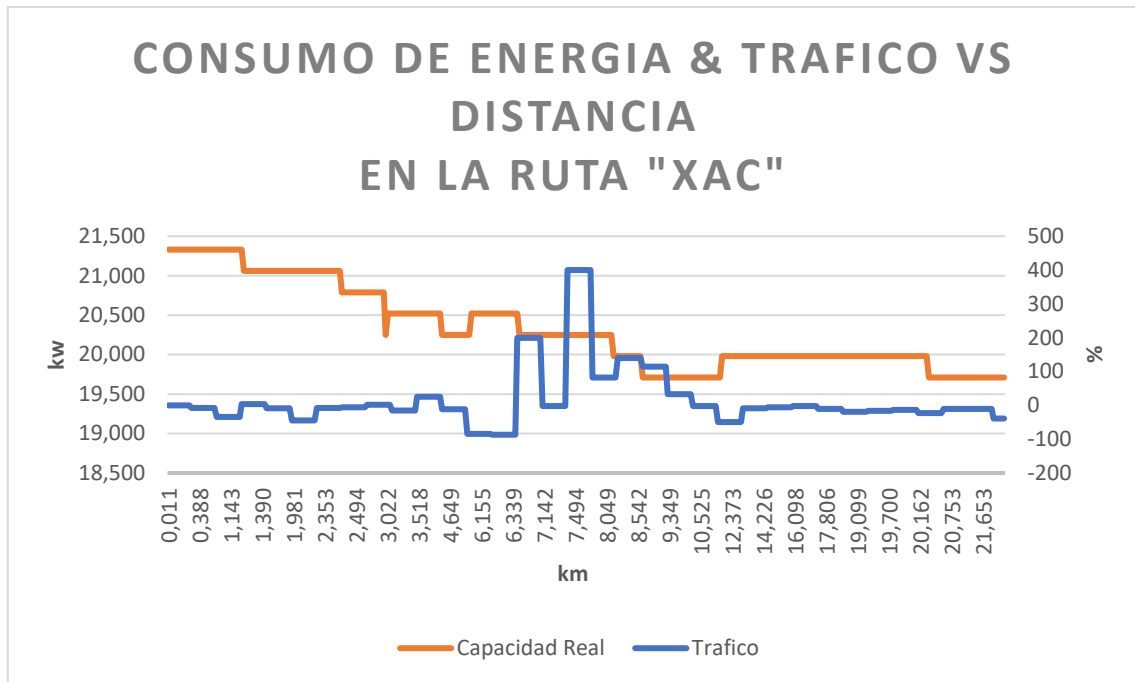


Figura 28: Energía utilizada y tráfico en función de la distancia de "XaC"

No obstante, no se puede decir que esto sea cien por ciento cierto, ya que, los vehículos eléctricos como explica Wu a Fresee son beneficiados al haber un mayor porcentaje de tráfico puesto que el freno regenerativo se ocupa con mucha mayor frecuencia (Wu et al., 2015). Es necesario de igual manera tomar más datos para que la muestra sea mayor y se puedan llegar a mejores resultados.

#### 2.3.4. Consumo de Combustible del vehículo convencional

El combustible como se esperaría disminuye a lo largo del recorrido. Esto es correcto, puesto que, como se conoce a diferencia del motor eléctrico el motor de combustión interna siempre consume gasolina para mantenerse encendido aunque este esté en una marcha neutral. En la figura 29 se puede ver claramente como la tasa de consumo de combustible es mucho mayor cuando se encuentra atravesando una subida que cuando se encuentra en la ciudad

(desde los 17 km) Por lo tanto se cumple de que a mayor potencia del motor mayor consumo de combustible.

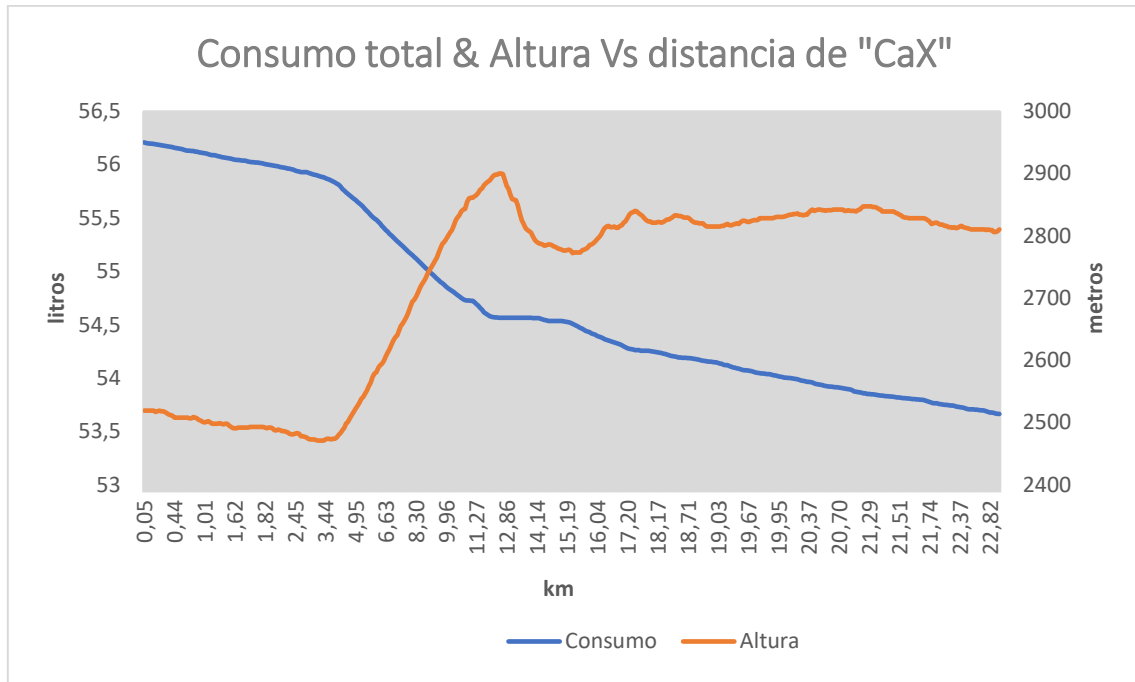


Figura 29: Consumo total y altitud en función de la distancia

Por otro lado, cuando el vehículo se encuentra regresando desde Quito al valle, se puede ver que la tasa de consumo de combustible sigue siendo aproximadamente constante excepto en un pequeño tramo de la carretera en donde hay una pendiente (desde el km 7 al km 10), esto se ve en la figura 29.

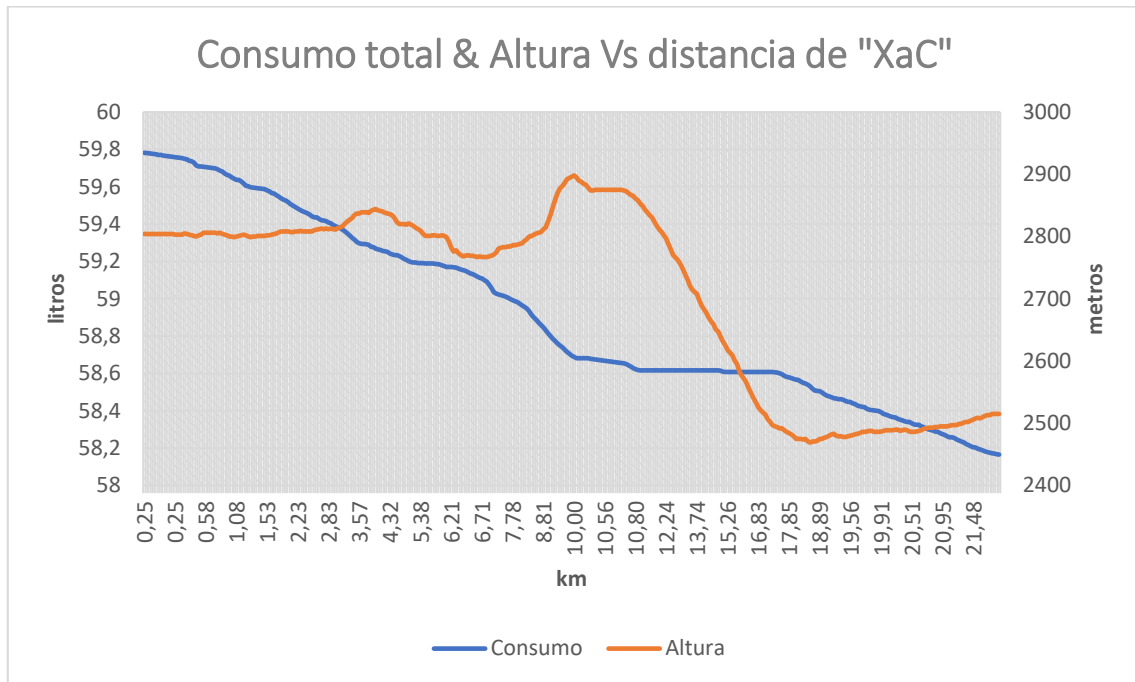


Figura 30: Consumo total y altitud en función de la distancia

También se comparó el tráfico y el consumo con respecto a la distancia como se ve en las figuras 31 y 32. Como se puede ver y como se explicó anteriormente en la sección del comportamiento de los conductores, no existió mucho tráfico a diferencia del PEV, sin embargo no parece haber alguna relación notoria con respecto al consumo de combustible. Cabe señalar que al no haber tantos datos no se puede decir de manera arbitraria que esto sea cierto, por lo que sería muy importante y para trabajos futuros tener una mayor muestra de datos y verificar este hecho. No obstante, se podría inferir que en el caso de que exista mayor porcentaje de tráfico al motor de combustión interna estaría en un constante acelera/desacelera, por lo que en primer lugar seguirá consumiendo combustible; y en segundo lugar debido a los constantes aceleraciones para moverse y dependiendo del tipo de vehículo o motor este podría consumir una mayor cantidad de gasolina. Por lo que se podría suponer que en el caso de los vehículos convencionales el tráfico es un factor que debilita su competitividad y los vuelve menos útiles en estas situaciones.

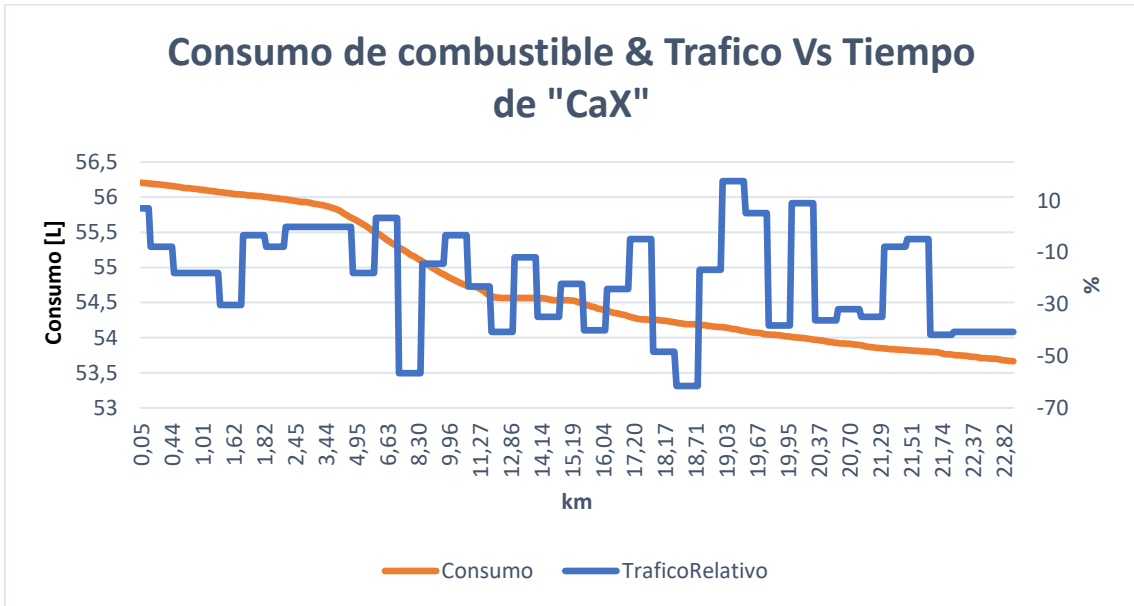


Figura 31: Consumo de combustible y tráfico con respecto a la distancia de "CaX"

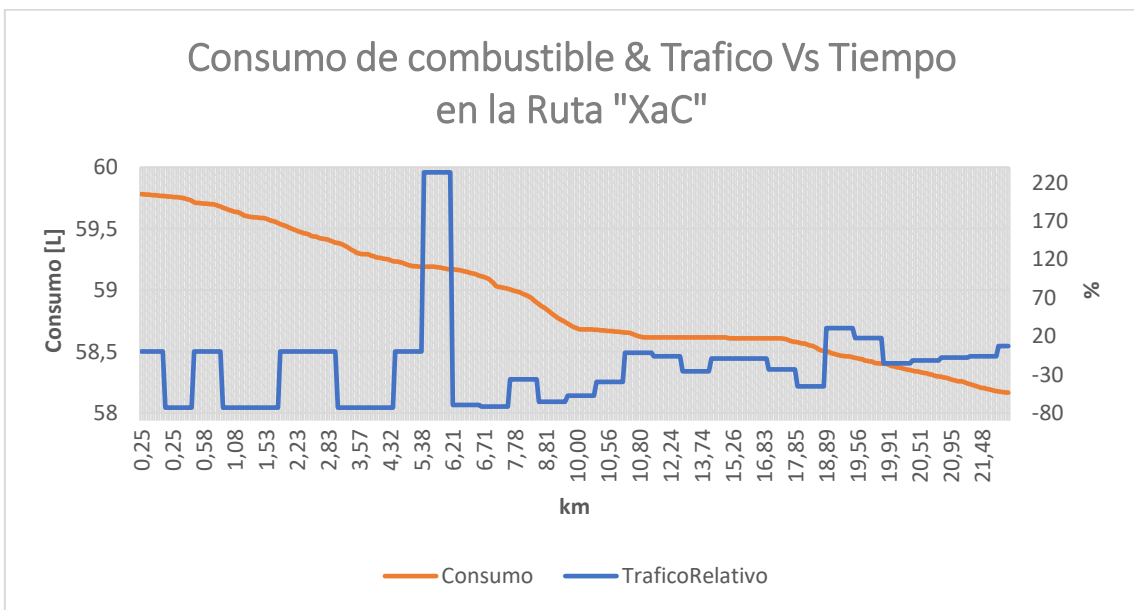


Figura 32: Consumo de combustible y tráfico con respecto a la distancia de "XaC"

### 3. Conclusiones y recomendaciones

Los vehículos eléctricos están mejorando cada vez más, son los vehículos que se necesitarán en el futuro y que realmente podrán ayudar a combatir el cambio climático. Sin embargo aún existen muchas contradicciones con respecto al abundante deseo que tiene el País por introducir estos vehículos. En primer lugar existen barreras técnicas que se deben empezar a quitar como la falta de infraestructura, falta de tomas de 220V en las casa, no hay suficientes electrolineras en las ciudades, falta de personal que conozca a fondo estos vehículos, mejorar la forma de distribución de la energía eléctrica. En segundo lugar que las barreras económicas que están envueltas en las mismas son obviamente el precio elevado del vehículo y el paquete de la batería y falta de aumento en las iniciativas que impulsen la compra y la introducción de los vehículos eléctricos. Por último en la parte social parece haber mucha falta de conciencia ambiental y un grado de desconocimiento social sobre los vehículos. Todas estas barreras suman más contras que beneficios para los vehículos eléctricos. Especialmente la infraestructura que a lo largo de la última década se ha hecho poco o nada para empezar a agilizar los procesos que permitan la fácil implementación de estos puestos de recarga.

Con respecto al comportamiento de conducción, ambos conductores mostraron preferir llegar a tiempo a sus destinos, sin embargo el conductor de un vehículo eléctrico se mostró muy interesado por manejar de una manera tranquila, respetando más las señales de tránsito, y sin que el tráfico de la ciudad lo llegara a estresar, a diferencia del conductor del vehículo convencional. Cabe señalar al desempeño del vehículo, se puede ver como el vehículo fue muy eficiente y económico, además de que sin importar la geografía de Quito el vehículo mantuvo constante su consumo, a comparación del vehículo convencional. Por lo que se podría decir que cualquier PEV funcionaria de manera óptima en Quito sin que cambien tanto su eficiencia.





#### 4. Referencias bibliográficas

- Castillo, M., & Serrano, D. (2018). 240 vehículos eléctricos circulan en el país. Retrieved April 8, 2019, from El Comercio website: <https://www.elcomercio.com/actualidad/vehiculos electricos-ecuador-beneficios-incentivo tributarios.html>
- Chow, T. E. (2008). The potential of Maps APIs for internet GIS applications. *Transactions in GIS*, 12(2), 179–191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2008.01094.x>
- Constantes, J. (2016). Importancia de la energía eléctrica en el cambio de la matriz energética en Ecuador. Retrieved April 8, 2019, from El Telégrafo website: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/408/1/importancia-de-la-energia-electrica-en-el-cambio-de-la-matriz-energetica-en-ecuador>
- CSS electronics. (2019). OBD2 Explained - A Simple Intro (2019). Retrieved October 28, 2019, from <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-obd2-explained>
- CSS Electronics. (2019). CAN Bus Explained - A Simple Intro (2019). Retrieved October 28, 2019, from <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-to-can-bus>
- CSS ELECTRONICS. (n.d.). CANedge1: 2x CAN Bus Data Logger (SD + RTC). Retrieved October 26, 2019, from <https://www.csselectronics.com/screen/product/can-logger-sd-canedge1/language/en>
- Doyle, A., & Muneer, T. (2017). Traction energy and battery performance modelling. In *Electric Vehicles: Prospects and Challenges* (pp. 93–124). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803021-9.00002-1>
- Economía. (2018). BYD presentó su taxi 100% eléctrico en Quito. Retrieved April 8, 2019, from El Telégrafo website: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/taxi-byd-vehiculo>
- El Comercio. (2019). Escasa infraestructura para autos eléctricos en Quito . Retrieved December 6, 2019, from <https://www.elcomercio.com/actualidad/escasa-infraestructura-autos-electricos-quito.html>
- El Universo. (2019). Gobierno promueve compra de vehículos eléctricos para transporte público y privado en Ecuador . Retrieved December 6, 2019, from <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/04/30/nota/7310438/gobierno-promueve-compra-vehiculos-electricos-transporte-publico>
- Hauser, A., & Kuhn, R. (2015). High-voltage battery management systems (BMS) for electric vehicles. In *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-377-5.00011-X>
- Kia Motors Ecuador. (2019). Soul EV Características | Eco |. Retrieved December 6, 2019, from <https://www.kia.com/ec/showroom/soul-ev.html>
- km77. (2019). Citroën Berlingo Multispace Live VTi 100 (2015-2016) . Retrieved December 1, 2019, from <https://www.km77.com/coches/citroen/berlingo/2015/multispace/live/berlingo-multispace-2015/datos>

- M5STACK. (2019a). ESP32 GREY Development Kit with 9Axis Sensor – m5stack-store. Retrieved October 29, 2019, from <https://m5stack.com/products/grey-development-core>
- M5STACK. (2019b). GPS Module with Internal & External Antenna (NEO-M8N) – m5stack-store. Retrieved October 29, 2019, from <https://m5stack.com/products/gps-module>
- Mitchell, W. J., Hainley, B. E., & Burns, L. D. (2010). *Reinventing the Automobile Personal Urban Mobility for the 21st Century* (1st ed.). Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Muneer, T., & García, I. I. (2017). The automobile. In *Electric Vehicles: Prospects and Challenges* (pp. 1–91). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803021-9.00001-X>
- Ogura, K., & Kolhe, M. L. (2017). Battery technologies for electric vehicles. In T. Muneer, M. L. Kolhe, & A. B. T.-E. V. P. and C. Doyle (Eds.), *Electric Vehicles: Prospects and Challenges* (pp. 139–167). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803021-9.00004-5>
- Purcell, T. F., & Martinez, E. (2018). Post-neoliberal energy modernity and the political economy of the landlord state in Ecuador. *Energy Research and Social Science*, 41(June 2017), 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.003>
- Robayo, F. (2017). Kia Soul eléctrico se adueña de las calles. *El Comercio*. Retrieved from <https://www.elcomercio.com/deportes/carburando-kia-soul-electrico-comercializacion.html>
- SAE International. (2011). J1939: Serial Control and Communications Heavy Duty Vehicle Network - Top Level Document -. [https://doi.org/https://doi.org/10.4271/J1939\\_201206](https://doi.org/https://doi.org/10.4271/J1939_201206)
- Torres, J. (2015). *Estudio de viabilidad en la implementacion de vehiculos electricos en la ciudad de Cuenca*.
- Weldon, P., Morrissey, P., & O'Mahony, M. (2018). Long-term cost of ownership comparative analysis between electric vehicles and internal combustion engine vehicles. *Sustainable Cities and Society*, 39, 578–591. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.024>
- Wu, X., Freese, D., Cabrera, A., & Kitch, W. A. (2015). Electric vehicles' energy consumption measurement and estimation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 52–67. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.007>