



Departamento de Posgrados

Maestría en Sistemas Vehiculares

Análisis energético de un sistema de propulsión eléctrico
alternativo para movilidad en el cantón Cuenca

Trabajo de Graduación Previo a la Obtención del Título de Magíster en Sistemas Vehiculares

Autor

Ing. Diego Francisco Torres Moscoso

Director

Ing. Miguel Andrés López Hidalgo. PhD

Cuenca, Ecuador

2016

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico a mi esposa Cecilia, a mi hijo Diego Francisco y a mis familias, por su apoyo, tolerancia y comprensión, a mis amigos por la motivación y confianza durante el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Andrés López PhD, por el apoyo incondicional, y quién a más de ser el director del trabajo, es un amigo de empuje y confianza.

RESUMEN

Análisis energético de un sistema de propulsión eléctrico alternativo para movilidad en el cantón Cuenca.

El trabajo consiste en el análisis de una movilidad eléctrica alternativa que funcione en un carril específico que provea de electricidad a motores instalados en vehículos livianos que circulan en la ciudad de Cuenca. La propuesta del estudio energético de un sistema de propulsión eléctrico instalado en vehículos que funcionan con motores de combustión interna a gasolina y la comparación de los niveles de consumo de energía entre estas dos tecnologías. La energía para el funcionamiento de los motores eléctricos provista por el sistema público de energía eléctrica mediante rieles. Se estima la demanda de energía del sistema propuesto y la capacidad de funcionamiento del mismo. Siendo las condiciones a considerar para la estimación: cantidad de vehículos que pueden funcionar de manera simultánea según el consumo energético, velocidad de circulación adecuada, longitud del recorrido, características del carril exclusivo de circulación de dichos vehículos y análisis la configuración del tren motriz respectivo.

PALABRAS CLAVE: Propulsión. Alternativa, Movilidad, Energía, Rutas Energéticas.

ABSTRACT

ENERGY ANALYSIS OF AN ALTERNATIVE ELECTRIC MOBILITY PROPULSION SYSTEM IN CUENCA CANTON

ABSTRACT

This research is the analysis of an alternative electric mobility that works in an exclusive lane, which provides electricity to engines installed in light vehicles circulating in the city of Cuenca.

The work deals with an energy study proposal of an electric propulsion system installed in vehicles powered by gasoline internal combustion engines, the comparison of energy consumption levels between these two technologies, and the power provided by the public power system for the operation of the electric motors through rails.

The energy demand of the proposed system and its operation capacity are estimated. The conditions to be considered in the estimation are: number of vehicles that can run simultaneously in relation to its energy consumption; adequate speed of vehicles, path length, features of traffic exclusive lane; and analyzes of the respective driving force configuration.

KEYWORDS: Propulsion, Alternative, Mobility, Energy, Energy Routes




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
Capítulo I.....	2
1.1 JUSTIFICACIÓN	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL:	2
1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	2
1.3 PROBLEMÁTICA	3
1.4 ALCANCE Y METODOLOGÍA.....	4
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
Capítulo II.....	5
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	5
2.1 EVALUACIÓN DE VEHÍCULOS	5
2.2 CONSUMO DE ENERGÍA	8
2.2.1 CONSUMO ENERGÉTICO A NIVEL NACIONAL	8
2.2.2 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL ECUADOR	9
2.2.3 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL TRANSPORTE.....	11
2.3 CONSUMO DE GASOLINA EN VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA ...	14
2.3.1 CANTIDAD DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA	15
2.3.1.1 RELACIÓN HABITANTES / VEHÍCULOS	21
2.3.2 CONSUMO DE GASOLINA EN EL CANTÓN CUENCA.....	21
2.3.3 ENERGÍA NECESARIA PARA MOVILIDAD DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA.....	23
2.3.3.1 EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO (MCIA)	23
2.3.3.2 ENERGÍA CONSUMIDA PARA MOVILIDAD DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA.....	24
2.4 TECNOLOGÍA ALTERNATIVA PARA MOVILIDAD EN VEHÍCULO	25
2.4.1.1 TIPOS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS (HEV)	26
2.4.1.2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV)	27
2.4.1.3 INDUCCIÓN DE CARGA INALÁMBRICA	29
2.4.1.4 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON CELDAS O PILAS DE COMBUSTIBLE (FCEV)	33
2.5 EMISIONES PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES	34

2.5.1 CONTAMINACIÓN POR VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	36
2.6 CONCLUSIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
Capítulo III.....	39
EVALUACIÓN ENERGÉTICA.....	39
3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA RUTA.....	39
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE MOVILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	43
3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL CARRIL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	45
3.1.4 CARRIL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	46
3.2 RUTA DEL CARRIL PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	46
3.2.1 INSTRUMENTACIÓN MEDIANTE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	46
3.2.2 RUTAS PROPUESTAS Y DATOS OBTENIDOS	47
3.2.2.1 ESTUDIO DE LA CONDUCCIÓN EN LA RUTA DEL SISTEMA	50
3.2.2.2 ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN PARA EL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO ALTERNATIVO.....	50
3.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO LIVIANO QUE CIRCULA POR LA RUTA DEL SISTEMA.....	51
3.2.3.1 CONSIDERACIONES DE LA MASA EN VEHÍCULOS LIVIANOS	51
3.2.3.2 CONSIDERACIONES DE LOS COEFICIENTES DE RESISTENCIA AL AIRE (C_d) PARA VEHÍCULOS LIVIANOS.....	51
3.2.3.3 CONSIDERACIONES DEL ÁREA FRONTAL EN VEHÍCULOS LIVIANOS	51
3.2.3.4 CONSIDERACIONES DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA (f_r) EN VEHÍCULOS LIVIANOS	52
3.2.3.5 CONSIDERACIONES DEL RADIO DINÁMICO DE LA RUEDA (r_d) DE VEHÍCULOS LIVIANOS.....	52
3.2.3.6 RESUMEN DE LOS VALORES CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO LIVIANO	53
3.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN LAS RUTAS.....	53
3.3.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL.....	55
3.3.2 VALIDACIÓN DE PENDIENTE Y DATOS EN CADA RUTA.....	57
3.3.3 ENERGÍA POSITIVA NECESARIA PARA EL SISTEMA	59
3.4 CARACTERÍSTICAS DEL TREN MOTRIZ.....	61
3.4.1 POTENCIA Y TORQUE NECESARIOS	62
3.4.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO	63
3.4.1.2 DIAGRAMA DE CUBRIMIENTO.....	66
3.4.2 RENDIMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	68
3.5 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO	69
3.6 CONCLUSIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
Capítulo IV.....	74

DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SATISFACER UN SISTEMA ALTERNATIVO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO	74
4.1 ENERGÍA TRANSMITIDA AL SISTEMA DE MOVILIDAD	75
4.2 SOPORTE DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS QUE FUNCIONAN EN EL CARRIL ESPECÍFICO DEL SISTEMA.....	77
4.2.1 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SISTEMA.....	79
4.2.1.1 AHORRO ENERGÉTICO	84
4.2.2 PRECIO DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA	87
4.3 CONDICIONES CRÍTICAS DE FUNCIONAMIENTO.....	88
4.3.1 VARIACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA SEGÚN LA MASA.....	88
4.3.2 DIAGRAMA DE CUBRIMIENTO PARA UNA MASA DE 3.000KG	90
4.4 CONCLUSIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
Capítulo V.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1. CONCLUSIONES	94
5.2 RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	102

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

Figuras

Fig. 1 Energía necesaria para el transporte en el mundo (datos, 2001)	3
Fig. 2 Ciclo de conducción estilizado NEDC.....	6
Fig. 3 Ciclo de conducción UDDS.....	6
Fig. 4 Ciclo de conducción FTP-75.....	7
Fig. 5 Ciclo de conducción UN/ECE.	7
Fig. 6 Ciclo de conducción japonés 10-15.....	8
Fig. 7 Oferta de energía primaria.....	9
Fig. 8 Oferta de energía según la fuente en el Ecuador.....	10
Fig. 9 Evolución del consumo de energía por sectores.....	10
Fig. 10 Evolución del consumo de energía por tipos de fuentes.....	11
Fig. 11 Consumo de energía.....	11
Fig. 12 Consumo de Energía en el Transporte.....	12
Fig. 13 Consumo de energía por tipo de transporte.....	13
Fig. 14 Evolución histórica del parque automotor en el Ecuador, en miles de unidades.....	14
Fig. 15 Aumento del consumo de gasolina en el Ecuador.....	15
Fig. 16 Porcentaje de vehículos matriculados en el 2014 en la provincia del Azuay, por clase.....	16
Fig. 17 Cantidad de vehículos en el 2014 en la provincia del Azuay, por clase.....	16
Fig. 18 Cantidad de vehículos en el 2014 en la provincia del Azuay.....	17
Fig. 19 Cantidad de vehículos matriculados en Cuenca 2013 y 2014.....	18
Fig. 20 Cantidad de vehículos en 1ra revisión en los CRTV de Cuenca por años.....	19
Fig. 21 Porcentaje de aumento anual de vehículos en 1ra revisión de los CRTV en Cuenca.....	19
Fig. 22 Cantidad de vehículos livianos matriculados en Cuenca 2013 y 2014.....	20
Fig. 23 Cantidad de vehículos registrados en la Provincia del Azuay y en Cuenca, 2013 y 2014.....	21
Fig. 24 Cantidad de consumo de gasolina en la Provincia del Azuay.....	22
Fig. 25 Cantidad de consumo de gasolina en la Provincia del Azuay y en el Cantón Cuenca.....	22
Fig. 26 Cantidad de consumo de gasolina y cantidad de vehículos livianos en el Cantón Cuenca.....	23
Fig. 27 Generación de energía y cantidad de vehículos livianos en el Cantón Cuenca.....	25
Fig. 28 HEV y PHEV beneficios del consumo de combustible según el modo de operación en HEV y PHEV. Fuente: Markel, 2006.....	27
Fig. 29 Eficiencia del sistema en función de la dependencia entre la distancia entre bobinas (z) y su diámetro de circunferencia (D). Fuente: (Principios basicos de la transmisión inalambrica de energía y formulas de desarrollo, 2010).....	29
Fig. 30 Sistema OLEV.....	31
Fig. 31 Principios del sistema OLEV.....	31
Fig. 32 Modelo de carga de la línea de energía.....	32
Fig. 33 Autopista con el sistema de recarga sin cables Reino Unido.....	33
Fig. 34 Comparación de emisiones anuales de fuentes móviles.....	35
Fig. 35 Porcentaje de modos de transporte en Cuenca.....	40
Fig. 36 Motorización.....	40
Fig. 37 Motorización.....	41
Fig. 38 Motivos de viaje al área urbana de Cuenca por vehículos privados.....	41
Fig. 39 Motivos de transporte en la ciudad de Cuenca.....	42
Fig. 40 Porcentaje de viajes en vehículo privado.....	42
Fig. 41 Líneas deseo de viajes vehículo privado.....	43
Fig. 42 Jerarquía actual del viario en Cuenca.....	45
Fig. 43 Ruta 1 de vehículo eléctrico.....	48
Fig. 44 Ruta 7 de vehículo eléctrico.....	49

Fig. 45 Gráfica Altura ET – Promedio Altura GPS.	57
Fig. 46 Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 1.	58
Fig. 47 Torque necesario en la ruta y torque del motor AC2.	64
Fig. 48 Curvas de torque y potencia del motor eléctrico AC3.	65
Fig. 49 Torque necesario en la ruta y torque del motor AC3.	66
Fig. 50 Potencia necesaria en la ruta y potencia del motor AC3.	66
Fig. 51 Diagrama de cubrimiento.	68
Fig. 52 Cadena para el movimiento del vehículo en el sistema.	70
Fig. 53 Diagrama esquemático de un sistema de distribución típico con sus partes.	74
Fig. 54 Sistema en anillo.	75
Fig. 55 Red de distribución eléctrica en Cuenca.	76
Fig. 56 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema.	79
Fig. 57 Demanda de energía en 6 horas y cantidad de vehículos en el sistema.	81
Fig. 58 Cantidad de vehículos en el sistema al día.	83
Fig. 59 Energía considerando al 100% y 33% del funcionamiento del sistema.	83
Fig. 60 Demanda de energía durante 6 horas según el tipo de vehículo.	85
Fig. 61 Demanda de energía en el día considerando el 33% de viajes.	86
Fig. 62 Ahorro energético.	87
Fig. 63 Aumento de demanda de energía según la masa.	89
Fig. 64 Demanda de energía según la masa para cada ruta.	89
Fig. 65 Diagrama de cubrimiento para 3.000kg.	90
Fig. 66 Diagrama de cubrimiento para 2.800kg.	91

Tablas

Tabla 1 Consumo final de energía por sector (kBEP)	13
Tabla 2 Cantidad de vehículos en el Azuay que utilizan gasolina y diésel.	17
Tabla 3 Cantidad de vehículos livianos en 1ra revisión de la RTV, para el 2013.	18
Tabla 4 Prestaciones de baterías para EV.	28
Tabla 5 Tipos de carga que pueden dar a los EV.	28
Tabla 6 Tipos de celdas de combustible.	33
Tabla 7 Simbología Líneas de Deseo Vehículo Privado.	43
Tabla 8 Datos de GPSmap® 60CSx.	47
Tabla 9 Coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r).	52
Tabla 10 Radio nominal (r_n) y dinámico (r_d) de la rueda.	53
Tabla 11 Valores para cálculo de energía necesaria.	53
Tabla 12 Tamaño muestral	56
Tabla 13 Datos analizados en las rutas.	58
Tabla 14 Energía positiva obtenida en cada recorrido.	59
Tabla 15 Análisis ANOVA entre rutas.	60
Tabla 16 Análisis ANOVA entre repeticiones.	60
Tabla 17 Relación de transmisión y velocidades de una caja de cambios.	62
Tabla 18 Potencia y Torque máximos en cada ruta.	63
Tabla 19 Características del motor AC3.	64
Tabla 20 Consumo eléctrico según velocidad	68
Tabla 21 Especificaciones batería de Litio.	69
Tabla 22 Valores de potencia en las subestaciones.	76
Tabla 23. Valores de potencia entregada y disponible y potencia en las subestaciones.	78
Tabla 24 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema al 100 % durante 6 horas.	80
Tabla 25 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema durante 24 horas.	82
Tabla 26 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema al 33% de viajes.	82
Tabla 27 Demanda de energética según el sistema de propulsión al 100% durante 6 horas.	84
Tabla 28 Demanda de energética según el sistema de propulsión al día con el 33% de viajes.	86

Tabla 29 Valores de consumo de energía y precio por vehículo.....	87
Tabla 30 Valores de aumento de demanda de energía según la masa.....	88
Tabla 31 Demanda energética según el funcionamiento del sistema.	92
Tabla 32 Cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema.	93

Anexos

Anexo 1	102
Anexo 2	103
Anexo 3	110
Anexo 4	112
Anexo 5	113
Anexo 6	114

Diego Francisco Torres Moscoso

Trabajo de Graduación

Ing. Miguel Andrés López Hidalgo, PhD.

Febrero, 2016

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO ALTERNATIVO PARA MOVILIDAD EN EL CANTÓN CUENCA

INTRODUCCIÓN

Se hará el análisis de un modelo de movilidad alternativo donde a vehículos con motores de combustión interna alternativos (MCIA) se dote de propulsión eléctrica. La energía eléctrica para propulsar estos vehículos se la obtendrá de una infraestructura vial mediante rieles. El estudio propone el análisis, por una parte de la configuración que deberá tener el tren motriz, por otra el análisis de las características infraestructurales del viario y por último el modelo de gestión de este sistema alternativo. Se estimará la demanda de energía del sistema propuesto y la capacidad de funcionamiento de este sistema. Por ejemplo, algunas de las condiciones a considerar para la estimación serán: cantidad de saturación máxima del viario eléctrico, velocidad de circulación adecuada, longitud del recorrido, características del carril exclusivo de circulación.

Capítulo I

1.1 JUSTIFICACIÓN

El consumo energético mundial aumenta considerablemente y las fuentes generadoras de energía deben satisfacer la demanda de las fábricas, del transporte y de la vivienda. El transporte es el principal consumidor de energía no renovable, ya que el combustible que se utiliza proviene principalmente de la explotación del petróleo; por lo que, es importante ofrecer una alternativa energética para el transporte, como puede ser el uso de la energía hidroeléctrica como fuente de energía primaria. “En el Ecuador se están desarrollando nuevos proyectos de generación hidroeléctrica que proporcionarán gran potencia para el Sistema Nacional Interconectado (SNI)” (Ministerio Energía Ecuador, 2014), con este precedente existe la posibilidad de que, parte de la energía hidroeléctrica sea destinada a la movilidad de vehículos. En este estudio para el cantón Cuenca se analizará la posibilidad de utilizar vehículos que funcionen con energía eléctrica configurando su tren motriz a más del motor de combustión interna, los autos circularán en un carril específico que alimente de energía a los motores eléctricos. Se determinará la cantidad de energía necesaria para movilizar un cierto número de vehículos que circulen con una velocidad moderada. “La Agencia Internacional de la Energía en octubre de 2009 publicó una hoja de ruta para el desarrollo del vehículo eléctrico y el vehículo híbrido “enchufable”, seleccionando como horizonte el año 2050. Según el estudio, las tecnologías de transporte no convencionales y medioambientalmente más sostenibles tendrán una elevada penetración a nivel mundial. Se estima que los vehículos eléctricos e híbridos enchufables alcancen cifras de ventas superiores a 100 millones de unidades en el año 2050, aunque la cifra de dicho tipo de vehículos no empezará a ser significativa hasta el año 2015 – 2020” (Faria et al., 2012). En este contexto se plantea analizar las necesidades y prestaciones que un sistema de movilidad eléctrico alternativo requiere para su funcionamiento dentro del Cantón Cuenca.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL:

Analizar la demanda energética de un sistema de propulsión eléctrico alternativo para la movilidad en el cantón Cuenca.

1.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Cuantificar el consumo de gasolina en vehículos livianos que funcionan con tecnología convencional en el cantón Cuenca.
- Establecer la demanda de energía eléctrica para satisfacer un sistema alternativo de propulsión eléctrico para movilidad en el cantón Cuenca.
- Analizar las características del tren motriz para vehículos livianos.
- Proponer una ruta de conducción para que el sistema resulte eficiente y operable.

- Determinar el número de vehículos que funcionen dentro del carril específico del sistema, para que el proyecto resulte viable.

1.3 PROBLEMÁTICA

El transporte demanda el 60% de la producción de petróleo en el mundo, se considera que para el año 2030 sea el 75% de la producción mundial, aumentando considerablemente la demanda energética para el transporte. Los países que pertenecen a la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) están aplicando políticas que aumenten la eficiencia en el consumo de combustible de los vehículos y conseguir que la demanda de energía por el transporte aumente en un 0.46% anual entre el año 2010 hasta el 2035, sumando a esto a los países que no forman parte de la OECD, se tendrá un incremento del 1.8%.

El transporte por carretera representa el 81% de la energía aplicada para el transporte como se puede ver en la figura 1. (Atabani et al. 2011)

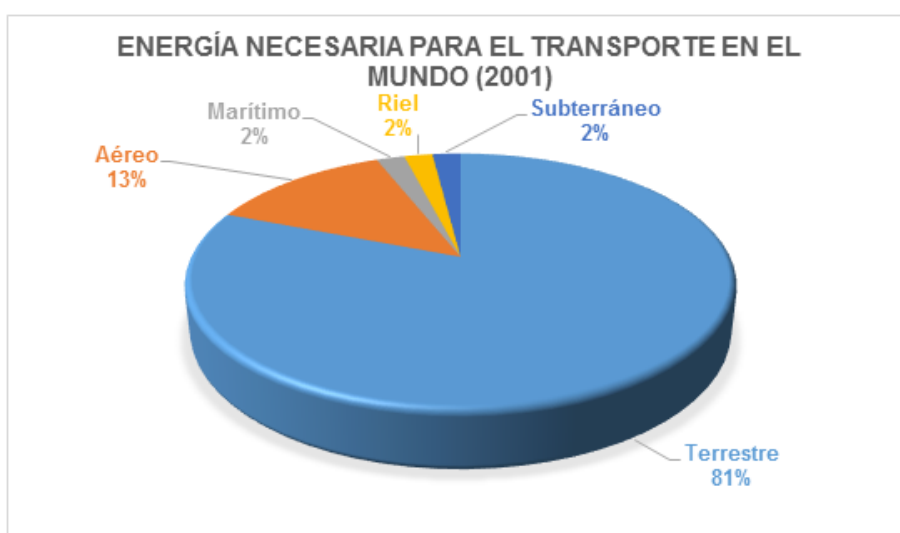


Fig. 1 Energía necesaria para el transporte en el mundo (datos, 2001)

Fuente: Atabani et al., 2011

En la provincia del Azuay, cantón Cuenca, por su ubicación y la forma radioconcéntrica que tiene la ciudad, se determinará la posibilidad de incluir un sistema de movilidad alternativo eléctrico para los vehículos que circulan dentro de la zona, en una ruta y carril específico; mediante un análisis de las características viales que posee la ciudad, también se considerarán aspectos como la velocidad de circulación, cantidad de vehículos que soporta el sistema, características del carril exclusivo para los vehículos que funcionen con el sistema alternativo de propulsión, un factor importante es el estudio energético que demandarán los vehículos, también realizar una comparación entre el consumo de gasolina con relación al consumo eléctrico. Se determinarán los aspectos antes mencionados mediante un método deductivo y complementado con indagaciones bibliográficas se

realizará un análisis comparativo del gasto e inversión energética que tendrán los vehículos con el sistema de movilidad alternativa.

1.4 ALCANCE Y METODOLOGÍA

En la provincia del Azuay, cantón Cuenca, por su ubicación y la forma radioconcéntrica que tiene la ciudad, se determina la posibilidad de incluir un sistema de movilidad alternativo eléctrico para los vehículos que circulan dentro de la zona, en una ruta y carril específico; mediante un análisis de las características viales que posee la ciudad, también se considerarán aspectos como la velocidad de circulación, cantidad de vehículos que soporta el sistema, características del carril exclusivo para los vehículos que funcionen con el sistema alternativo de propulsión, y un factor importante es el estudio energético que demandarán los vehículos, también se realizará una comparación entre el consumo de gasolina con relación al consumo eléctrico. Se determinarán los aspectos antes mencionados mediante un método deductivo y complementado con indagaciones bibliográficas; se realizará un análisis del gasto energético que tendrán los vehículos con el sistema de movilidad alternativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Faria, R. et al., 2012. A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system, 61, pp.19–30.
- E. Atabani, I. A. Badruddin, S. Mekhilef, and a. S. Silitonga, “A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 9, pp. 4586–4610, 2011.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

La utilización de vehículos para el transporte de pasajeros y mercancías implica consumo de energía, siendo la gasolina y el diésel las principales fuentes en la actualidad, pero con los avances tecnológicos se ha introducido la utilización de vehículos eléctricos e híbridos, con el propósito de disminuir las emisiones contaminantes emitidas por los automóviles y reducir el consumo de combustibles. Mediante los ciclos de conducción, también con un flujómetro utilizando un banco dinamométrico se puede analizar el consumo de combustible y por lo tanto la energía necesaria. Para la Ciudad de Cuenca se analizará la cantidad de vehículos matriculados, el consumo de gasolina, para determinar la energía consumida.

2.1 EVALUACIÓN DE VEHÍCULOS

La evaluación de vehículos permite determinar el funcionamiento de los componentes del automóvil, como es el motor, la transmisión, los sistemas de seguridad activa y pasiva, y las emisiones de gases de escape, se realiza mediante pruebas basadas en normativas como la norma SAE J1349 o SAE 1995, que analizan la potencia y el par motor producidos por los motores de combustión interna alternativos (MCIA) para certificar el cumplimiento del rendimiento indicado, se aplica también la norma SAE J1506 que analiza las emisiones de gases de escape emitidas y consumo de combustible de vehículos de pasajeros y camiones ligeros según un ciclo de conducción determinado aplicado en un dinamómetro, la norma técnica ecuatoriana RTE INEN 034:2010 determina los elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores y la norma NTE INEN 2204:2002, que determina los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, entre otras.

El ciclo de conducción determina el comportamiento del vehículo según la velocidad que necesite en un tiempo de funcionamiento por una ruta preestablecida, permitiendo realizar un análisis del consumo de energía, de las emisiones contaminantes emitidas a la atmósfera, del funcionamiento del motor, ya sea eléctrico o de combustión interna, también se puede verificar el comportamiento de la transmisión. Existen dos tipos de ciclos de conducción, estado estable, donde se mantiene en tramos constante la velocidad del motor y la carga, y el transitorio donde la velocidad del vehículo y del motor cambian constantemente, se pueden obtener en laboratorios o con pruebas de carretera. En la figura 2 se muestra un ciclo de conducción transitorio estilizado *“New European Driving Cycle”* (NEDC), que es utilizado para analizar vehículos de trabajo liviano en la Unión Europea con periodos de aceleración constante, desaceleración y velocidad, teniendo poca relación con la situación real de conducción. (Barlow et al. 2009)

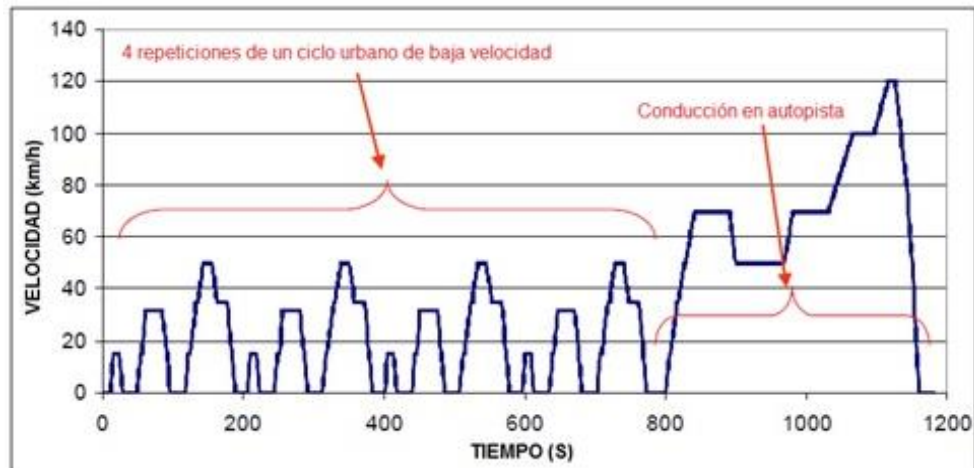


Fig. 2 Ciclo de conducción estilizado NEDC.

Fuente: Barlow et al., 2009.

“Ciclo de conducción americano regulado por la EPA (Agencia de Protección del medioambiente de la Estados Unidos) *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS), aplicado en un tiempo de 1.369 segundos, una distancia de 7,45 millas (11,98km) con una velocidad promedio de 19,59 mph (31,52km/h). Otro ciclo es el FTP-75 (*Federal Test Procedure*) en el cual se recorre una distancia de 11,04 millas (17,85 km), a una velocidad promedio de 21,2mph (34,3km/h), durante un tiempo de 1.874 segundos” (Dynamometer Drive Schedules, 2015)

En las figuras 3 y 4 se indican los comportamientos de cada ciclo de conducción antes mencionados.

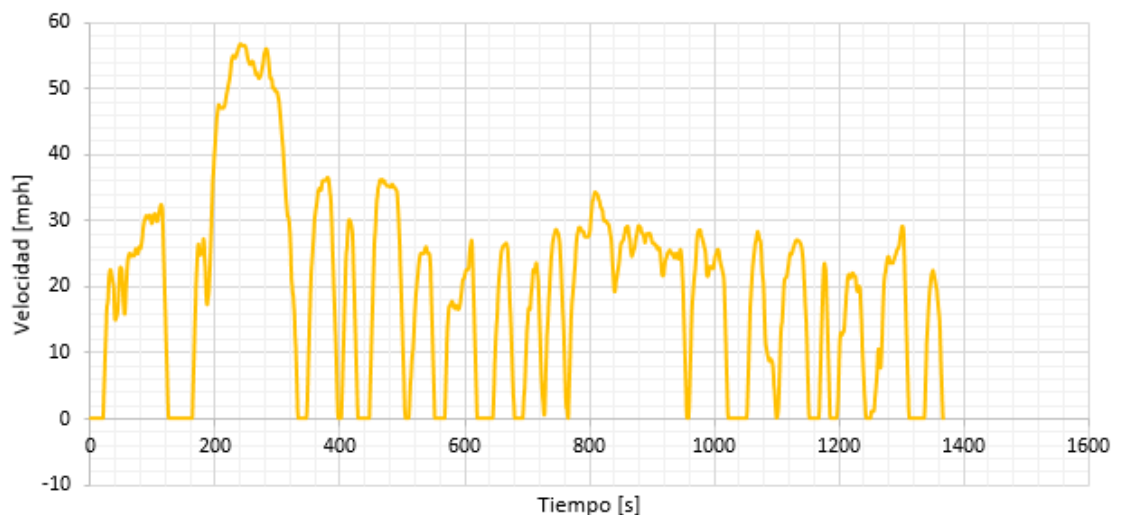


Fig. 3 Ciclo de conducción UDDS.

Fuente: Dynamometer Drive Schedules, 2015.

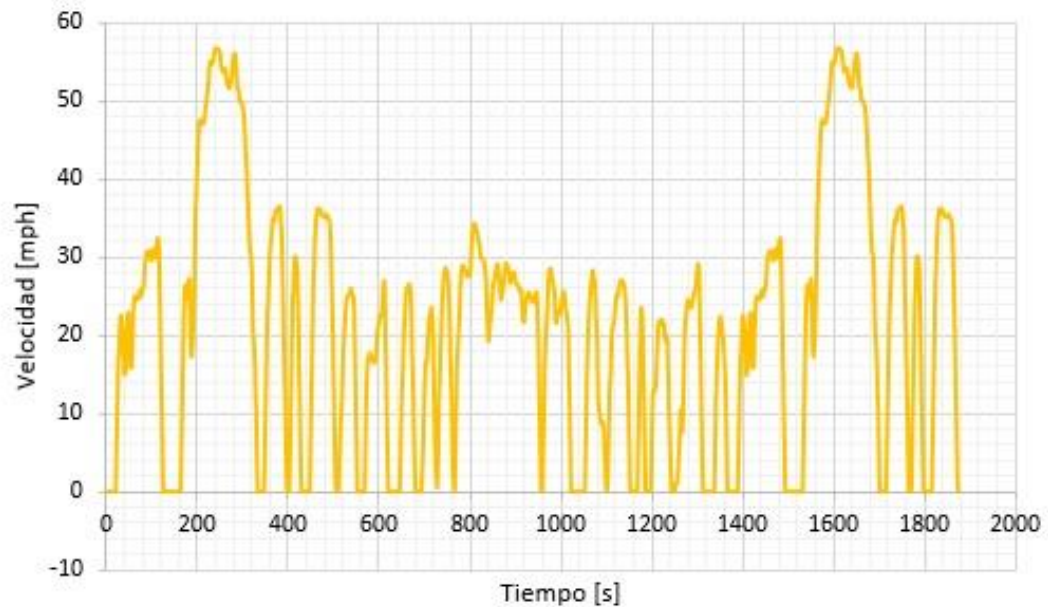


Fig. 4 Ciclo de conducción FTP-75.

Fuente: Dynamometer Drive Schedules, 2015.

“Ciclo de conducción europeo *New European Driving Cycle* (NEDC), que consiste en cuatro repeticiones del ciclo ECE-15 y un ciclo EUDC que analiza condiciones de tráfico extra urbano, se utilizan para evaluar las emisiones contaminantes de los vehículos europeos, se aplica un tiempo de 195 segundos, una distancia de 0.994 km, con una velocidad promedio de 18,35 km/h, en la figura 5 se muestra un ciclo de conducción UN/ECE *Elementary Urban Cycle*” (Dynamometer Drive Schedules, 2015)

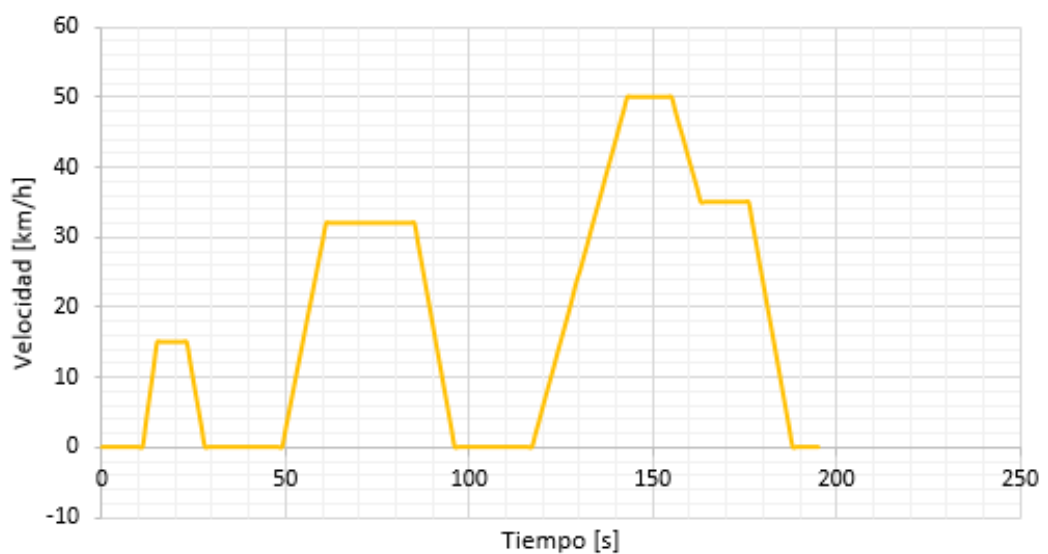


Fig. 5 Ciclo de conducción UN/ECE.

Fuente: Dynamometer Drive Schedules, 2015.

“Ciclo de conducción japonés 10-15 se utiliza para la homologación de vehículos, para analizar el consumo de combustible y para determinar los gases contaminantes, es la combinación del modo 10 con el modo 15, se aplica en un tiempo de 892 segundos, una distancia de 6,34 km, una velocidad promedio de 25,61km/h, en la figura 6 se indica un diagrama de este ciclo de conducción” (Dynamometer Drive Schedules, 2015)

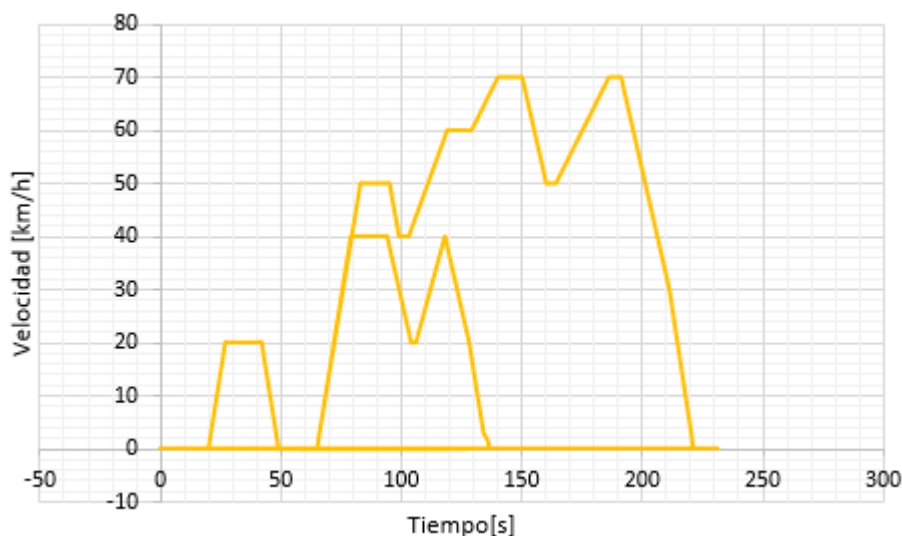


Fig. 6 Ciclo de conducción japonés 10-15.

Fuente: Dynamometer Drive Schedules, 2015.

2.2 CONSUMO DE ENERGÍA

2.2.1 CONSUMO ENERGÉTICO A NIVEL NACIONAL

Para analizar el consumo energético en el transporte se debe considerar las fuentes de energía primaria que se extrae de los recursos naturales directamente. Como son: la energía hidráulica, la energía solar, la energía geotérmica, la energía eólica o mediante la exploración del subsuelo o prospección para el petróleo o gas natural. La fuente de energía secundaria se produce desde la energía primaria que para poder ser aprovechada por los consumidores se debe transformar o modificar mediante procesos físicos y/o químicos generando otro tipo de energía como es la electricidad, el gas licuado de petróleo (GLP), gasolinas, diésel y entre otros productos no energéticos como asfaltos y lubricantes derivados del petróleo, en consecuencia existen pérdidas de energía, según lo explica el segundo principio de la termodinámica. (Sears & Zemansky, 2009)

Los centros de transformación pueden ser: Centrales eléctricas, centros de tratamiento de gas, plantas de regasificación, refinerías de petróleo, destilerías de bioetanol, plantas de biodiesel y carboneras.

2.2.2 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL ECUADOR

El consumo de energía implica el consumo propio del sector energético para su funcionamiento, producción, transporte, distribución y almacenamiento. El consumo final energético implica todos los sectores socio-económicos que utilizan la energía para satisfacer sus necesidades, como por ejemplo, el sector residencial, el sector comercial (servicios y administración pública), el sector del transporte (carretera, ferrocarril, aéreo y fluvial-marítimo), el sector de la agricultura, pesca y minería, el sector industrial, el sector de la construcción entre otros.

“La producción de energía primaria se concentra en la energía de origen fósil: petróleo (90%), que se divide a su vez en una fracción para exportación (63%) y otra para carga a refinerías nacionales (27%), además de contar con algo de gas natural (4%). De esta forma, la energía de origen fósil representa 94% del total de la producción de energía primaria. El resto es producción hidráulica (4%), producción de productos de caña (1%) y leña con menos del 1%.” (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos 2013), lo que se indica en la figura 7.



Fig. 7 Oferta de energía primaria.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

En la figura 8 se muestra la oferta de energía primaria que ha tenido el Ecuador desde el año de 1970, en el cual se inició la explotación del petróleo hasta el 2012. En los años de 1986 a 1988 hay una disminución de la oferta de energía y esto, se debe al terremoto que soportó el país y rompió el oleoducto transecuatoriano, la línea roja indica la demanda que tiene el Ecuador y se puede apreciar el aumento que tiene con el paso de las décadas expresada en miles de barriles equivalentes de petróleo (kBEP), toda la parte que se encuentra sobre esta línea es energía que se puede exportar.

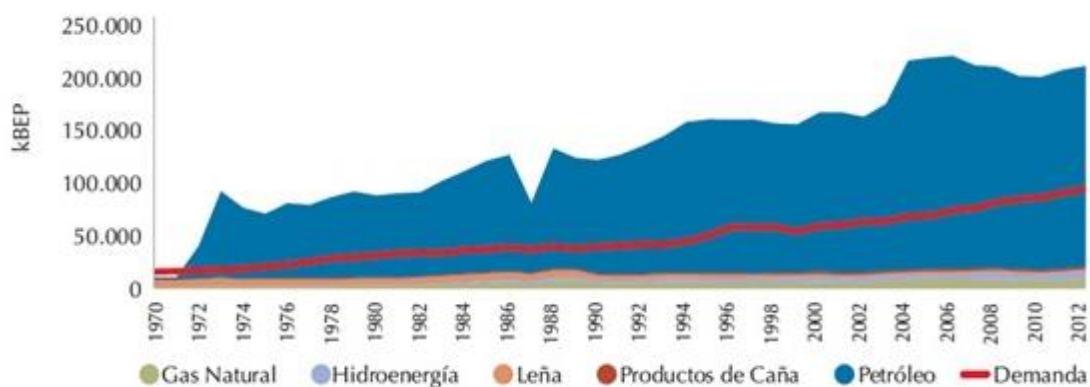


Fig. 8 Oferta de energía según la fuente en el Ecuador.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

En la figura 9 se indica como el transporte en el Ecuador ha ido aumentando el consumo de energía en miles de barriles equivalentes de petróleo (kBPE), luego la industria que también tiene un aumento importante.

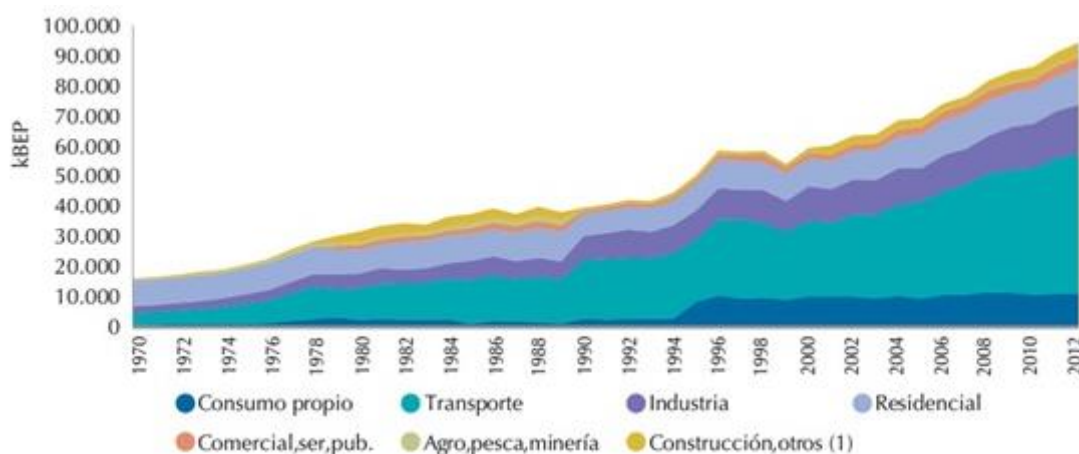


Fig. 9 Evolución del consumo de energía por sectores.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

En la figura 10 se puede analizar el consumo por tipo de fuentes. Donde puede verse el predominio absoluto de los derivados del petróleo, el diésel y las gasolinas son las principales fuentes de consumo en especial para el sector transporte.

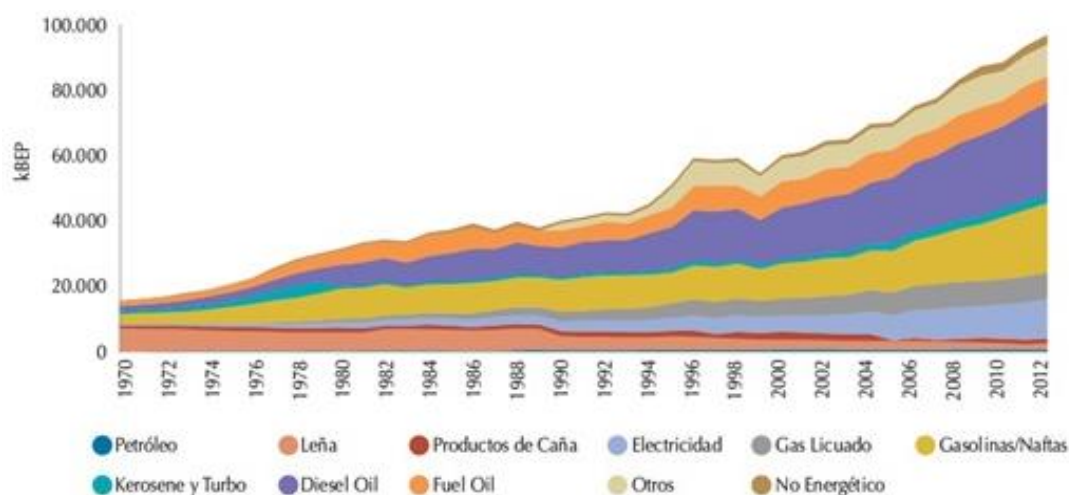


Fig. 10 Evolución del consumo de energía por tipos de fuentes.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

Después de analizar las figuras se puede ver que el transporte requiere más consumo de energía con el pasar de los años y esto, se debe al aumento del parque automotor que tiene el país; por lo que, se ve incrementado el consumo de combustibles fósiles, gasolina y diésel en la matriz final de consumo por fuente de energía primaria.

2.2.3 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL TRANSPORTE

“La matriz de demanda (incluido el consumo de no energéticos y consumo propio) de energía muestra el consumo de energía final o neta por sector. Los sectores que más demandan energía son transporte (49%), seguido por la industria (17%), el consumo residencial (13%), consumo propio (12%), comercial y servicios públicos (4%) y uso No energético (3%)” (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013), lo que se indica en la figura 11.



Fig. 11 Consumo de energía.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

En la figura 12 se presentan los energéticos consumidos por los sectores de transporte, industria, residencial y comercial. En el sector transporte los combustibles más consumidos son la gasolina (44%) y diésel (43%). El fuel oil también tiene una importante participación (8%) debido al consumo de transporte naviero de gran calado. La electricidad en transporte es casi inexistente y el único caso representativo es el sistema de transporte público trolebús de la ciudad de Quito. En la industria, el consumo predominante sigue siendo de diésel (39%), que es usado para la mayoría de procesos térmicos y también tiene una importante participación la electricidad (31%) como el energético ideal para los procesos de fuerza. El sector residencial es dominado por el uso del Gas licuado de petróleo (59%), destinado especialmente para cocción. En el caso de la leña (13%), ésta tiene un rol muy representativo para usos de cocción en zonas rurales. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

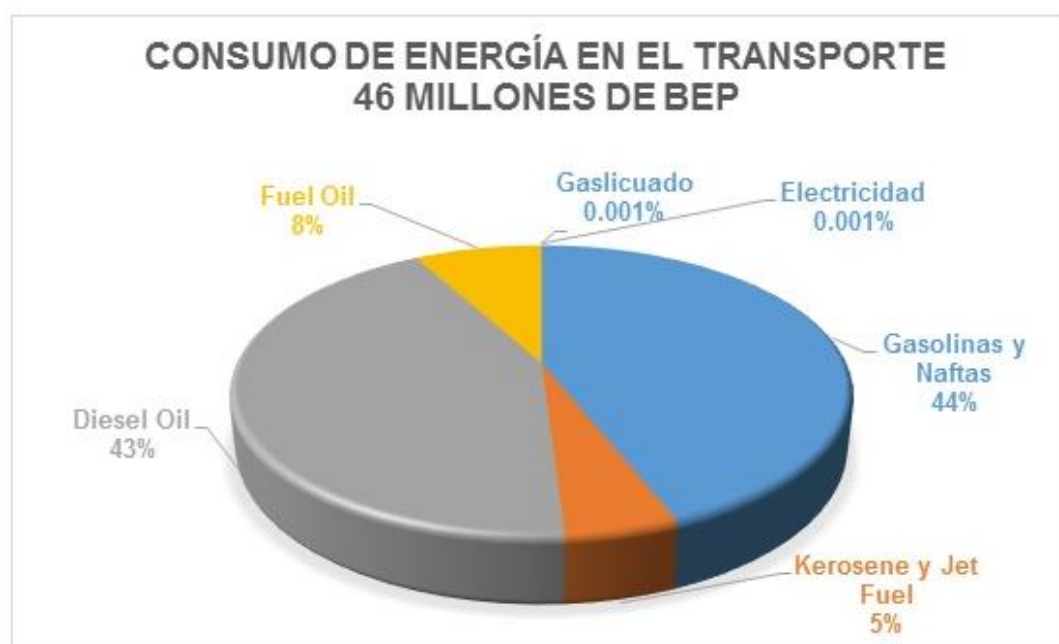


Fig. 12 Consumo de Energía en el Transporte.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

En la tabla 1 se hace un análisis final del consumo energético por sector en miles de barriles equivalentes de petróleo (kBEP) desde el año 2009 hasta el 2012 en donde se puede notar que el transporte es el mayor consumidor de energía en el país, ya que en el año 2009 se consumieron 40.797 kBEP equivalente a $6,937 \times 10^{10}$ kWh, y para el año 2012 se requirieron 46.050 kBEP equivalentes a $7,829 \times 10^{10}$ kWh, esto significa que en 4 años ha existido un aumento en la demanda de energía del 12,9% y en los años 2011 a 2012 del 2%.

Tabla 1 Consumo final de energía por sector (kBEP)

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

Año	2009	2010	2011	2012	Var. (%) 2012/2011
Transporte	40797	42114	45121	46045	2,0
Industria	14216	14756	15572	16594	6,6
Residencial	11659	11760	11661	12291	5,4
Comercial, Servicio Público	2867	2961	3354	3539	5,5
Agro, Pesca, Minería	625	691	766	857	12,0
Construcción, otros	674	874	1023	1101	7,6
No energético	2703	2493	2631	2825	7,4
Consumo final	73541	75649	80128	83252	3,9

De los 46.050 kBEP que demandó el sector del transporte para el año 2012, el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos en el 2013 realizó un análisis por tipo de transporte, donde se puede apreciar que los vehículos de carga liviana consumen el 32% de dicha energía y el 37% es consumida por la carga pesada, sumando entre los dos un 69%, lo que se indica en la figura 13.

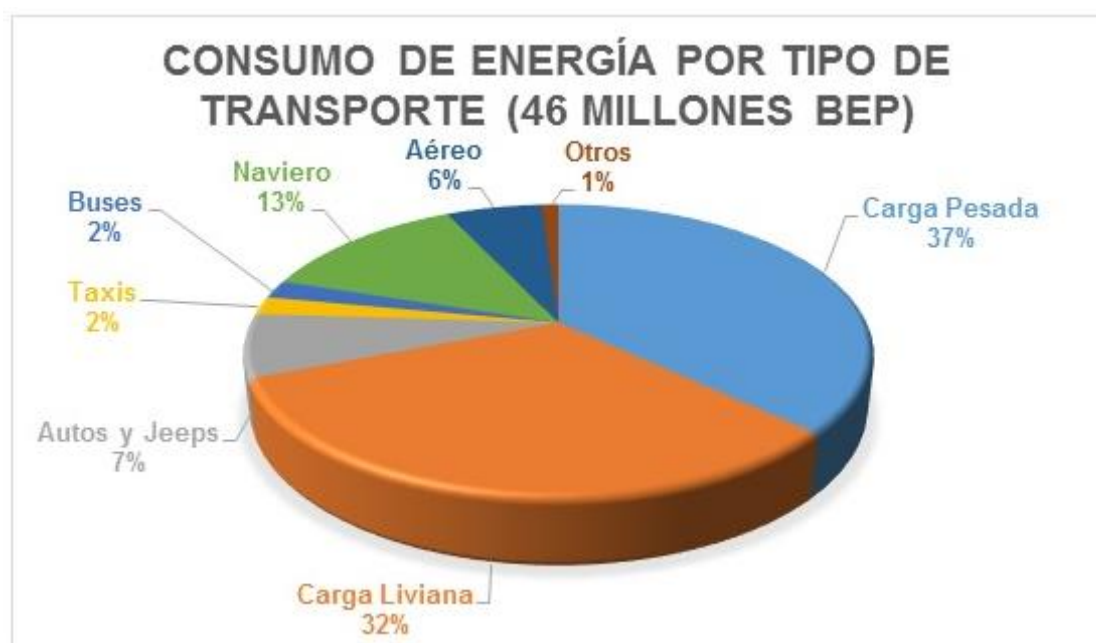


Fig. 13 Consumo de energía por tipo de transporte.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013.

2.3 CONSUMO DE GASOLINA EN VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA

El parque automotor nacional según las estadísticas de transporte publicadas por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC, 2014), entre los años 2003 y 2013, se observa que el parque automotor del Ecuador presentó una tasa de crecimiento anual de 7,8%. En 10 años casi un millón de vehículos se sumaron al parque automotor, alcanzando en el 2013 un total de 1,7 millones de vehículos matriculados. Más de la mitad de los vehículos están ubicados en las provincias de Pichincha y Guayas. Como se puede apreciar en la figura 14, el parque automotor presentó una gran tendencia de crecimiento especialmente entre 2009 y 2013, cuando creció en un 90%. Los vehículos livianos presentaron una proporción de participación constante con el resto de vehículos durante todo el periodo, representando aproximadamente la mitad del parque automotor. (Cevallos, 2015)

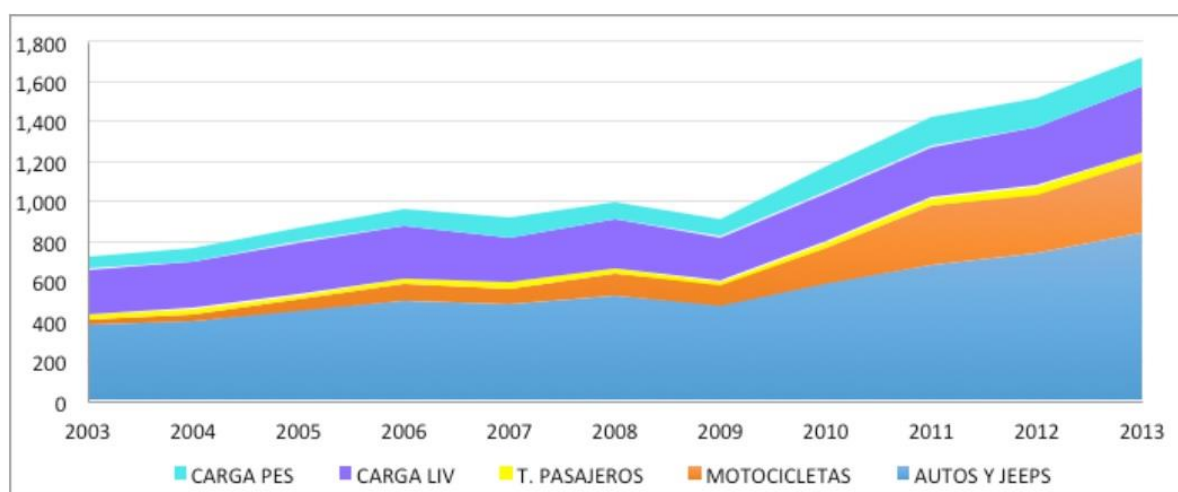


Fig. 14 Evolución histórica del parque automotor en el Ecuador, en miles de unidades.

Fuente: Cevallos, 2015

En el año 2014, se matricularon en el país 1'752.712 vehículos; 34.826 vehículos más en relación al año 2013, siendo del total del país el 94,5% automotores de uso particular y el 56% son vehículos que apenas tienen entre uno y siete años de uso (2008 – 2015), y en la provincia del Azuay se matricularon 105.178 vehículos. (INEC, 2014)

En el Ecuador el consumo de gasolinas, diésel, fuel oil y GLP alcanzó los 81,6 millones de barriles en 2014. Esta cifra superó en 4 millones de barriles el consumo con relación al 2013, cuando se registraron 77,6 millones de barriles. La demanda de gasolinas aumento en 6,43%, la cifra pasó de 24,9 millones de barriles en 2013, a 26,5 millones de barriles al 2014. (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2015)

Según las cifras expuestas existe un aumento del total de vehículos matriculados en el país desde el año 2013 al año 2014 de un 2%, y el consumo total de combustible en un 5%. En la figura 15 se observa cual ha sido el aumento del consumo de gasolina en los últimos 15 años. En el año 2000 se consumieron 11,6 millones de barriles de gasolina y en el año 2014

fueron 26,5 millones de barriles de gasolina; por lo que el aumento es del 128,4% en 14 años.

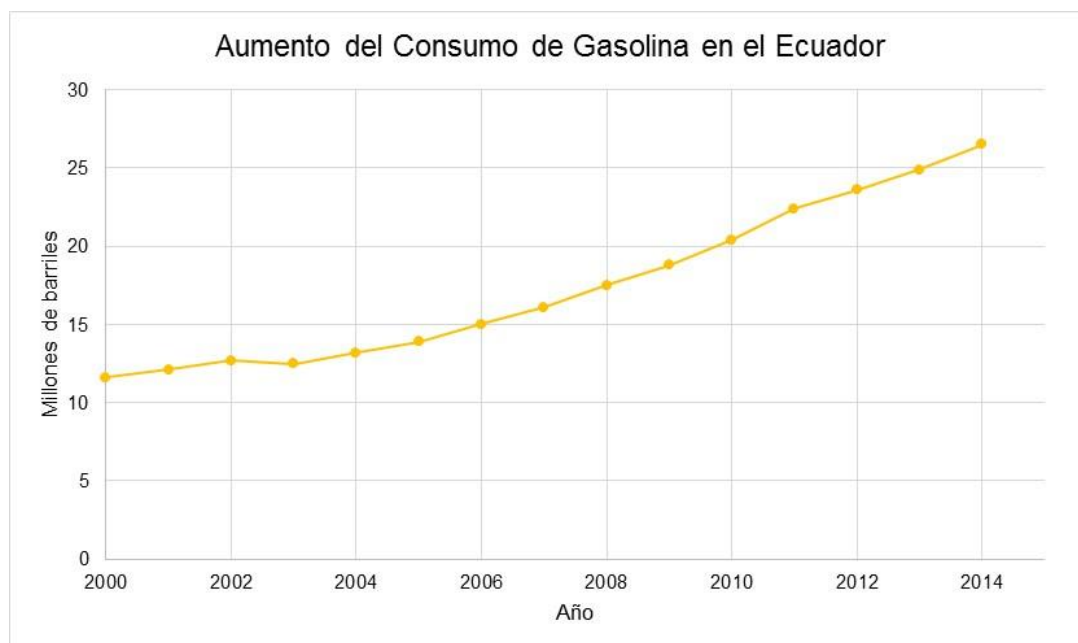


Fig. 15 Aumento del consumo de gasolina en el Ecuador.

Fuente: El Autor

Las características de la gasolina que se distribuye en el Ecuador según la norma INEN 2102 deben ser, para gasolina extra un índice de octano de 91 RON y para la gasolina súper de 95 RON, según el Reglamento Técnico RTE INEN 028 “Combustibles”. (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2015)

2.3.1 CANTIDAD DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA

En la Provincia del Azuay para el año 2013 se matricularon 100.225 vehículos y para el año 2014 se matricularon 105.178 vehículos, existiendo un aumento anual del 4,9%, de los cuales 100.542 son particulares, 3.330 son de alquiler, 802 son del Estado, 426 del Municipio y 78 de gobiernos seccionales. Del total de vehículos matriculados en la provincia del Azuay el 34% corresponde a automóviles, siendo el equivalente a 35.761, el 25% a jeeps con su equivalente a 26.295, el 24% a camionetas, con el equivalente de 25.243, el 8% a motocicletas, siendo el equivalente 9.466 y el 9% a otros siendo 8.414, en la figura 16 y 17 se observan dichos valores. (INEC, 2014)

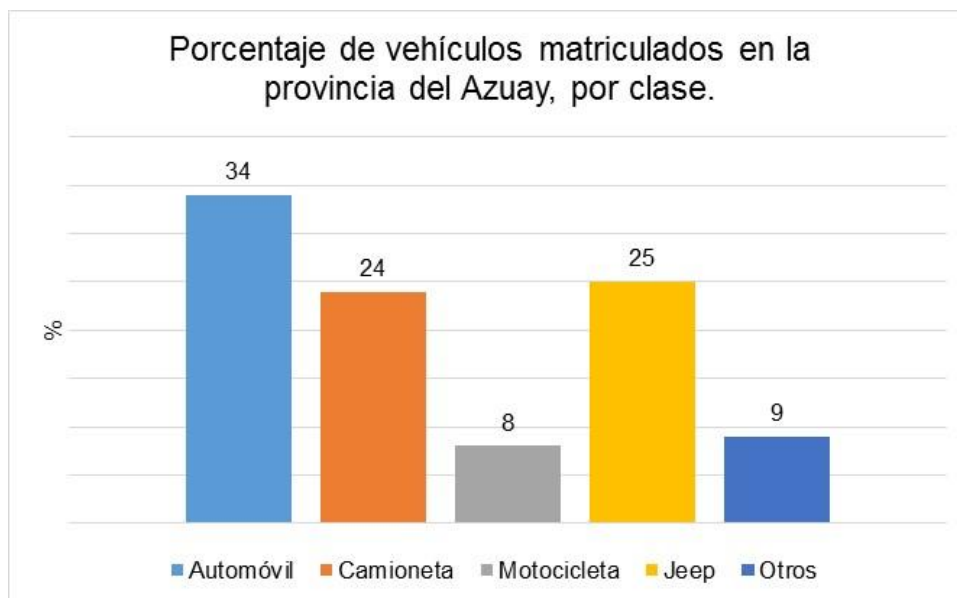


Fig. 16 Porcentaje de vehículos matriculados en el 2014 en la provincia del Azuay, por clase.

Fuente: INEC, 2014

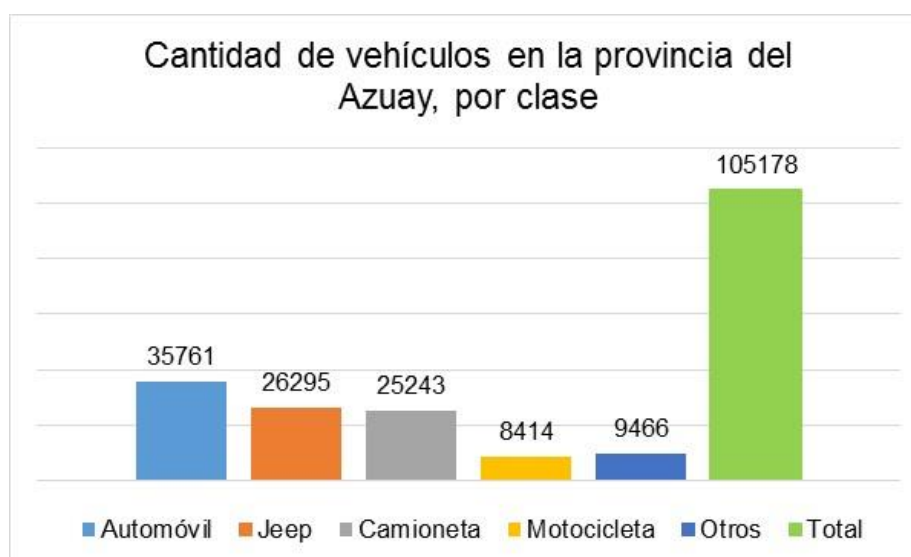


Fig. 17 Cantidad de vehículos en el 2014 en la provincia del Azuay, por clase.

Fuente: INEC, 2014

De acuerdo a la categorización y clasificación de los vehículos que se consideran para el análisis de la cantidad existente según el INEC y basándose en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656 Clasificación Vehicular. Se consideran a los vehículos livianos para que funcionen dentro del sistema a los siguientes:

“ **Automóvil:** Vehículo destinado al transporte de personas, con capacidad hasta de 6 asientos, incluido el conductor; incluye (station wagon, sedan, coupe; etc.)

- **Jeep:** Vehículo liviano de carrocería con diseño especial y capacidad de hasta 12 asientos; incluye (vitara, trooper; etc.)

- **Camioneta:** Vehículo automóvil de 4 llantas, con capacidad de carga de hasta 3 toneladas.

- **Furgoneta de pasajeros:** Vehículo liviano, con carrocería completamente cerrada de mayor amplitud que el automóvil, con 3 o más filas de asiento y capacidad de hasta 16 asientos; destinado al transporte de pasajeros.

- **Furgoneta de carga:** Vehículo liviano, con carrocería completamente cerrada, más pequeño que el camión, destinado generalmente al reparto de mercancías; su capacidad varía de $\frac{1}{4}$ a $3 \frac{1}{2}$ toneladas". (INEC, 2013)

La cantidad de los vehículos matriculados en la provincia del Azuay para el año 2014, según el tipo de combustible que utilizan, se indica en la tabla 2, donde se puede observar que el combustible predominante es la gasolina con el 90,04% y el combustible diésel con el 9,66%, y el 0,3% son vehículos híbridos, eléctricos y GLP.

Tabla 2 Cantidad de vehículos en el Azuay que utilizan gasolina y diésel.

Fuente: INEC, 2014

Tipo de combustible	Total	Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos Seccionales
Diésel	10.156	8.189	1.413	263	235	56
Gasolina	94.705	92.037	1.916	539	191	22

La cantidad de vehículos entre automóvil, jeep, camioneta y otros en la provincia del Azuay para el año 2014 es de 96.764, entre MCIA a gasolina y diésel, se observa en la figura 18, pero considerando que el 90% de dicho valor son vehículos que utilizan gasolina, se obtiene una cantidad aproximada de 87.087 vehículos a gasolina que circulan en la provincia.

Cantidad de vehículos en la Provincia del Azuay, año 2014.

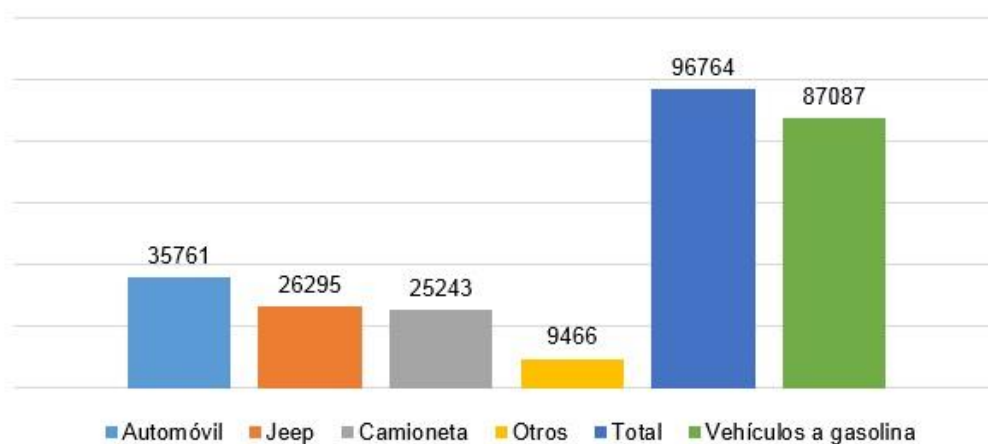


Fig. 18 Cantidad de vehículos en el 2014 en la provincia del Azuay.

Fuente: El Autor

Según el informe de rendición de cuentas de la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV), para el año 2013 se matricularon en la ciudad un total de 79.567 vehículos y para el año 2014 fueron 84.176, en la figura 19 se muestra la cantidad de vehículos matriculados en el año 2013 y 2014, incluyen todos los tipos de vehículos; por lo que, se consideran dichos valores para analizar el porcentaje de aumento de vehículos en la ciudad, que en un año es del 5.8%.

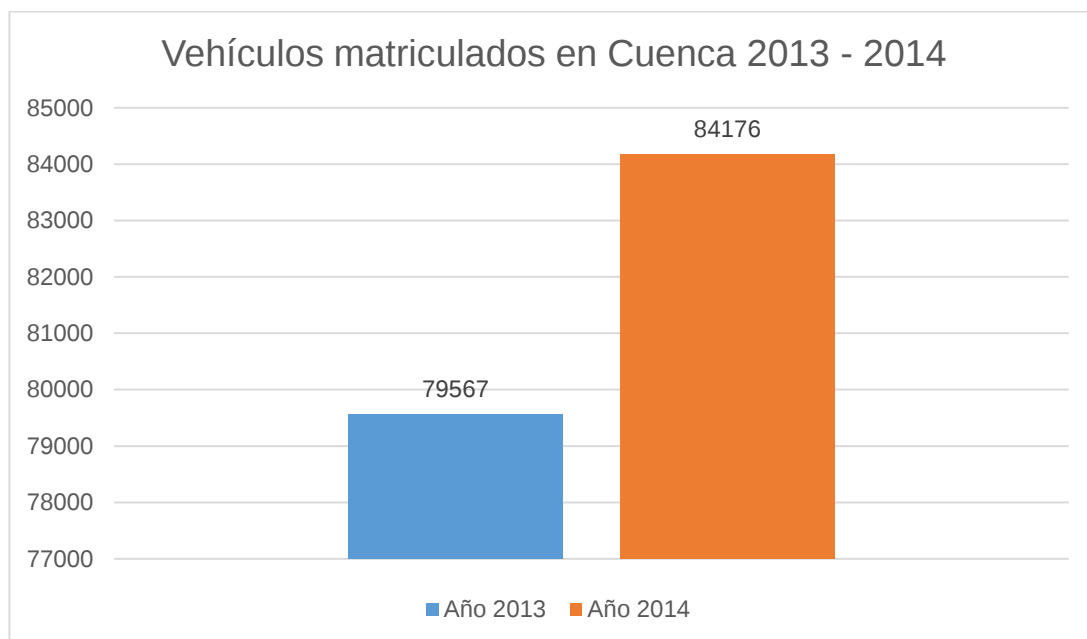


Fig. 19 Cantidad de vehículos matriculados en Cuenca 2013 y 2014.

Fuente: EMOV, 2014

En relación a la información proporcionada por los Centros de Revisión Técnica Vehicular (CRTV) de la ciudad de Cuenca para el año 2013, se obtiene la cantidad de vehículos livianos que han pasado para primera revisión, en la tabla 3 se indica la cantidad de vehículos livianos en primera revisión y en el anexo 1 se puede observar la tabla completa.

Tabla 3 Cantidad de vehículos livianos en 1ra revisión de la RTV, para el 2013.

Fuente: El Autor

Tipo de Vehículo	Año			
	2010	2011	2012	2013
Automóvil	51.598	54.579	57.340	60.141
Camioneta	18.826	18.966	19.160	19.750
Furgoneta	1.304	1.447	1.468	1.631
Total	71.728	74.992	77.967	81.522

En la figura 20 se indica la cantidad de vehículos livianos desde el año 2010 hasta el año 2013, que han acudido por primera vez la RTV, independientemente del tipo de MCIA que utilicen y la figura 21 indica el porcentaje anual en el incremento del número de vehículos livianos que se produce en la RTV en Cuenca, donde existe un aumento anual que tiende al 4.6%, relacionando con los datos obtenidos de cantidad de vehículos matriculados según la EMOV para el año 2014 existe un aumento del 5.8% en todos los vehículos, y en la provincia del Azuay se generó un aumento del 4,9% para el año 2014.

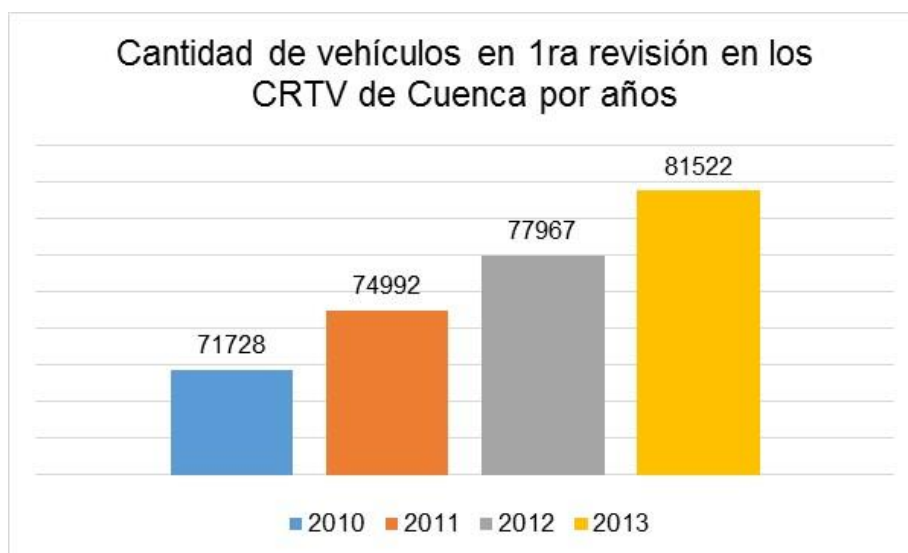


Fig. 20 Cantidad de vehículos en 1ra revisión en los CRTV de Cuenca por años.

Fuente: El Autor.

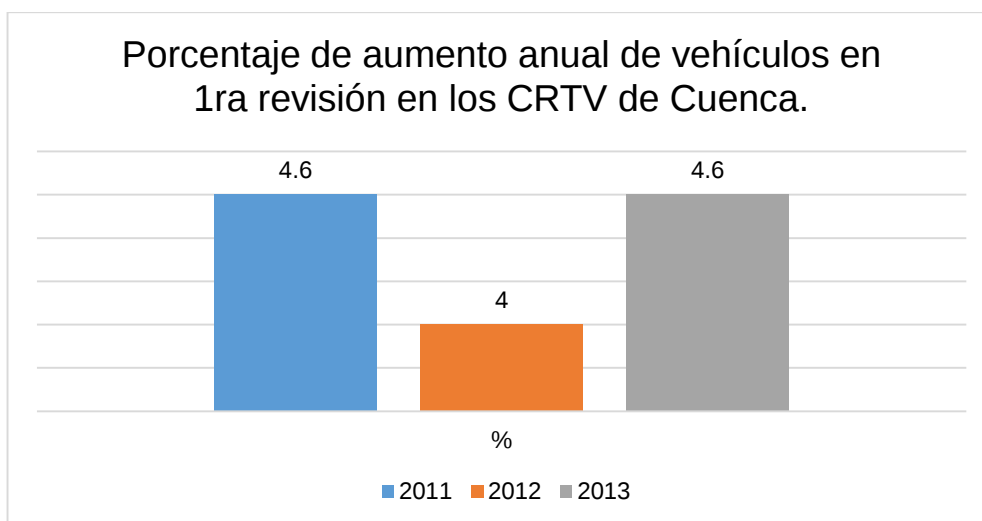


Fig. 21 Porcentaje de aumento anual de vehículos en 1ra revisión de los CRTV en Cuenca.

Fuente: El Autor.

Considerando la cantidad de vehículos livianos para el año 2013 de 81.522 y que el 90% de ellos utilicen gasolina para el funcionamiento del MCIA, se obtiene que 73.370 vehículos en Cuenca podrán ser de tipo liviano y utilizan gasolina. Para el año 2014, con un aumento del 4,6% anual se tiene 85.272 vehículos livianos, y el 90% de ellos utilizarían gasolina, entonces 76.745 vehículos livianos a gasolina existirían en Cuenca. La figura 22 indica los datos obtenidos para la cantidad de vehículos livianos que funcionan con gasolina en Cuenca.

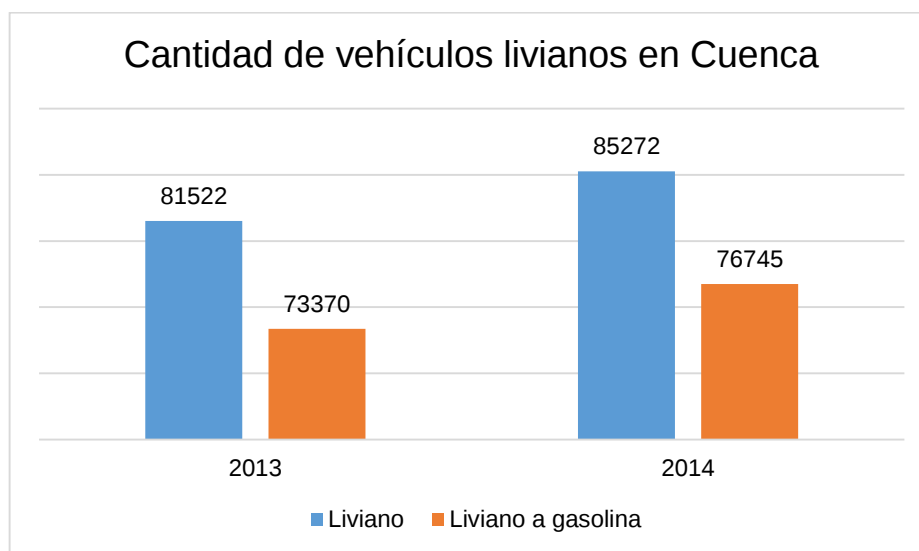


Fig. 22 Cantidad de vehículos livianos matriculados en Cuenca 2013 y 2014.
Fuente: El Autor.

En la provincia del Azuay según el análisis existen 87.087 vehículos livianos a gasolina, y en la ciudad de Cuenca 76.745 vehículos livianos a gasolina, existiendo una diferencia del 13,4%, para el año 2014.

Según los datos obtenidos de la cantidad de vehículos que indica el INEC para la provincia del Azuay, y la cantidad de vehículos que han realizado la revisión en los CRTV de la ciudad de Cuenca y la cantidad de vehículos registrados por la EMOV, para los años 2013 y 2014 se puede observar que entre los CRTV y la EMOV existe una variación en los datos del 2,5% en el año 2013 y del 1,3% para el 2014. En la figura 23 se observa la cantidad de vehículos registrados en los centros, empresa e instituto.

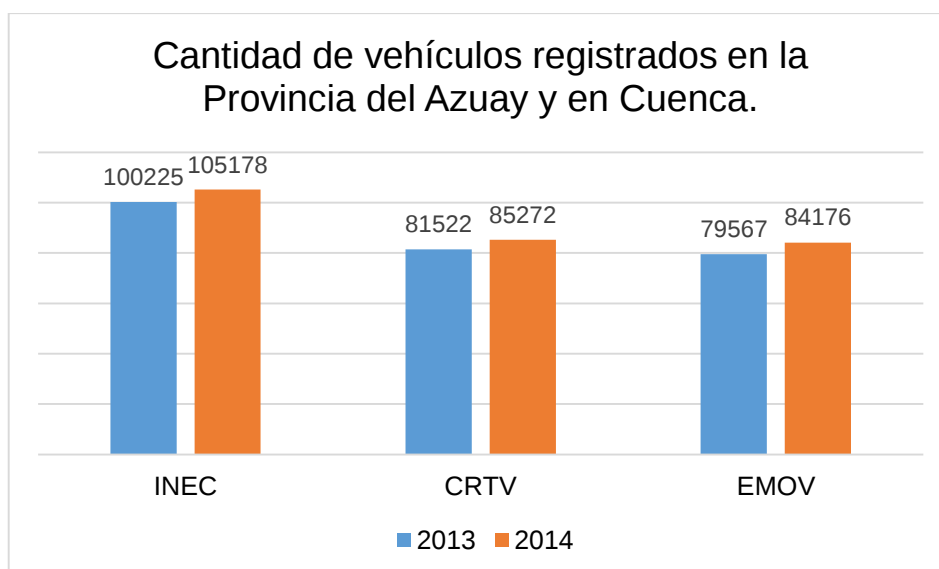


Fig. 23 Cantidad de vehículos registrados en la Provincia del Azuay y en Cuenca, 2013 y 2014.

Fuente: El Autor.

2.3.1.1 RELACIÓN HABITANTES / VEHÍCULOS

En la provincia del Azuay en el año 2014 habitan 796,169 personas y están matriculados 105.178 vehículos, de donde existe una relación de 8 personas por vehículo y en la ciudad de Cuenca existen 569.416 habitantes, en el año 2014 y existen 84.176 vehículos matriculados en el 2014; por lo que existe una relación de 7 personas por vehículo.

“Parque automotor: En la ciudad existen de 76 mil a 80 mil vehículos y cada año alrededor de 5 mil más se suman a la flota local, según informes de la Asociación de Empresas Comerciantes de Vehículos en Cuenca. Estos datos determinan que Cuenca sea la ciudad con mayor número de vehículos de acuerdo a la población en el país. Existen 213 vehículos por cada mil habitantes” (Compleja situación vehicular afecta las calles de Cuenca, 2009)

2.3.2 CONSUMO DE GASOLINA EN EL CANTÓN CUENCA

En el Ecuador el consumo de gasolina en el año 2014 fue de 26,48 millones de barriles, mientras que en el 2013 se registraron 24,93 millones de barriles, con un incremento anual de 6,2%. (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2015)

“En la provincia del Azuay para el año 2011 se despachó de gasolina extra 47'292.466 galones y de gasolina súper 8'515.306 galones, para el año 2012 de gasolina extra 51'035.358 galones y de gasolina súper 7'672.253 galones, habiendo un incremento en la cantidad total de gasolinas del 5,2%”. (Arellano, 2013).

“En el año 2013 se consume de gasolina extra 53'210.000 galones y de gasolina súper 6'980.000, existiendo un aumento en el total de gasolinas de 2,5% en relación al 2012, en el año 2014 se consume de gasolina extra 55'970.000 galones y de gasolina súper 6'910.000 galones, existiendo un aumento en la cantidad total de gasolinas de 4,5%”. (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2015).

El consumo total de gasolinas en la Provincia del Azuay desde el año 2011 hasta el año 2014, que es de 62,88 millones de galones y se indica en la figura 24. La cantidad de vehículos livianos con motor a gasolina en la provincia, para el año 2014 según los datos obtenidos en el punto 2.1 es de 87.087 vehículos livianos y 8.414 motos.

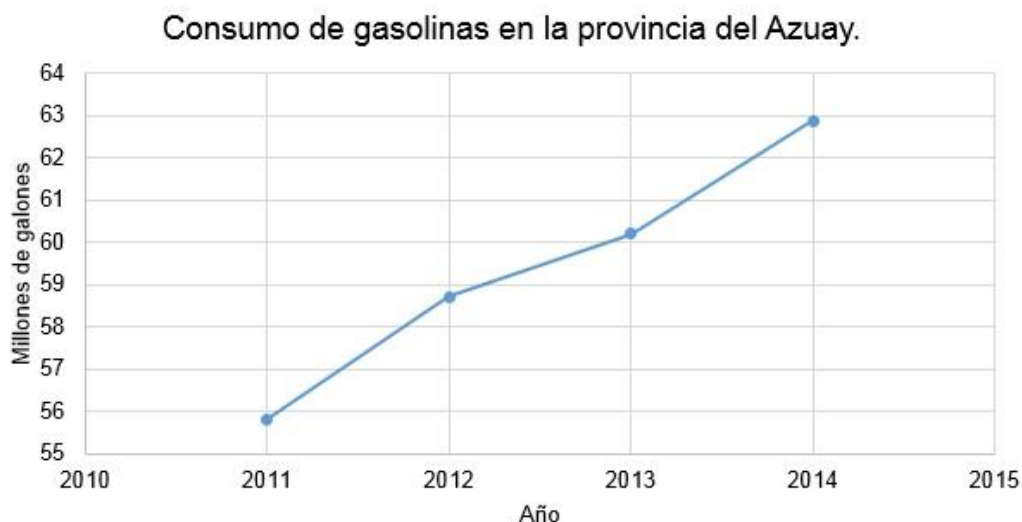


Fig. 24 Cantidad de consumo de gasolina en la Provincia del Azuay.

Fuente: El Autor.

“En la ciudad de Cuenca, para el año 2011 el consumo de gasolina extra para el sector automotriz fue de 40’032.819 galones, de gasolina súper fue de 7’790.388 galones, siendo un total de 47’823.207 galones”. (Emov Ep, 2014)

En el año 2014 la cantidad de gasolinas consumida en el Cantón Cuenca, con un incremento del 4,3% en relación al año 2013 es de 53’888.314 galones. En la figura 25 se indica la cantidad de consumo de gasolinas por años tanto para la Provincia del Azuay como para el Cantón Cuenca.

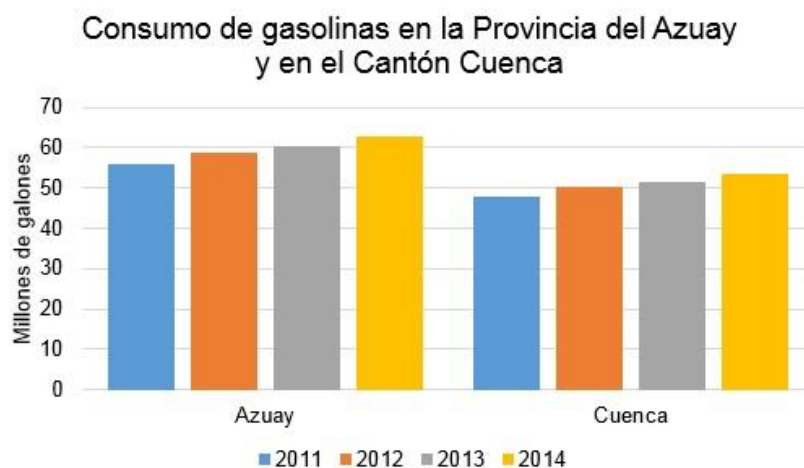


Fig. 25 Cantidad de consumo de gasolina en la Provincia del Azuay y en el Cantón Cuenca.

Fuente: El Autor.

2.3.3 ENERGÍA NECESARIA PARA MOVILIDAD DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA

Considerando que en el Cantón Cuenca para el año 2014 existen 76.745 vehículos livianos a gasolina y se consume 53'888.314 galones de gasolinas, se obtiene que se consumen 702 galones anuales por vehículo liviano, en dichos valores incluyen taxis, vehículos de alquiler y particulares. En la figura 26 se muestra la cantidad de vehículos livianos desde el año 2011 hasta el año 2014 y la cantidad del consumo de gasolinas en dichos años; según el aumento de vehículos livianos para el año 2014 fue de un 4,6% y que el aumento del consumo de gasolinas para el mismo año fue de 4,3% en el Cantón Cuenca.

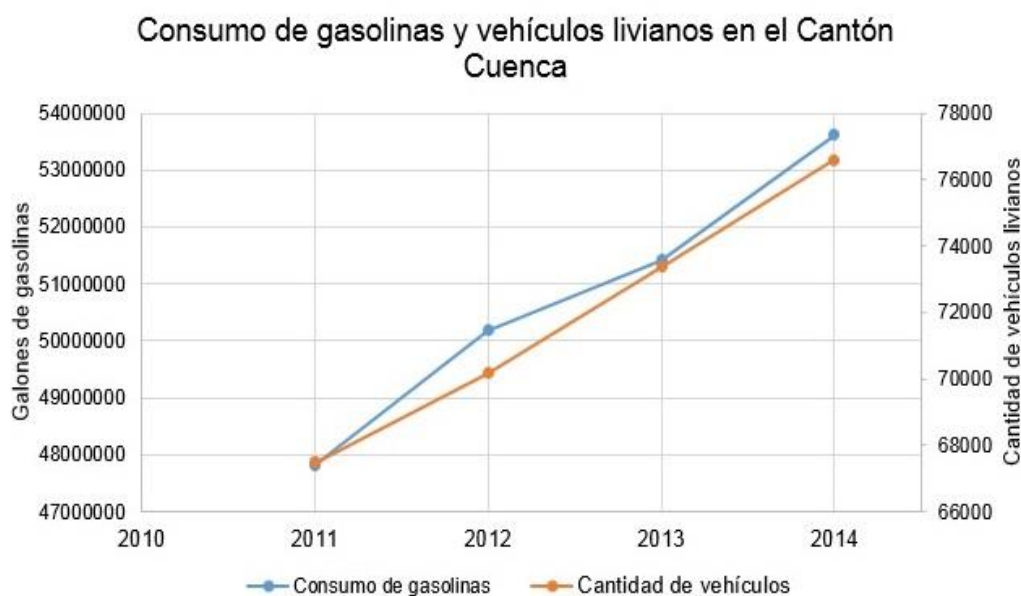


Fig. 26 Cantidad de consumo de gasolina y cantidad de vehículos livianos en el Cantón Cuenca.

Fuente: El Autor.

2.3.3.1 EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO (MCIA)

Para calcular la energía que se consume en movilidad para el Cantón Cuenca, se considera la cantidad de gasolinas despachada, la cantidad de energía que se genera para el funcionamiento de los MCIA de encendido provocado, considerando las características generales de dicho combustible como es la densidad, el poder calorífico y la norma NTE INEN 935:2010.

“El gasto de combustible y poder calorífico: Los motores basan su funcionamiento en el proceso de combustión, cuyo resultado es la liberación de energía contenida en los enlaces químicos en forma de energía térmica, lo que permite al motor obtener trabajo mecánico. Por ello, es clave conocer la cantidad de energía liberada” (Payri, 2011).

Si la combustión es completa y perfecta la energía liberada está dada por:

$$\dot{Q}_{lib} = \dot{m}_f PC \quad (2.1)$$

Dónde:

$\dot{Q}_{lib}$ = Potencia térmica liberada

$\dot{m}_f$ = Gasto de combustible

PC = Poder calorífico del combustible

“El poder calorífico inferior (PCI) equivale aproximadamente al trabajo máximo obtenible de la combinación combustible/aire, a través de evoluciones reversibles, constituye una referencia para compararlo con el trabajo del motor. El valor del PCI para gasolinas comunes es de 42.700 a 43.000 KJ/kg o 29.000 a 29.600KJ/l” (Payri, 2011).

Los vehículos livianos a gasolina que disponen de un MCIA de encendido provocado tienen un rendimiento efectivo del 35%, puesto que existen pérdidas mecánicas en las fases de bombeo, en rozamiento y en accionamiento de auxiliares; por lo que, no toda la energía aportada por la gasolina es utilizada en el desplazamiento del vehículo.

“El rendimiento efectivo de un MCIA de encendido provocado es la relación entre la potencia efectiva desarrollada por el motor y la potencia térmica del combustible”. (Payri, 2011).

$$n_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f PCI} \quad (2.2)$$

Dónde:

N_e = Potencia efectiva.

PCI = Poder calorífico inferior.

2.3.3.2 ENERGÍA CONSUMIDA PARA MOVILIDAD DE VEHÍCULOS LIVIANOS EN EL CANTÓN CUENCA

Considerando que 1litro de gasolina proporciona 29.600KJ de energía y que 1kwh es igual a 3.600KJ, entonces la energía generada por 1litro de gasolina equivale a 8,2 kwh. La energía utilizada por el MCIA para movilidad con un rendimiento del 35% es de 2,88kwh; un galón equivale a 3,785 litros, y en el Cantón Cuenca se consumieron en el año 2014 un total de 53'888.314 galones de gasolinas, entonces son 203'967.269 l/anual, consumiendo una energía de 1.677,1GWh por año con el total de la energía producida por la gasolina, por vehículo liviano son 21.853KWh por año. En la figura 27 se muestra el incremento en la generación de energía y de vehículos livianos en el Cantón Cuenca desde el año 2011 hasta el año 2014.

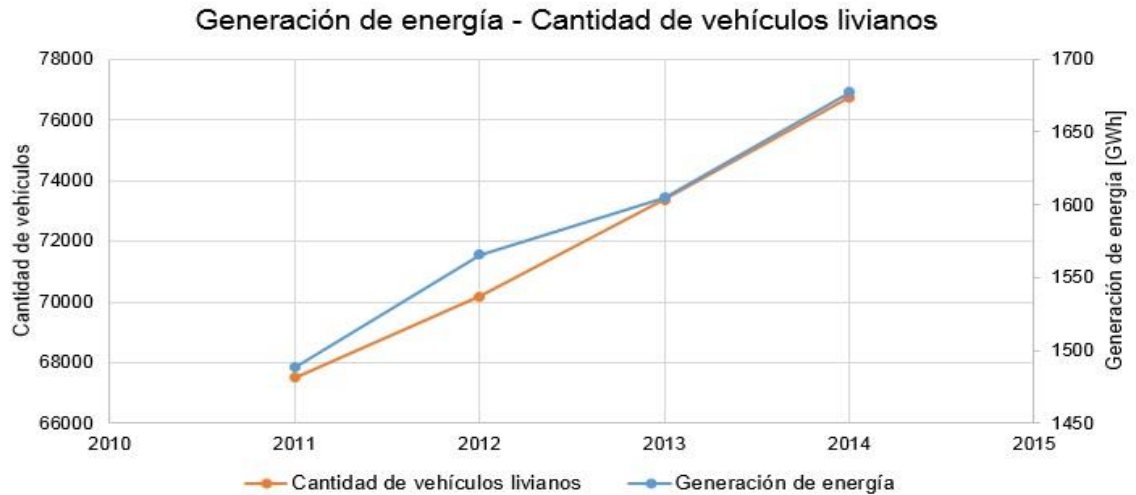


Fig. 27 Generación de energía y cantidad de vehículos livianos en el Cantón Cuenca.
Fuente: El Autor.

2.4 TECNOLOGÍA ALTERNATIVA PARA MOVILIDAD EN VEHÍCULO

En la actualidad existen varios tipos de vehículos para movilización, utilizando energía eléctrica o energía proveniente de combustibles fósiles; por lo que, mediante un análisis económico y ambiental basado en la metodología *well-to-wheel* (WTW) en el entorno europeo o lo que se puede llamar también de la fuente a la rueda entre vehículos eléctricos (EV), híbridos (HBEV) para compararlos con los motores de combustión interna alternativos (MCIA), y determinar cuales tienen mayores beneficios, considerando distintas circunstancias de manejo y diferentes ciclos de conducción a nivel mundial. Se determinó también que los gases de efecto invernadero emitidos hacia el medio ambiente en la región de la Unión Europea (UE) son menores en relación a los MCIA, pero en costos y consumo de energía basados en diez años (un ciclo de vida) son muy similares, si se reducen los costos de las baterías se puede inclinar la balanza hacia los EV's. (Faria et al., 2012)

2.4.1 TIPOS DE TECNOLOGÍAS APLICADAS:

Las nuevas tecnologías aplicadas a los vehículos con el propósito de disminuir el consumo de combustible fósil son, por ejemplo en el motor alternativo de combustión interna (MCIA) se aplica "*downsizing*" obteniendo mayor potencia con motores de menor tamaño, ya sea aplicando turbocargadores, sistemas de control de cierre y apertura de válvulas, desactivación de cilindros, sistemas *start/stop* y disminución de fricción entre los componentes.

Los vehículos híbridos (HEV) son una opción para reducir el consumo de combustible fósil, debido a que tienen dos fuentes de energía que se pueden utilizar para la tracción o propulsión del vehículo, una eléctrica y una de combustible con distintos tipos de configuración del tren motriz, siendo éstas en serie, en paralelo y en serie - paralelo.

Mediante una prueba de desempeño realizada en la Ciudad de Ambato, se analizó a los vehículos Toyota Prius y Ford Escape híbridos en una prueba en ciudad con velocidad promedio de 40 Km/h y una distancia recorrida de 20 Km y en una prueba en carretera (Latacunga-Ambato) con velocidad promedio de 80 Km/h, una distancia recorrida de 47 Km, donde se determinó que el Toyota Prius es el vehículo más eficiente en cuanto al consumo de combustible, logrando reducir en un 60% la cantidad de combustible consumido, esta tecnología ha permitido conseguir que el consumo de combustible sea de un 20% hasta un 60% menor que en vehículos comparables de tipo convencional (Castillo, 2011)

2.4.1.1 TIPOS DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS (HEV)

Existen varios tipos de HEV como son: Los micro híbridos, que tienen un MCIA, con sistema start/stop, frenado regenerativo, el sistema *passive boost* que libera al MCIA de cualquier carga que no sea la de tracción del vehículo, se pueden alcanzar ahorros de consumo de gasolina de hasta un 7%.

Los *mild* híbridos tienen de un motor eléctrico que genera más torque en el arranque o aceleraciones fuertes, además tiene frenado regenerativo, se alcanzan ahorros del 15 al 20% de combustible. (Marín, 2013).

Los full híbridos tienen un MCIA para la tracción o propulsión del vehículo, puede también generar energía para cargar las baterías, un motor eléctrico que puede utilizarse a bajas velocidades para la tracción o propulsión del vehículo y también para cargar las baterías, el consumo de combustible se reduce entre un 25 y 40%. (Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012)

Los vehículos híbridos enchufables (PHEV) en donde las baterías se pueden cargar mediante un conector enchufable a una fuente fija de electricidad, también se puede cargar mediante el freno regenerativo o con el MCIA, el problema de estos vehículos es que necesitan estaciones públicas de recarga. Existen vehículos con la denominación PHEVxx que tienen suficiente energía eléctrica para recorrer xx millas en un ciclo de conducción urbano. El vehículo puede o no puede cumplir tantas xx millas por que depende de la estrategia de conducción y el control de comportamiento del automóvil. Aplicando el modo de mantenimiento de la carga (*Charge-sustaining*), donde el estado de carga de la batería satisface a más de un modo de conducción aumentando o disminuyendo dicho estado de carga mediante varias capacidades de rango eléctrico, llegando a un estado equivalente de energía como al principio del ciclo. Como se puede apreciar en la figura 28 el PHEV40 recorrerá las primeras 40 millas (64,4 km) solamente en el modo eléctrico consumiendo 50% menos combustible que un vehículo convencional, sin utilizar el modo *Charge-sustaining*, de igual manera el PHEV20 en modo eléctrico podrá consumir un 30% menos, pero en estado *Charge-sustaining* llegará a consumir un 50% menos de combustible, obteniendo un 40% más de millas recorridas por galón, también se muestra que los HEV como el Highlander, el Accord y el Escape en modo eléctrico solamente tienen del 25% al

30% menos consumo de combustible que un vehículo convencional y el Prius o Corolla pueden alcanzar un 40%, pero si se aplicara el estado *Charge-sustaining* se puede alcanzar mejoras en un 50% menos de consumo de combustible que un vehículo convencional, obteniendo un 100% más de millas recorridas por galón de combustible. (Markel, 2006).

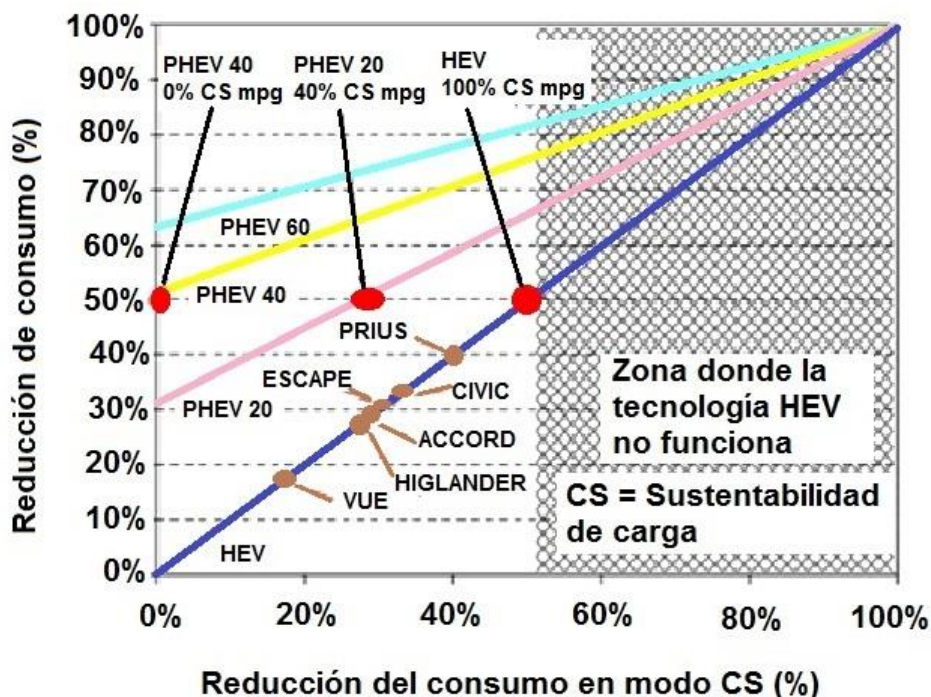


Fig. 28 HEV y PHEV beneficios del consumo de combustible según el modo de operación en HEV y PHEV. Fuente: Markel, 2006

2.4.1.2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (EV)

En los vehículos eléctricos con baterías (BEV), la propulsión o tracción se la realiza únicamente mediante un motor eléctrico, que es abastecido por baterías que pueden ser de plomo – ácido, níquel – hidruro metálico y de ion – litio. A través de un sistema de generación o almacenamiento de energía, las baterías pueden ser cargadas por una fuente estática de electricidad, como son, estaciones de servicio o al tomacorriente de las viviendas. El consumo de combustible se reduce al 100% considerando un análisis Tank to Wheel, es decir sin considerar el tipo de producción de energía eléctrica.

“Las baterías son un componente fundamental en los EV, ya que son las responsables de almacenar y suministrar la energía eléctrica que estos vehículos necesitan para su funcionamiento. Las características de autonomía, velocidad máxima, tiempo de recarga dependen de la tecnología aplicada en el diseño y fabricación del vehículo”. (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013)

“Las características que a considerar en las baterías son: La capacidad de la batería en Ah, la potencia específica en W/kg, la densidad de potencia en W/L, la energía específica en

Wh/kg, la densidad de energía en Wh/L, el estado de carga (SOC) en %, la resistencia interna (R_i) en Ω , el comienzo de vida (BOL), fin de vida (EOL) y el estado de salud (SOH), parámetros que permiten monitorear el funcionamiento de la batería y el estado". (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013)

En la tabla 4 se muestra los tipos de baterías y los parámetros de las mismas.

Tabla 4 Prestaciones de baterías para EV.

Fuente: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013.

	Tipo de batería		
Parámetros	Pb-ácido	Ni-MH	Li - ion
Voltaje [V]	2,0	1,2	3,0 – 4,5
Energía específica [Wh/kg]	10 – 40	60 – 80	80 - 170
Densidad de energía [Wh/L]	50 – 100	250	170 - 450
Número de ciclos (80%)	400 – 800	300 - 600	500 – 3.000
Impacto medio ambiental	Alto	Bajo	Moderado – Bajo

Existen normas para los EV y entre ellas para los procesos de recarga y tipos de conectores como pueden ser la norma SAE J1772, J2931, IEC 61851, IEC 62196, entre otras. Los modelos de recarga, definidos por la *International Electrotechnical Commission* (IEC 61851) se clasifican en cuatro niveles de carga.

Los tipos de recargas que se pueden dar a los EV, se indican en la tabla 5:

Tabla 5 Tipos de carga que pueden dar a los EV.

Fuente: Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012.

Modo de carga	Tipo de Corriente	Tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia (kW)	Tiempo De Carga*	Capacidad (kWh)
1	Alterna monofásica	230	16	3,7	5 – 8 h al 100%	24
2	Alterna trifásica	230	16 - 32	3,7- 7,4	4 – 8 h al 100%	24
3	Alterna trifásica	400	32 - 64	12,8 – 25,6	2 – 4 h al 100%	24
4	Continua	400	400	160	15 – 30 min al 80%	24

*Para el tiempo de carga hay que tomar en cuenta dos factores, las pérdidas sufridas en la carga en forma de calor del 15% y el estado de carga de la batería, lo mejor es que no estén descargadas del todo.

Se encuentra también el vehículo eléctrico de rango extendido (EREV), el vehículo eléctrico con carga de electricidad sin cables (Plugless), y se pueden encontrar otras opciones para poder cargar las baterías de un vehículo eléctrico (BEV) como lo está haciendo Chevrolet

con el modelo Volt, mediante el uso de nuevas tecnologías de transferencia de energía por inducción, en la cual se utiliza un emisor ubicado en el suelo y un receptor ubicado en el automóvil, entre ellos existirá una carga inductiva. Puede generar máximo 3.3 kW de potencia de salida con una capacidad de 30 Amperios y 240 voltios, el emisor deberá estar conectado a una fuente de 208 – 240 voltios de corriente alterna (AC), la temperatura de operación está entre -18° a 50°C . Este sistema se basa en los estándares NEC 625 (NFPA 70), SAE J1772, UL2594, UL2231, CSA170.1. (Evatran, 2014)

2.4.1.3 INDUCCIÓN DE CARGA INALÁMBRICA

En la actualidad la transmisión inalámbrica de energía se puede clasificar en tres principios de funcionamiento; por radiación electromagnética, por campo eléctrico y por campo magnético.

“El efecto de inducción de campo eléctrico, utiliza principios de polarización de cargas capacitivas para inducir una corriente en un material receptor, permitiendo obtener resultados de eficiencia energética próximos al 90% en un rango reducido a unos pocos centímetros, y el tercer método, efectos de inducción por campo magnético, permite realizar una transferencia a distancias intermedias (desde unos centímetros hasta un par de metros)”. (Laborde, 2015)

La figura 29 indica el aumento de la eficiencia energética según la distancia que existe entre el receptor y el emisor, donde: “Todas las dimensiones están referidas al diámetro de la bobina mayor D , ya sea esta la transmisora o la receptora. Los valores se muestran como una función de la distancia axial entre las bobinas (z/D). El parámetro es el diámetro de la bobina D_2 más pequeños”. (Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo, 2010)

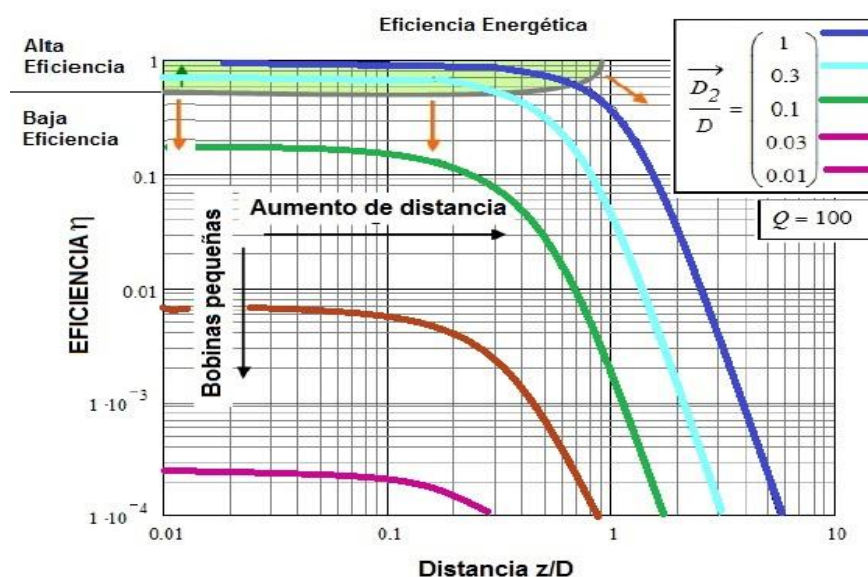


Fig. 29 Eficiencia del sistema en función de la dependencia entre la distancia entre bobinas (z) y su diámetro de circunferencia (D). Fuente: (Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo, 2010)

“La eficiencia disminuye con una mayor separación de las bobinas ($z/D > 1$) o con una mayor diferencia de diámetro entre bobinas ($D_2/D < 0.3$). La mayor eficiencia ($>90\%$) se consigue cuando las bobinas están más cerca ($z/D < 0.1$) y cuando sus anillos son de diámetros similares ($D_2/D = 0.5 - 1$)”. (Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo, 2010)

Utilizando la nueva tecnología de inducción que no utiliza cables de conexión. Se puede cargar las baterías de los vehículos mediante dispositivos instalados en el camino o en el asfalto de una ruta determinada, mediante conductores que serían unas barras instaladas en el carretero y otros dispositivos conductores también instalados en la parte baja del vehículo, donde se crea un campo magnético que mediante electricidad provocada se puede conducir a las baterías, que tiene el medio de transporte y así alimentar el motor eléctrico.

El Instituto Superior Coreano de Ciencia y Tecnología (KAIST) desarrolló la plataforma online de Vehículos Eléctricos (OLEV), que se utiliza en los tranvías del parque de atracciones Seúl Grand Park y en los autobuses del campus, también esta aplicado en la ruta de pasajeros entre la estación de tren y el distrito *Gumi En-dong* con dos unidades de inducción alimentado. En dichos autobuses la inducción se basa en platos de carga magnética debajo de las carreteras y una contraparte dentro del autobús. Cuando un autobús de inducción pasa sobre esa placa de carga, los dos imanes se convierten y fluye la corriente para cargar la batería a bordo.

La empresa Dongwon OLEV Co, Ltd y KAIST que son los propietarios del sistema *shaped field magnetic in resonance* (SMFIR), explica que las líneas energéticas (*dynamic Wireless charging station*) se encuentran en el piso cada cierto espacio y reciben corriente eléctrica y cuando se encuentran con un módulo receptor llamado *Wireless pick-up* que se encuentra en el piso del autobús (distancia de 20cm entre el emisor y receptor) generan un campo de resonancia magnética transformándolo en electricidad sin cables. Con dicho sistema dinámico se carga la batería secundaria, luego pasa a la batería principal según la necesidad pudiendo recibir 20KHz y 100kW de electricidad alimentando al motor eléctrico para obtener el desplazamiento del autobús durante 58 Km hasta encontrarse con otra estación (*dynamic Wireless charging station*), evitando con esto que el autobús se detenga para realizar una carga de las baterías. En las figuras 30 y 31 se pueden observar unos esquemas del sistema mencionado.

OLEV: Carga Dinámica, Capacidad Extendida

Shaped Magnetic Field in Resonance (SMFIR)

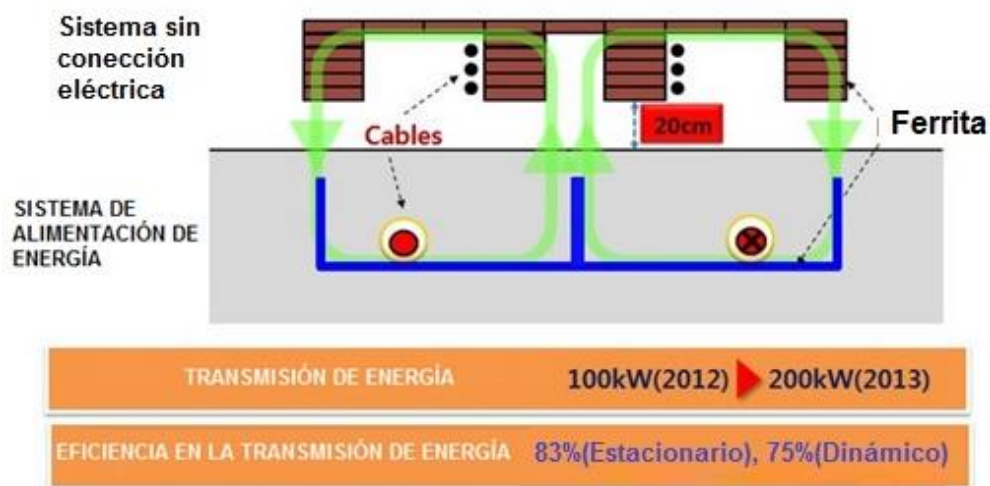


Fig. 30 Sistema OLEV.

Fuente: Korea gallops ahead in a race for dynamic on-the-go wireless charging EV system, 2013

Como se puede apreciar en la figura 30 se indica el carril del autobús y en el medio se encuentra la línea energética. Cuando el autobús coincide su segmento con la línea energética el sistema se enciende y la corriente eléctrica pasa por el regulador de corriente, que es capaz de cargar las baterías y alimentar el inversor para accionar el motor eléctrico del autobús y poder generar movimiento. Cabe anotar que el sistema funciona cuando el autobús se encuentra detenido, con una eficiencia en la transmisión de energía del 83% y cuando está en movimiento tiene una eficiencia del 75%.



Fig. 31 Principios del sistema OLEV.

Fuente: Korea gallops ahead in a race for dynamic on-the-go wireless charging EV system, 2013.

La tecnología inalámbrica para cargar las baterías de los vehículos eléctricos (EV), mientras circulan por el carril específico de carga, está basada en transmitir corriente eléctrica mediante inducción, con una bobina emisora ubicada en la carretera y otra receptora en el vehículo, permitiendo el paso de corriente eléctrica; a continuación se indican algunas noticias sobre el tema.

“En la Universidad de Stanford (EE.UU.) han desarrollado una tecnología con la que se podría recargar, sin necesidad de parar, los vehículos eléctricos que circulen por una autopista especial o por un carril. Estas carreteras estarían equipadas con mecanismos liberadores de energía que transferirían de forma inalámbrica a las bobinas receptoras de los vehículos que tienen el sistema eléctrico y que se cargarían a medida que los mismos pasen por encima de estos dispositivos” (Crean una tecnología inalámbrica para recargar coches eléctricos que circulan por la autopista, 2012)

En la figura 32 se aprecia un esquema de un sistema para proveer de energía eléctrica al vehículo mediante inducción, sin cables de conexión.

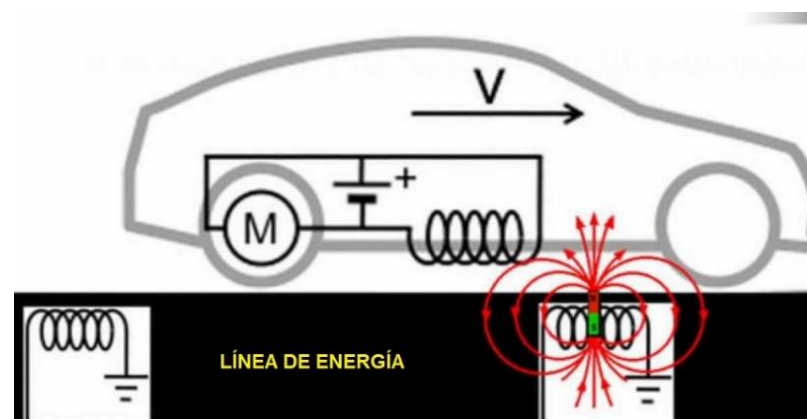


Fig. 32 Modelo de carga de la línea de energía.

Fuente: Crean una tecnología inalámbrica para recargar coches eléctricos que circulan por la autopista, 2012

“El Reino Unido ha empezado a realizar las primeras pruebas para recargar baterías de vehículos eléctricos mientras circulan por carreteras. El objetivo es crear una red de carga inalámbrica por debajo del asfalto. De esta forma, los conductores de los vehículos eléctricos no necesitarán realizar una parada para recargar sus baterías, sumado a una considerable reducción de las emisiones de gases que genera el parque automotor. La política del gobierno pretende establecer puntos de recarga en autopistas cada 32 kilómetros. No es la primera iniciativa que se lleva a cabo en el mundo, ya que Corea del Sur implementó esta modalidad para que el transporte público pueda cargar sus baterías de forma inalámbrica mientras circulan por una ruta de 12 kilómetros acondicionada con este sistema. El sistema de carga inalámbrica en movimiento está basado en un cableado especial ubicado debajo del asfalto, que emite un campo electromagnético que es recibido por un receptor ubicado en la parte inferior de los vehículos eléctricos” (Llegan los primeros

carriles de recarga inalámbrica para coches eléctricos, 2015). La figura 33 muestra una propuesta de como estaría delimitada la vía o el carril para uso de vehículos eléctricos que tienen la carga de la batería mediante inducción, sin cables.



Fig. 33 Autopista con el sistema de recarga sin cables Reino Unido.

Fuente: Llegan los primeros carriles de recarga inalámbrica para coches eléctricos, 2015.

2.4.1.4 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CON CELDAS O PILAS DE COMBUSTIBLE (FCEV)

Las pilas de combustible son unos dispositivos electroquímicos que transforman directamente la energía química de un combustible en electricidad. Dentro de la pila de combustible hay varias celdas electroquímicas en las que cada una consta de dos electrodos (en uno de ellos reacciona el hidrógeno y en el otro el oxígeno) separados por un electrolito (a través del cual circulan los iones que completan las dos semirreacciones de los dos electrodos) (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013). En la tabla 6 se pueden observar los diferentes tipos de celdas de combustible y sus aplicaciones más generales.

Tabla 6 Tipos de celdas de combustible.

Fuente: El Autor

Tipos de celdas de combustible.	temperaturas	Características	Aplicación
Membrana de intercambio protónico (PEMFC).	30 a 1000C	Mayor densidad de potencia y su vida útil es larga.	Vehículos ligeros

Membrana de óxido sólido (SOFC).	500 a 1000°C	La obtención de hidrógeno es a partir de hidrocarburos ligeros, genera vapor, dióxido de carbono y electricidad	Sistemas de alta potencia.
Celda Alcalina (AFC).	50 y 100°C	Necesita hidrógeno y oxígeno comprimido, su eficiencia es cercana al 70%,	Utilizada en programas espaciales
Celda Ácido Fosfórico (PAFC)	150 a 250°C	-	No se recomienda la aplicación en automóviles
Celda de Carbonatos Fundidos (MCFC).	Cercanas a los 650°C	Utilizan níquel como catalizador e hidrocarburos como combustible	-

La tecnología aplicada en la automoción principalmente está encaminada a eliminar la utilización de combustibles fósiles, debido a que el uso de estos y por la combustión se genera gases contaminantes que perjudican a la humanidad y dañan el medio ambiente. Como se ha analizado antes se introducen en los MCIA sensores y actuadores que ayudan a disminuir el consumo de gasolina o gasoil y los gases contaminantes, se introducen vehículos híbridos que ayudan a disminuir el consumo y contaminación, y una de las aplicaciones más importantes para la movilidad es la utilización de vehículos eléctricos que eliminan completamente el uso de combustible fósil para trasladarse de un lugar a otro, una de las aplicaciones tecnológicas más importantes es la alimentación de energía eléctrica a los autobuses en Korea, mediante este sistema se soluciona la autonomía de los vehículos eléctricos, ya que no es necesario detener el vehículo para cargar las baterías y por lo tanto se puede recorrer mayor cantidad de kilómetros. Pero es necesario tomar en cuenta que la energía eléctrica tiene varias formas de generación y la utilización en ciudades de vehículos que funcionen con motores eléctricos, independientemente de la aplicación.

2.5 EMISIONES PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES

Existen diferentes tipos de gases contaminantes y gases de efecto invernadero que son producidos por el transporte como son: El Dióxido de carbono (CO₂) en grandes cantidades es uno de los causantes del calentamiento global, también el Metano (CH₄), los Óxidos de Nitrógeno (NO_x), los Hidrofluorocarburos (HFC's) provenientes del sistema de aire acondicionado, el monóxido de carbono (CO) proveniente de la combustión, hidrocarburos no combustionados (HC), material particulado, entre otros.

Aproximadamente desde el año 2007 hasta el año 2020 se emitirán 4.1 billones de toneladas métricas de CO₂ a la atmósfera y desde el 2020 hasta el 2035 se emitirán 8.6

billones de toneladas métricas de CO₂; en el transporte de todos los gases emitidos el 95% es CO₂. (Atabani et al., 2011).

Por otro lado existen emisiones contaminantes que afectan a los componentes del motor por ejemplo el azufre que forma parte de las impurezas que contienen los combustibles fósiles, al momento que se oxida produce la formación y emisión de SO₂, interfiriendo directamente en la eficiencia de los catalizadores.(Arellano, 2013)

La figura 34 muestra la variación de las emisiones anuales de contaminantes atmosféricos originadas por fuentes móviles, desde el año 2003 hasta el año 2009 en el distrito metropolitano de Quito.(Arellano, 2013)

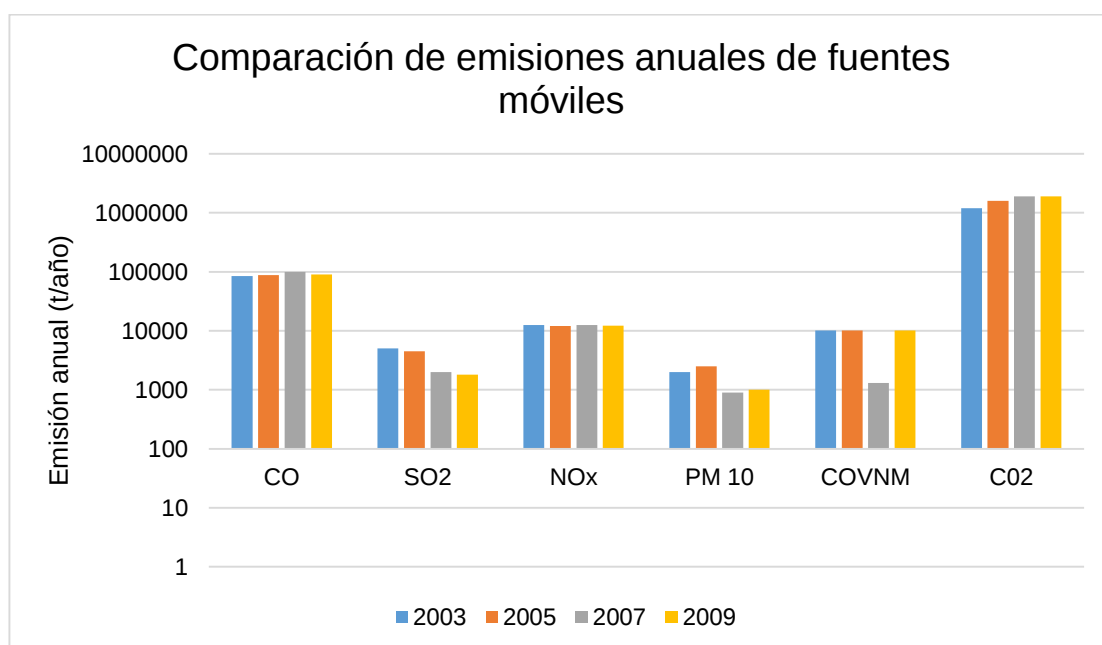


Fig. 34 Comparación de emisiones anuales de fuentes móviles.

Fuente: Arellano, 2013

El transporte, y de manera específica el tráfico vehicular, produce una de las mayores cargas contaminantes hacia la atmósfera. Sus emisiones tienen efecto directo en los problemas de contaminación del aire tanto a escala local, regional y global. Actualmente, la gran mayoría de vehículos motorizados utilizan combustibles fósiles (gasolina y Diésel, principalmente), cuyo uso produce la emisión en general de un mismo grupo de contaminantes, aunque en cantidades y proporciones diferentes según el combustible y las condiciones de combustión. (Ministerio del Ambiente, 2014)

2.5.1 CONTAMINACIÓN POR VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Aunque un vehículo eléctrico no produce emisiones contaminantes durante su funcionamiento, la generación de energía eléctrica necesaria para mover el vehículo eléctrico da lugar a emisiones contaminantes dependiendo de cómo se haya generado dicha energía. El caso ideal sería recargar los vehículos eléctricos a través de fuentes de energía renovables como la energía eólica, la energía hidráulica o la energía solar. Cabe destacar que los vehículos eléctricos, aparte de tener una elevada capacidad de reducir las emisiones de CO₂, también tienen un impacto positivo en la reducción de otros gases contaminantes, quizá menos conocidos, pero muy perjudiciales para la salud, como son las partículas en suspensión (PM) y los óxidos de nitrógeno (NOx). (Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012)

2.5.2 NORMATIVAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El establecimiento de normativas a nivel mundial para la fabricación, verificación, comercio y comunicación de cualquier tipo de producto indica que se deben cumplir ciertos requerimientos para poder generar un producto de calidad, que brinde confianza y seguridad a la persona que lo adquiera; por lo que, es necesario verificar las normas que rigen a los vehículos eléctricos o a las partes que lo componen.

Al verificar la Norma ISO/TC 22 que en la actualidad está en desarrollo, dicha Norma analiza la propulsión de vehículos con energía alternativa, como la propulsión eléctrica, o mediante combustibles gaseosos, determinando seguridad, rendimiento, métodos de ensayo y nuevas tecnologías aplicadas.

La Norma ISO 6469 se está adaptando a los nuevos retos de los vehículos eléctricos con batería (BEV) y vehículos eléctricos híbridos (HEV), cuya actualización y extensión de dicha norma es un proyecto importante para garantizar el manejo seguro de los vehículos eléctricos, abarca la seguridad de los riesgos eléctricos, los sistemas para almacenar energía recargable a bordo, la protección contra fallas, etc. También está en fase de desarrollo la norma ISO 12405, que establece las especificaciones de pruebas para sistemas de iones de litio de las baterías de tracción, y la norma ISO 15118 en la interfaz entre los vehículos eléctricos y la red, incluyendo los enlaces de comunicación y protocolos. (Tecnol & Medell, 2012)

La Norma SAE J1772 que determina las condiciones y características que deben tener los conectores de carga para los vehículos eléctricos. La norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 23274:2013 trata sobre vehículos automotores eléctricos – híbridos – mediciones de las emisiones de escape y consumo de combustible – vehículos no cargables externamente, basándose en la Norma ISO 23274, IDT. (Anon, 2013)

2.6 CONCLUSIONES

La energía primaria en el Ecuador proviene en un 90% del petróleo, y el transporte requiere el 49% de energía, siendo los combustibles más consumidos el diésel con un 43% y la gasolina en un 44%, según el tipo de transporte el consumo de energía para vehículos de carga liviana es del 41%, y para carga pesada incluyendo buses es del 39%. A nivel nacional existen 1'752.712 vehículos registrados en el año 2014, el 94,5% son automotores de uso particular, provocando un aumento anual de automotores del 2%, incrementando el consumo de combustible en un 5%, en la Provincia del Azuay se matricularon 105.178 vehículos con un aumento anual del 4,7% y el 83% de ellos son vehículos de carga liviana (automóviles, jeeps y camionetas), en la Ciudad de Cuenca existen 84.176 vehículos matriculados según la EMOV para el año 2014, produciendo un aumento del 5,5% anual.

En el Ecuador el consumo de gasolina en el año 2014 fue de 26,48 millones de barriles, en la Ciudad de Cuenca en el año 2014 con un incremento del 4,3% en el consumo anual con relación al 2013 se consumieron 53'621.209 galones, de dichos datos se produce un consumo de energía de 1.668,75GWh por año.

Para disminuir el consumo de combustibles y reducir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, en la actualidad se está introduciendo al mercado vehículos eléctricos (EV) e híbridos (HEV), que pueden energizar sus motores eléctricos mediante baterías que reciben la carga eléctrica, ya sea directamente de la fuente mediante enchufe a la red de la ciudad, como es el caso de vehículos enchufables, mediante el mismo MCIA que son los HEV o con el sistema sin cables por inducción (plugless), dicho sistema está en análisis, puesto que desde la carretera y el vehículo desplazándose puede recibir corriente eléctrica para cargar la batería obteniendo mayor autonomía.

Mediante los ciclos de conducción se determina la demanda de energía para que un vehículo se desplace, con lo que se puede determinar el consumo de combustible y las emisiones de gases de escape emitidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 23274:2013. (2013).
- EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS) 2016. Testing and Measuring Emissions. Recuperado de: <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm>. (2015, marzo 03)
- EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS) 2016. Dynamometer Drive Schedules - files contain tab delimited ASCII columns Recuperado de: <http://www3.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm> (2015, marzo 02)
- Sears & Zemansky, 2009. Física universitaria, 1.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013. Balance Energético Nacional 2013.
- INEC, 2014. Anuario de Estadísticas de Transportes INEC 2014, p.198.
- Cevallos, J., 2015. Estimación del consumo de combustibles en el transporte terrestre en Ecuador, pp.1–17.

- Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2015. El Petróleo en Cifras 2014.
- EMOV, 2014. Rendición de Cuentas 2014.
- Emov Ep, R.D.M.D.L.C.D.A.D.C., 2014. Resumen del inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año 2011. Cuenca-Ecuador, (Diciembre, 2014).
- C. V. Arellano, "Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y Diésel," p. 185, 2013.
- Faria, R. et al., 2012. A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system, 61, pp.19–30.
- Castillo Mondragón, F. X., & Torres Brito, A. A. (2011). Análisis De Rendimiento, Consumo Y Emisiones Generadas Por Los Vehículos Híbridos.
- Marín, P., 2013. Aplicación software para la simulación del funcionamiento energético de vehículos eléctricos.
- Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012. Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica, pp.20–20.
- Payri, F, Desantes. J.M., 2011. Motores de combustión interna alternativos. Editorial Revert SA. Universitat Politècnica de Valencia. España.
- T. Markel and a Simpson, "Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design Preprint," *Renew. Energy*, no. May, 2006.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013. Guía del Vehículo Eléctrico. *Energy Management Agency*.
- Evatran, 2014. The smarter way to charge your ev.
- Ministerio del Ambiente, 2014. Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato , Riobamba , Santo Domingo de los Colorados , Latacunga , Ibarra , Manta , Portoviejo , Esmeraldas y Milagro.
- Tecnol, A. & Medell, G., 2012. Normatividad sobre Vehículos Eléctricos.
- Anon, 2013. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 23274:2013.
- Laborde, E.S., 2015. Transferencia Inalámbrica de Energía para Sistemas de Bajo Consumo Utilizando Resonancia Magnética Fuertemente Acoplada.
- Principios basicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo. (2016 marzo 17). Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13587/PFG%20ANEXO%20DOC%20TECNICA.pdf?sequence=3>
- Crean una tecnología inalámbrica para recargar coches eléctricos que circulan por la autopista, 2012
- Atabani, a. E. et al., 2011. A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), pp.4586–4610.
- Arellano, C.V., 2013. Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y diesel, p.185.
- Llegan los primeros carriles de recarga inalámbrica para coches eléctricos. Recuperado de <http://www.abc.es/tecnologia/noticias/20150819/abci-carril-recarga-inalambrica-coches-201508191846.html> (2015, agosto 19).

Capítulo III

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Para obtener parámetros de consumo de combustible y de emisiones generadas por los motores de combustión interna (MCIA) usados en vehículos de transporte terrestre, que circulan en vías urbanas o interurbanas es necesario determinar un ciclo de conducción, el mismo consiste en analizar la velocidad en un determinado recorrido por cierto tiempo, considerando las características de la ruta; como puede ser la velocidad máxima permitida, tiempos de detención y la pendiente, representando los patrones de movilidad característicos de la ciudad.

Mediante un ciclo de conducción determinado para cada ciudad en la que se transite, se puede obtener la eficiencia del vehículo y la energía necesaria para su desplazamiento, con esto se obtienen valores que permitan determinar los beneficios o inconvenientes al utilizar medios de transporte motorizados.

3.1 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA RUTA

La ruta será determinada en la ciudad de: Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca, ubicada a 2.500msnm, con sus contrastes de modernidad y patrimonio, tiene una alta actividad económica, demandando de las parroquias rurales y urbano parroquiales un fácil acceso a la ciudad. (GAD Municipal, 2014).

En esta ciudad se ha realizado un estudio de la movilidad para tratar de establecer las mejores estrategias para mejorar la misma. “El conocimiento de los lugares donde se generan los viajes y sus destinos, facilita la comprensión de la ciudad y por tanto la identificación de las mejores estrategias para fortalecer las dinámicas de movilidad deseables que puedan garantizar el desarrollo de la ciudad” (GAD Municipal, 2014).

Para determinar las características de una ruta alternativa es necesario conocer las particularidades de la movilidad en la ciudad, como los modos de viaje, motorización, tipos de viaje, etc.

Los modos de viaje más utilizados en la ciudad de Cuenca se indican en la figura 35.

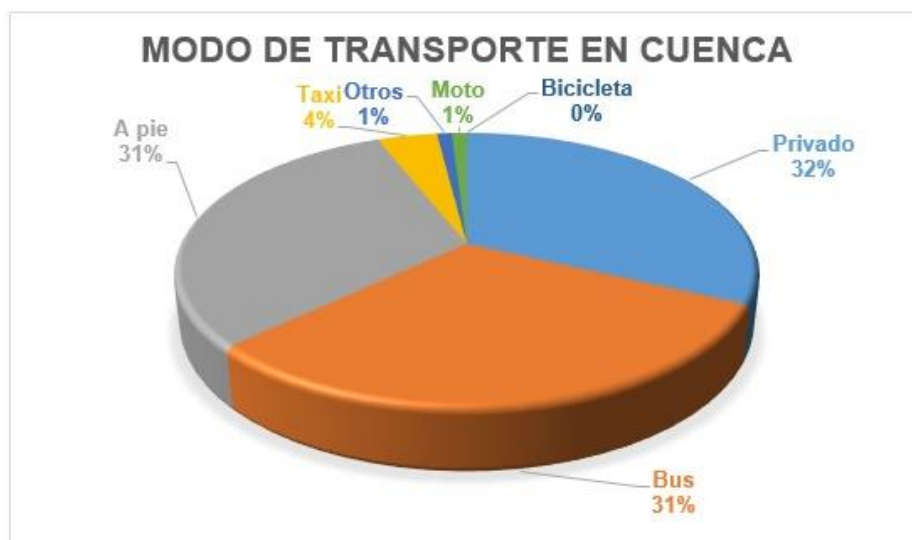


Fig. 35 Porcentaje de modos de transporte en Cuenca

Fuente: GAD Municipal, 2014

El índice de motorización que determina la cantidad de vehículos privados por cada mil habitantes, indica que las zonas de la ciudad con más tenencia de vehículos privados y las que generan la mayor cantidad de viajes privados son: El Ejido, cercano a un 20% de motorización, el Centro Histórico, cercano al 9%, Cañaribamba cercano a un 7%, la Feria Libre cercano a un 6%, entre otras zonas. En la figura 36 y 37 se pueden apreciar las zonas de importancia y los porcentajes de motorización.

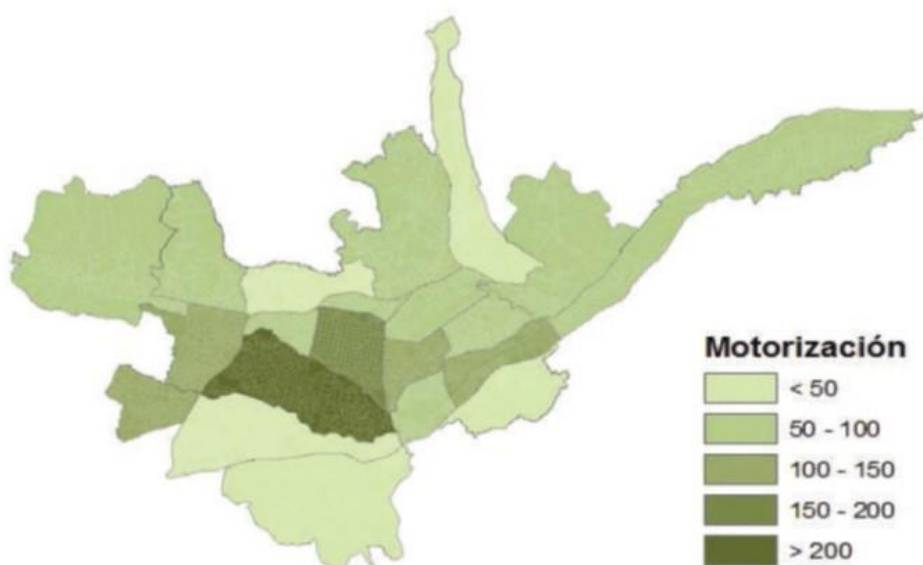


Fig. 36 Motorización

Fuente: GAD Municipal, 2014

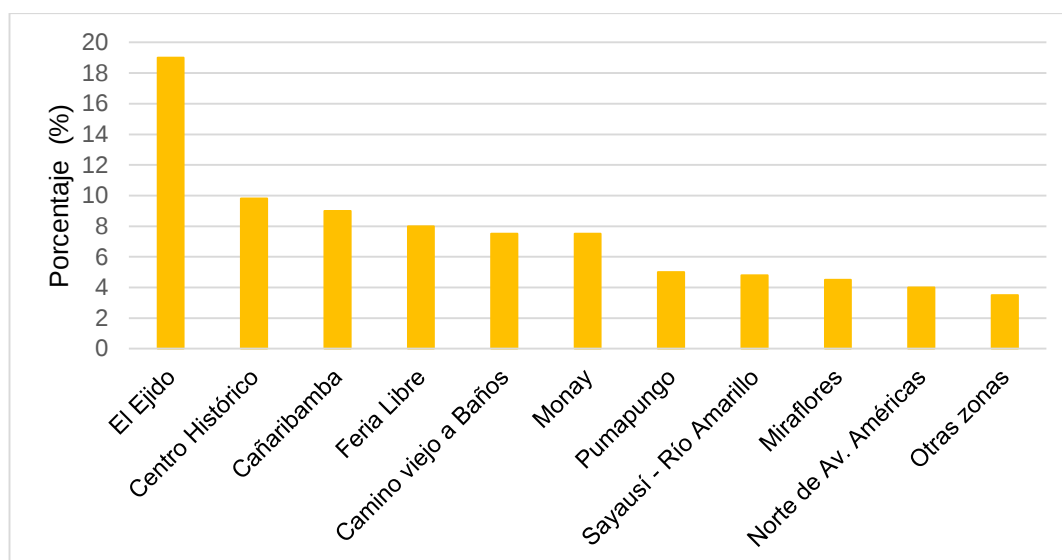


Fig. 37 Motorización

Fuente: (GAD Municipal, 2014)

Los viajes realizados en vehículo privado desde la periferia urbana se han contabilizado en un promedio de 80.000; que circulan por las principales vías externas como son: la vía rápida Cuenca- Azogues, Panamericana Norte y Sur, Ordoñez Lasso, Vía a El Valle y Vía a Patamarca.

Estos viajes de ingreso al área urbana se vinculan mayoritariamente a las actividades laborales como se indica en la figura 38. (GAD Municipal, 2014).

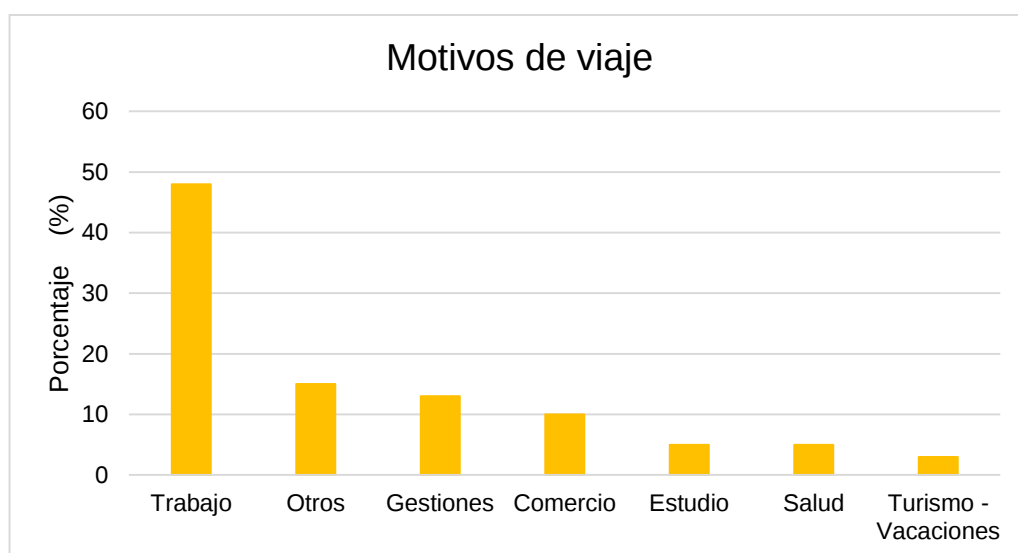


Fig. 38 Motivos de viaje al área urbana de Cuenca por vehículos privados.

Fuente: GAD Municipal, 2014

El motivo principal para transportarse en la ciudad es el trabajo con un 33%, seguido por el estudio que alcanza un 18%, en la gráfica 39 se indican los motivos de transporte.

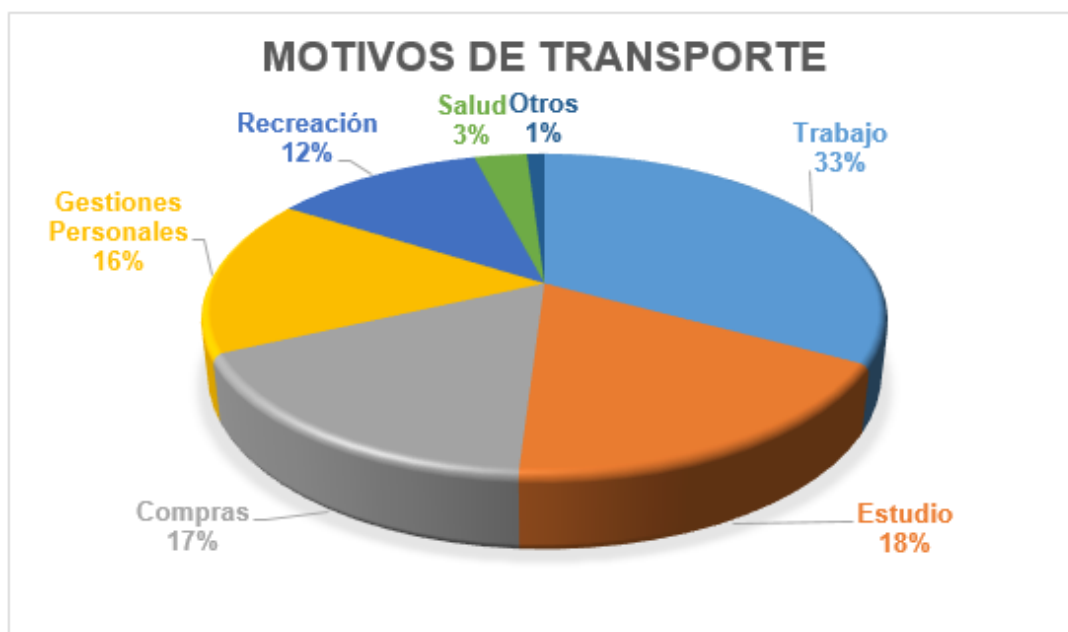


Fig. 39 Motivos de transporte en la ciudad de Cuenca.

Fuente: GAD Municipal, 2014

La utilización del vehículo privado para el transporte en la ciudad es una de las más importantes; las zonas con mayor afluencia o el destino final de sus ocupantes son: el Centro Histórico, El Ejido, Yanuncay, entre otros. La figura 40 indica el porcentaje de viajes en vehículo privado.

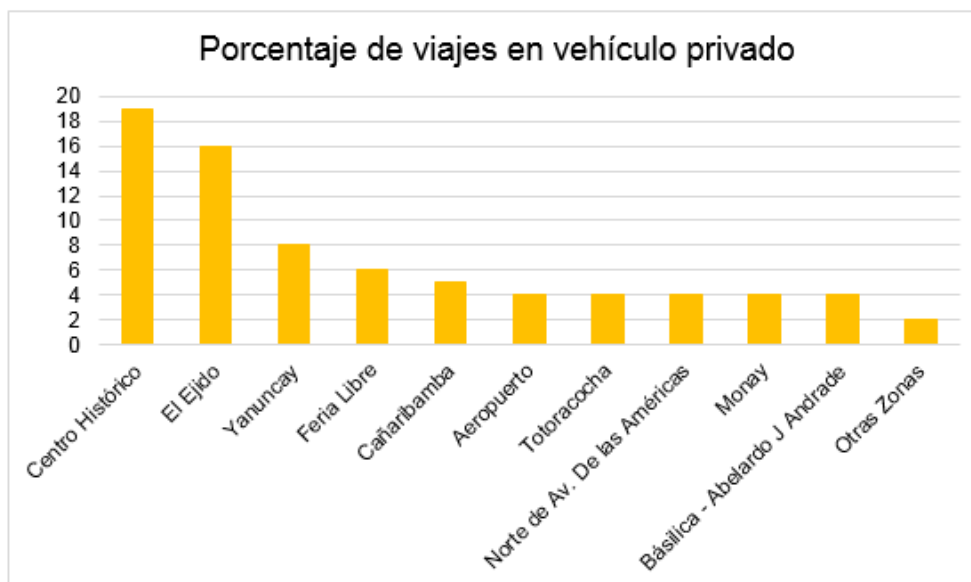


Fig. 40 Porcentaje de viajes en vehículo privado.

Fuente: GAD Municipal, 2014

“El Centro Histórico recepta 42.768 viajes diarios, El Ejido 36.384, siendo las dos zonas con mayor afluencia de vehículos privados, debido a que son centros de comercio” (GAD Municipal, 2014).

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE MOVILIZACIÓN EN LA CIUDAD DE CUENCA

“El Centro Histórico y El Ejido son las zonas con mayor confluencia de destinos de viaje, como puede observarse a través de la figura 41 y tabla 7 “líneas de deseo de viajes”, en los modos motorizados de vehículo privado” (GAD Municipal, 2014).

Los viajes con destino al Centro Histórico tienen un total del 24%, con una cantidad de 33.274 viajes por día en modo de transporte privado, los viajes hacia El Ejido equivalen a un 14%, con una cantidad de 45.030 viajes por día en modo privado; dichos valores ratifican que las zonas con mayor afluencia son El Centro Histórico y El Ejido. También se analiza la cantidad de viajes que se realizan desde el Centro Histórico hacia la periferia de la ciudad, en donde, el modo de transporte privado genera 48.797 viajes por día; considerando la zona de El Ejido como origen se generan 60.809 viajes por día.

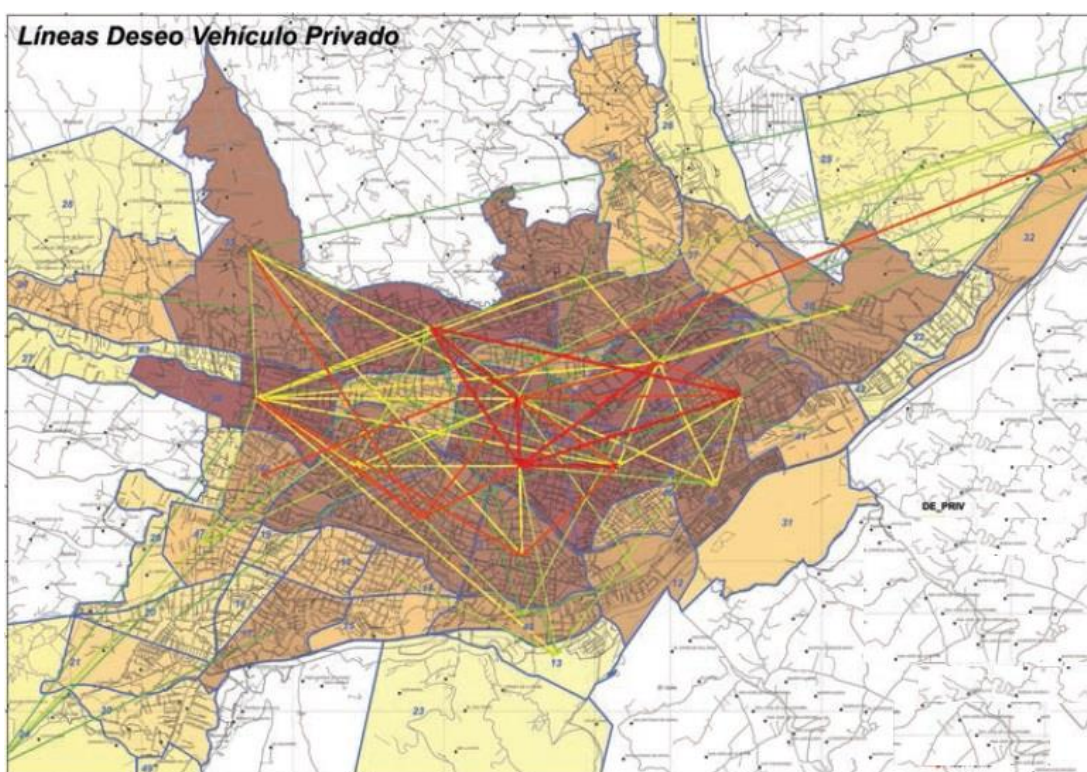


Fig. 41 Líneas deseo de viajes vehículo privado.

Fuente: GAD Municipal, 2014

Tabla 7 Simbología Líneas de Deseo Vehículo Privado.

Fuente: GAD Municipal 2014

Simbología			
Zonas	Cantidad	Líneas Deseo Particulares En Vehículos	Cantidad
	0 – 373		305 – 402
	374 – 974		403 – 543
	975 – 1814		544 – 786
	1815 - 2345		787 – 1090

	2346 - 3070		1091 - 2772
	3071 - 3694		
	3695 - 4676		
	4677 - 5397		
	5398 - 10381		
	10382 - 16840		

3.1.2 JERARQUIZACIÓN ACTUAL DE LAS VÍAS EN LA CIUDAD DE CUENCA

“VIAS EXPRESAS: Establecen la relación entre el sistema interurbano y el sistema vial urbano, principalmente sirven para el tráfico de paso, origen y destino distantes entre sí, la circulación se da a altas velocidades y bajas condiciones de accesibilidad, en su recorrido no se permite el estacionamiento, la carga y descarga de mercancías. Este grupo está constituido por la vía rápida Cuenca-Azogues en la que la velocidad de circulación se encuentra limitada a 90 km/h.

VIAS ARTERIALES: Forman la red principal estructurante del sistema viario urbano, especializado en viajes a escala de ciudad ya que conectan los accesos exteriores con las distintas partes de la ciudad. Es un viario urbano cuya principal función es canalizar tráfico motorizados, por lo que suele contar con 2 o más carriles en cada sentido de circulación y velocidades de circulación se encuentra limitada en 50 km/h.

En este grupo se encuentra vías como Av. De las Américas, Doce de Abril, Paseo de los Cañaris, Diez de Agosto, España, Gonzáles Suarez, Héroes de Verdeloma, Huayna Cápac, Larga, Ordóñez Lasso, Primero de Mayo, Solano, Unidad Nacional, 24 de Mayo, entre otras.

VÍAS COLECTORAS: Son las encargadas de garantizar el acceso a los barrios, distribuyendo los tráfico desde el viario arterial hacia la red local, o bien sirviendo al contrario de salida de los barrios con destino al viario principal. Se trata pues de un viario intermedio en el que predominan los movimientos urbanos. Suelen poseer 2-1 carriles en cada sentido, la velocidad de circulación permitida es 50 km/h.

Entre las vías colectoras podemos encontrar las conexiones a las parroquias como son el camino a Baños, Llaçao, Mayancela, Ochoa León, Patamarca, Ricaurte, San Joaquín, Turi, calles como la Abelardo J. Andrade, Don Bosco, Pío Bravo, Remigio Crespo, Mariano Cueva, Del Estadio, Tejar, Escandón, Lamar, Gran Colombia, Loja, Andes, México, Paucarbamba, Gil Ramírez Dávalos, Turuhuayco, Viracochabamba, Yanahurco.

La planificación de transporte público en la ciudad considera estas vías para el paso de las diferentes rutas urbanas.

VÍAS LOCALES: Están constituidas principalmente por aquellas vías donde los movimientos predominantes son o deben ser, los de acceso a los destinos finales, fundamentalmente residencia. Los tráfico de paso o en tránsito deberían ser minoritarios y

prevalecen los tráficos peatonales. Suelen poseer 1-2 carriles con sentido de circulación dependiente del funcionamiento de un subsistema de carácter local, con uso en laterales para estacionamiento, no siempre regulado” (GAD Municipal, 2014).

En la figura 42 se indica el plano de la jerarquía del viario en la ciudad de Cuenca, donde se puede observar en color verde las vías arteriales que representan un 6% y conducen principalmente hacia la zona del Centro Histórico y El Ejido, siendo estas las zonas que más afluencia de vehículos privados tiene y en color café las colectoras que representan un 18% y facilitan el flujo vehicular privado por los barrios.

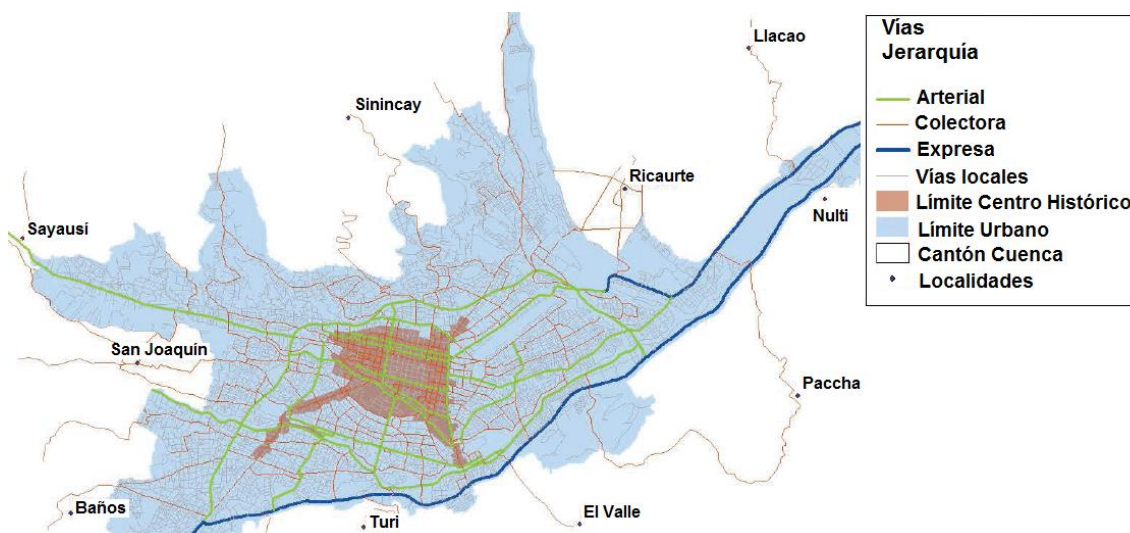


Fig. 42 Jerarquía actual del viario en Cuenca.

Fuente: GAD Municipal, 2014

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL CARRIL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Existen varios tipos de movilidad terrestre dentro de las ciudades, como son: transporte público, vehículo privado, bicicleta y a pie; por lo que, es necesario tener vías de acceso o salida de la ciudad, dichas vías tienen diferentes características que satisfacen los tipos de movilidad, dependiendo si son cantonales o urbanas.

“La red viaria urbana tiene que facilitar el acceso o la salida a la ciudad, distribuir el tráfico dentro de la ciudad y hacia los cantones; por lo que, se realiza una jerarquización del viario, donde se toman en cuenta características como, el flujo que transita, intensidades soportadas, compatibilidad con el transporte público, estacionamiento, entre otras” (GAD Municipal, 2014).

El carril para el funcionamiento del sistema debe tener alimentación de energía eléctrica, para que, cuando un vehículo ingresa a dicho carril, el motor eléctrico empiece a funcionar y se apague el motor de combustión interna, las características para proveer de energía desde el pavimento al vehículo se consideraron en el Capítulo uno, numeral 1.5.1.3, donde

mediante la inducción de carga inalámbrica se cargan las baterías del vehículo, pudiendo funcionar como EV por el carril específico.

3.1.4 CARRIL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Considerando que el patrón de movimiento vehicular y que la mayor cantidad de vehículos privados se dirigen o están en el Centro Histórico y en El Ejido por diferentes motivos; el carril para que vehículos eléctricos funcionen dentro de la ciudad y presten todas las facilidades de movilización que requiere el usuario; necesita que las condiciones de vía brinden un nivel de servicio alto, donde las características geométricas sean las adecuadas, su direccionalidad permita la circulación en dos sentidos, el estado de la vía, capa de rodadura sea favorable (asfalto, hormigón, adoquín), el número de carriles permita una circulación ágil y segura. Para esto, las vías colectoras y arteriales tienen la capacidad y condiciones de satisfacer dichos requerimientos, también es importante considerar, que a dichas vías se puede acceder fácilmente desde las carreteras expresas que rodean la ciudad y desde las vías locales, logrando con esto una conexión vial que facilita la distribución del tráfico y permite el acceso a puntos importantes de trabajo y comercio en la ciudad.

Como se mencionó en el numeral 3.1.3, el carril deberá permitir que los vehículos que disponen del sistema eléctrico para moverse, tengan energía eléctrica para cargar las baterías y poder circular, el detalle del funcionamiento del sistema de carga inalámbrica por inducción no es el motivo de este trabajo, sin embargo, se presenta información referente a este tema para la determinación de la viabilidad del proyecto.

3.2 RUTA DEL CARRIL PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El destino de la ciudadanía cuencana es el Centro Histórico y El Ejido en mayor porcentaje por motivos laborales como se analizó anteriormente; por lo que, se realiza la propuesta de rutas que satisfagan ésta necesidad. Empezando por una ruta de acceso a la ciudad que es una vía arterial, pasando por ejes que se alimentan de las vías locales, utilizando en la mayoría del recorrido vías colectoras. Esta ruta trata de llegar a los puntos donde existe mayor flujo de vehículos privados y en consecuencia mayor concentración de sitios comerciales. Bajo estos criterios, se han propuesto siete rutas, de cada una de ellas se obtienen mediante un GPS diferentes datos como: velocidad, altura y tiempo, también se calcula la distancia, estos datos con una frecuencia de 1Hz.

3.2.1 INSTRUMENTACIÓN MEDIANTE SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

El instrumento utilizado para determinar la ubicación, la distancia recorrida, la velocidad y la altura sobre el nivel del mar es un GPS de marca Garmin® modelo 60CSx, tiene las siguientes características como se indica en la tabla 8:

Tabla 8 Datos de GPSmap® 60CSx.

Fuente: Garmin®

Características principales GPS Garmin® 60CSx
- El receptor GPS de alta sensibilidad ofrece una excelente recepción de los satélites incluso en bosques espesos o barrancos.
- El altímetro barométrico proporciona datos sobre la pendiente con una precisión extrema.
- La brújula electrónica puede determinar el rumbo y dirección incluso si está parado.
- Incluye un mapa base atlántico ampliable” (GPSmap® 60CSx, 2015).

3.2.2 RUTAS PROPUESTAS Y DATOS OBTENIDOS

Las siguientes figuras: 43 y 44, muestran dos de las rutas propuestas para la aplicación del sistema, las flechas indican el sentido de movimiento. En el anexo 2, se pueden observar a detalle las siete rutas propuestas. En el anexo 3, se presenta una tabla con los datos obtenidos de tiempo, fecha, latitud, longitud, velocidad y distancia de cada uno de los recorridos.



Fig. 43 Ruta 1 de vehículo eléctrico.

Fuente: El Autor



Fig. 44 Ruta 7 de vehículo eléctrico.
Fuente: El Autor

3.2.2.1 ESTUDIO DE LA CONDUCCIÓN EN LA RUTA DEL SISTEMA

En los análisis energéticos de vehículos se deben considerar ciclos de conducción para poder homologar o estandarizar este funcionamiento. Sin embargo, al no existir en el medio un ciclo de conducción de referencia se plantea hacer el análisis según las rutas propuestas y con el levantamiento de información del GPS, según se indicó en los apartados anteriores.

De esta manera se analiza la conducción en estas rutas desde un punto de vista energético y no para tratar de determinar en sí mismo un ciclo de conducción típico. Sin embargo, para contextualizar se hace una mención de los ciclos de conducción.

Los ciclos de conducción son modelos en los cuales se utiliza la velocidad aplicada en distancias determinadas dentro de cierto tiempo, para determinar la eficiencia y consumo energético de un vehículo, se lo puede simular en un banco dinamométrico de chasis, siguiendo un patrón de conducción, que depende de la ciudad en la que se realiza el análisis, donde se considera principalmente las variables dinámicas, aceleración, paradas, frenadas, se considera también las características del vehículo, el tipo de vía y el horario en que se realiza la prueba. (Dynamometer Drive Schedules, 2015)

3.2.2.2 ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN PARA EL SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO ALTERNATIVO

El sistema de propulsión eléctrico alternativo funcionará en un carril determinado, que permita a los usuarios acceder a puntos importantes o a conexiones que faciliten el acceso a las zonas más concurridas por motivos laborales y en modo de transporte privado liviano, como son: el Centro Histórico, El Ejido, Feria Libre, Totoracocha y Miraflores. Las vías a utilizar son arteriales y colectoras, considerando la pendiente que estas posean y las horas de mayor densidad de tráfico, se puede analizar la conducción en una ruta específica.

Los factores para realizar el análisis de la conducción, considerando las exigencias de la ruta son:

- Modo de conducción normal, respetando las señales de tránsito y principalmente los límites de velocidad.
- El vehículo tiene que ser liviano.
- La dinámica longitudinal del vehículo.
- Considerar las horas pico de tránsito en la ciudad, como son desde las 07h00 hasta las 08h00, al medio día desde las 12h00 hasta las 13h30 y en la tarde – noche desde las 18h00 hasta las 19h00.
- Analizar las características de la ruta, como la pendiente, longitud y tiempo en completarla.

- El tiempo que el vehículo se detiene, no se considera como consumo de energía, puesto que el motor eléctrico y la batería no funcionan.
- La velocidad máxima a alcanzar será la velocidad límite de cada tramo de la ruta.

3.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO LIVIANO QUE CIRCULA POR LA RUTA DEL SISTEMA

El sistema está considerado para que funcione en el casco urbano del cantón Cuenca y tomando en cuenta que en el año 2014 se matricularon en total 84.176 vehículos y que el 90% son vehículos livianos que tienen MCIA, que utilizan gasolina para su funcionamiento, como se explicó en el Capítulo II. (EMOV, 2014).

3.2.3.1 CONSIDERACIONES DE LA MASA EN VEHÍCULOS LIVIANOS

“La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656:2012 de Clasificación Vehicular, tiene por objeto establecer la clasificación de los vehículos automotores identificados mediante características generales de diseño y uso, considerando el Peso Bruto Vehicular (PBV), el Peso en vacío (Tara); la norma los clasifica en categorías L para vehículos automotores de menos de 4 ruedas, M para vehículos automotores de 4 ruedas o más y N para vehículos automotores de 4 ruedas o más para transporte de mercancías, O para remolques” (NTE INEN 2656, 2012)

La propuesta del vehículo, para que funcione en el sistema es: de clase M y subclase M1.

3.2.3.2 CONSIDERACIONES DE LOS COEFICIENTES DE RESISTENCIA AL AIRE (C_d) PARA VEHÍCULOS LIVIANOS

Los coeficientes de la resistencia al arrastre (C_d) que tienen algunos modelos de vehículos dependen especialmente de la forma de la carrocería, según valores de C_d que se indican en el Manual de la técnica del automóvil Bosch, 1999; y para el vehículo liviano de clase M que se propone en el sistema se aplicará un coeficiente es de 0,3.

3.2.3.3 CONSIDERACIONES DEL ÁREA FRONTAL EN VEHÍCULOS LIVIANOS

“Para el área frontal se adopta la mayor sección transversal que tenga el vehículo” (Aparicio Izquierdo, 1995). Para el vehículo que se propone en el sistema se considera un valor de $1,8\text{m}^2$.

3.2.3.4 CONSIDERACIONES DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA A LA RODADURA (f_r) EN VEHÍCULOS LIVIANOS

La fórmula 1 se puede utilizar para determinar el coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r) para velocidades superiores a 128 km/h; el gran número de factores que pueden considerarse hacen difícil la aplicación de expresiones matemáticas, por lo que considerando un intervalo pequeño en la variación de la presión, puede expresarse el coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r) como una función lineal de la velocidad, aplicada en neumáticos de turismo con una presión de inflado de 179kPa, rodando sobre hormigón. (Aparicio Izquierdo, 1995)

$$f_r = 0,01 \left(1 + \frac{V}{160} \right)$$

Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Fuente: (Aparicio Izquierdo, 1995)

En la tabla 9 se indican los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r) de los neumáticos para diferentes tipos de vehículos.

Tabla 9 Coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r).

Fuente: Aparicio Izquierdo, 1995

Tipo de vehículo	Superficie		
	Hormigón o asfalto	Dureza media	Arena
Turismos	0,015	0,08	0,30
Camiones	0,012	0,06	0,25
Tractores	0,02	0,04	0,20

Para que el vehículo a utilizar en el sistema, como es de clase M y el tipo de vías que existen en la ciudad de Cuenca, son de hormigón o asfalto se utiliza un valor del f_r de 0,015.

3.2.3.5 CONSIDERACIONES DEL RADIO DINÁMICO DE LA RUEDA (r_d) DE VEHÍCULOS LIVIANOS

Considerando las características en dimensiones y especificaciones de los neumáticos utilizados en vehículos livianos, el radio dinámico de la rueda (r_d) tiene valores desde el 97 al 98% del valor del radio nominal (r_n), con una velocidad máxima de 100km/h. En la tabla 10 se indican las medidas de dos tipos de neumáticos utilizados en vehículos livianos según el peso. El valor de r_d que se utiliza para el vehículo del sistema es de 283 mm, considerando un neumático de 185/60R14, que se utiliza en vehículos livianos de clasificación M.

Tabla 10 Radio nominal (r_n) y dinámico (r_d) de la rueda.
Fuente: El Autor

Tipo de Neumático	Peso - Masa	Radio nominal de la rueda(r_n) mm	Radio dinámico de la rueda(r_d) mm
165/70R12	< 1 Ton – 1.000kg	267,9	262,54
245/75R16	< 3,5 Ton – 3.500kg	386,95	379,21

3.2.3.6 RESUMEN DE LOS VALORES CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE UN VEHÍCULO LIVIANO

Para determinar la energía necesaria para la movilidad de un vehículo liviano en el cantón Cuenca, según el análisis de la conducción, es necesario considerar que las características del vehículo pueden variar dependiendo de la marca y del modelo; por lo que, los cálculos de energía se basan en los parámetros dinámicos de un vehículo liviano. Para ello, en los puntos anteriores se analizó el valor común del peso, el coeficiente de la resistencia al aire (C_d), el área frontal aproximada y el valor máximo del coeficiente de resistencia a la rodadura en hormigón o asfalto (f_r); dichos valores son característicos y por normativa de un vehículo liviano. Se utilizan valores para que sea un caso de estudio puntual, sin embargo, el estudio puede ser reproducido con otros valores según el tipo de vehículo que más se justifique dependiendo de la ciudad en análisis.

En la tabla 11 se indica los valores utilizados para el cálculo de energía.

Tabla 11 Valores para cálculo de energía necesaria.

Fuente: El Autor

Parámetro máximo de un vehículo liviano	Valor o medida
Peso – masa	1.2 Ton – 1.200 kg
Coeficiente de la resistencia al aire (C_d)	0,3
Área frontal	1.8 m ²
Coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r)	0,015
Radio dinámico de la rueda (r_d)	283 mm
Densidad del aire (2.500 msnm)	0,957 kg/m ³
Gravedad (2.500 msnm)	9,72m/s ²

3.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN LAS RUTAS

Para determinar la demanda energética que tiene el vehículo en las rutas propuestas, es necesario realizar un análisis de la dinámica longitudinal (no se analiza el movimiento lateral del vehículo al considerarse velocidades moderadas según el límite permitido en la ciudad) del

vehículo, utilizando los datos antes indicados referentes a las características del vehículo liviano que circula por la ruta del sistema, tabla 10.

Como la energía necesaria para el funcionamiento del motor eléctrico del vehículo es la energía positiva; ya que la alimentación proviene de la red eléctrica de la ciudad, no es necesario realizar el análisis de la energía consumida durante detenciones, y energías negativas que pueden aprovecharse para cargar las baterías de un vehículo híbrido o un eléctrico que tenga el sistema de recarga. Es necesario acotar que el funcionamiento eléctrico del vehículo es exclusivamente dentro de la ruta, en el momento que dicho vehículo no circule por la ruta específica, funcionará el motor de combustión interna.

Los parámetros que intervienen en el análisis de la demanda energética son (Aparicio Izquierdo, 1995):

- Aceleración:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Dónde:

a es la aceleración [m/s²]

ΔV es la velocidad [m/s]

Δt es el tiempo [s].

- Fuerza de arrastre [N], F_d (Drag Force), que es la fuerza que ejerce el aire sobre el vehículo en la dirección opuesta al movimiento.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 \quad (3.2)$$

Dónde:

C_d es el coeficiente de la resistencia al arrastre [-].

ρ es la densidad del aire [kg/m³].

A es el área frontal del vehículo [m²].

v es la velocidad [m/s].

- Resistencia a la rodadura [N], R_x (Rolling Resistance), es la resistencia que tiene el neumático a rodar, producida por la deformación del mismo, y R_i la inercia.

$$R_x = f_r M g \cos \theta \quad (3.3)$$

Dónde:

f_r es el coeficiente de resistencia a la rodadura [-].

M es la masa [kg].

g es la fuerza de la gravedad [m/s^2].

θ es el ángulo de la pendiente [rad].

$$R_i = M a \quad (3.4)$$

- Resistencia gravitatoria [N], R_g es la componente del peso en dirección paralela a la superficie de rodadura.

$$R_g = M g \sin \theta \quad (3.5)$$

- Demanda del vehículo, es la fuerza necesaria para el desplazamiento del vehículo (F_x) en [N].

$$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g \quad (3.6)$$

- Torque necesario (T) en [Nm]

$$T = F_x r_d \quad (3.7)$$

Dónde:

r_d es el radio dinámico de la rueda [m].

- Potencia necesaria (P) en [W].

$$P = F_x V \quad (3.8)$$

- Consumo energético (E) en [Wh].

$$E = P \Delta t \quad (3.9)$$

3.3.1 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL

Para obtener una energía significativa con el 95% de intervalo de confianza entre cada ruta y determinando la varianza entre los diez valores de energía obtenidos, se obtiene el número de repeticiones que se debían medir con el GPS en cada ruta. Para esto se utilizó la ecuación 3.10, donde se asume un error de 0,5 y un nivel de confianza del 99%.

$$n = \frac{z^2 s^2}{E^2} \quad (3.10)$$

Dónde:

n es el tamaño de la muestra.

z es 2,58 (nivel de confianza de 99%).

s es la varianza.

E es el error.

Después de haber realizado el análisis del tamaño de la muestra, se obtuvo un valor de 8 muestras por cada ciclo, sin embargo se realizaron diez muestras para garantizar que los resultados de la demanda energética sean significativos. En la tabla 12 se muestra el análisis del tamaño muestral.

Tabla 12 Tamaño muestral

Fuente: El Autor

Tamaño Muestral			
Ruta 1			
Prueba #	Energía + [kwh]		
1	3,46	Mediana	3,29
2	2,75	Varianza	0,29
3	2,76	Promedio	3,27
4	2,68	Desviación estándar	0,54
5	3,63	Intervalo 95%	0,39
6	3,99	Límite inferior	2,89
7	2,74	Límite superior	3,66
8	4,11		
9	3,12		
10	3,5		
Distribución	Z	2,58	99,02
		Confianza del 99% (según tablas)	
Varianza	S	0,29	
Error	E	0,5	
Tamaño de la muestra	n	7,72 ≈ 8	

3.3.2 VALIDACIÓN DE PENDIENTE Y DATOS EN CADA RUTA

Mediante el Mapa Digital del Terreno (MDT) en el programa ARCGIS® se determinaron las alturas sobre el nivel del mar, para compararlas con los valores de la Estación Total (ET) y determinar la pendiente máxima que existe en la ruta. En el anexo 4 se indica la tabla con los valores de altura sobre el nivel del mar obtenido con el GPS y con el MDT.

Para validar la pendiente se fijó una ruta y distancia determinada, para ello se ha realizado treinta mediciones con el GPS, del trayecto comprendido desde la Avenida de los Cerezos hasta la Avenida de Las Américas, sobre la Avenida Ordoñez Lasso, la zona está comprendida entre el Colegio Ciudad de Cuenca y el redondel Eloy Alfaro; determinado los valores de altura sobre el nivel del mar, la velocidad y la distancia recorrida. Luego se compara los datos obtenidos del GPS con los datos medidos con la Estación Total (ET).

Los datos de la ET que se obtuvieron en la Avenida Ordoñez Lasso son de la altura sobre el nivel del mar; la figura 31 indica la correlación existente entre las alturas en el GPS y la ET, en donde se realiza un análisis del promedio de las alturas obtenidas con el GPS y los valores de altura de la ET analizados en una distancia de 1.200m para cada una de las treinta mediciones, dichas medidas de alturas se tomó cada 50 metros con la ET; con esto se obtiene un valor de $R^2 = 0,9802$, indicando una excelente correlación, validando el uso del GPS.

En la figura 45 se observa de color celeste dicha pendiente, también se consideran los intervalos de confianza con el promedio de las alturas del GPS para verificar la recta pendiente que se genera, y que se indica en la gráfica de color negro, siendo paralela a la recta pendiente de la correlación de las altura de la ET con el promedio de las alturas del GPS.

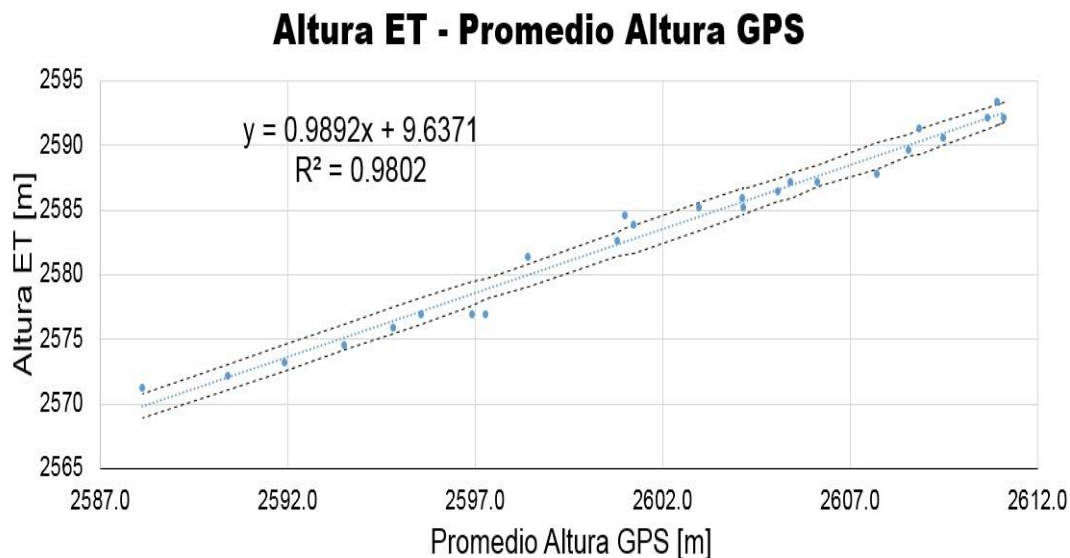


Fig. 45 Gráfica Altura ET – Promedio Altura GPS.
Fuente: El Autor

Se realiza otro análisis de correlación para validar las alturas, relacionando los datos obtenidos en la ET y en el MDT, dichos valores generan un valor de $R^2= 0,9812$, indicando de igual manera una correlación positiva muy alta; en el anexo 5, se muestra la figura donde se encuentra dicho análisis.

Para cada una de las siete rutas se realizaron diez repeticiones de medidas con el GPS (según cálculo de muestra). Las pendientes se obtienen de datos de posición cada 20 metros mediante un algoritmo de selección de datos, realizado en Matlab. En la figura 46, se observan los valores obtenidos de la pendiente en relación a la distancia recorrida para la ruta 1. En el anexo 6 se indica la pendiente en las otras rutas según la distancia recorrida.

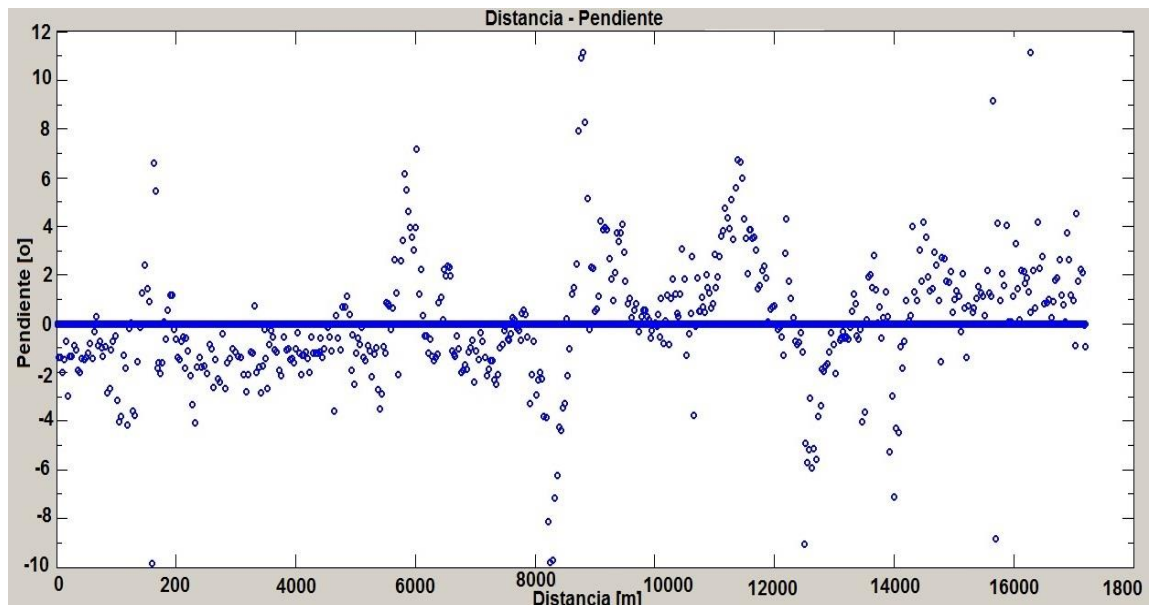


Fig. 46 Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 1.

Fuente: El Autor

En la tabla 13 se muestran valores de la velocidad promedio, máxima velocidad, aceleración máxima, el tiempo de recorrido, la distancia y pendientes para cada una de las rutas.

Tabla 13 Datos analizados en las rutas.

Fuente: El Autor

Ruta #	Velocidad Promedio	Velocidad Máxima	Aceleración Máxima	Tiempo Promedio	Distancia Promedio	Pendiente +	Pendiente -
	[km/h]	[km/h]	[m/s ²]	[s]	[km]	[o]	[o]
1	18.81	62.40	12.78	3262.90	16.84	13.46 ± 1.32	13.59 ± 2.29
2	19.91	65.70	16.58	3006.70	16.75	14.07 ± 1.02	14.81 ± 1.21
3	19.08	67.50	12.14	3254.60	17.73	13.20 ± 0.95	13.89 ± 1.14

4	34.65	102.50	12.03	2377.90	23.05	8.50 ± 0.87	11.53 ± 2.38
5	16.30	68.50	14.53	4240.80	18.77	15.5 ± 1.06	16.62 ± 1.59
6	26.13	93.50	15.17	7674.00	55.16	17.02 ± 0.95	19.88 ± 1.67
7	26.86	86.30	13.22	4391.80	31.67	16.65 ± 0.86	14.94 ± 1.11

3.3.3 ENERGÍA POSITIVA NECESARIA PARA EL SISTEMA

La energía obtenida en cada ruta se determina mediante el análisis dinámico del vehículo como se indicó en el numeral 3.3, además se consideran las características del vehículo liviano detalladas en el numeral 3.2.3.5; se determina la pendiente en la ruta medida cada 20 metros, la distancia recorrida, la velocidad y la aceleración.

Para determinar si la energía positiva consumida entre las 10 repeticiones de cada ruta y entre las 7 diferentes rutas es significativa, se ha realizado un análisis de la varianza ANOVA, si la probabilidad (p valor) es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula con un 95% de confianza, la hipótesis nula es que la variable en análisis es significativamente igual entre rutas y entre repeticiones. En la tabla 14, se indican las energías obtenidas en las 7 rutas y el análisis de la varianza de un factor.

Tabla 14 Energía positiva obtenida en cada recorrido.

Fuente: El Autor

Repetición Ruta	Energía Positiva por repetición (E) (kWh)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.24	1.71	2.09	1.82	2.04	2.20	2.07	2.37	2.14	2.17
2	1.67	2.06	1.89	2.32	2.28	2.36	2.46	2.30	2.16	2.05
3	1.91	2.32	2.29	2.36	2.30	2.24	2.16	2.29	2.17	2.30
4	2.66	2.90	2.98	3.04	3.02	3.00	3.06	3.48	2.80	3.15
5	2.00	2.52	2.39	2.04	2.11	2.23	2.05	2.04	2.11	2.15
6	6.76	6.57	7.25	6.91	7.16	6.87	6.55	6.17	6.66	6.83
7	3.86	3.86	3.85	3.76	3.89	3.30	3.94	3.56	3.78	3.43

En la tabla 15 se observa el análisis ANOVA entre rutas, donde se puede ver que la probabilidad es menor que 0,05, de aquí que se puede rechazar la hipótesis nula, esto significa que la energía entre rutas no es igual, con nivel de confianza del 95%.

Tabla 15 Análisis ANOVA entre rutas.
Fuente: El Autor

ANÁLISIS ANOVA ENTRE RUTAS						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Fila 1	10	20.84	2.08	0.04		
Fila 2	10	25.55	2.15	0.06		
Fila 3	10	22.45	2.25	0.02		
Fila 4	10	30.11	3.01	0.05		
Fila 5	10	21.65	2.16	0.03		
Fila 6	10	67.72	6.77	0.10		
Fila 7	10	37.85	3.79	0.03		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	174.49	6	29.08	651.01	1.1041 E- 54	2.25
Dentro de los grupos	2.81	63	0.04			
Total	177.31	69				

La tabla 16 indica el análisis ANOVA entre repeticiones, donde se puede ver que la probabilidad es mayor que 0,05, de aquí que no se puede rechazar la hipótesis nula, esto significa que la energía entre repeticiones es igual, con nivel de confianza del 95%.

Tabla 16 Análisis ANOVA entre repeticiones.
Fuente: El Autor

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	
Columna 1	7	21.12	3.02	3.26	
Columna 2	7	21.93	3.13	2.77	
Columna 3	7	22.75	3.25	3.54	
Columna 4	7	22.24	3.18	3.14	
Columna 5	7	22.80	3.26	3.39	
Columna 6	7	22.82	3.26	2.92	
Columna 7	7	22.31	3.19	2.67	
Columna 8	7	22.22	3.17	2.12	
Columna 9	7	21.92	3.13	2.77	
Columna 10	7	22.07	3.15	2.91	

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.34	9	0.04	0.01	0.999	2.04
Dentro de los grupos	176.97	60	2.95			
Total	177.31	69				

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL TREN MOTRIZ

El tren motriz de un vehículo es el conjunto de sistemas y elementos que permiten transmitir el movimiento de un motor hacia las ruedas del vehículo, para lo que se considera la potencia, el torque necesarios así como las velocidades que alcanzará el vehículo. Para la movilidad en el sistema, se utilizará un motor eléctrico para transmitir el movimiento hacia la caja de cambios, diferencial, ejes y finalmente a las ruedas, siendo los mismos elementos que se utilizan en un vehículo liviano que dispone de un MCIA.

En las rutas propuestas la velocidad máxima a alcanzar es de 100km/h, por lo que se debe utilizar una caja de cambios y un diferencial que permitan alcanzar dicha velocidad, que supere la pendiente máxima, que tenga capacidad de arranque en pendientes (startability) y la capacidad de ascenso en pendientes (gradeability); entonces como se selecciona un vehículo liviano existente en el medio, el componente principal a tomar en cuenta es la caja de cambios y el diferencial, de donde se calcula la velocidad máxima para cada marcha, considerando que para realizar el cambio de marchas el motor de propulsión alcanzará las 4000rpm, debido a que en ese punto la potencia y el torque es elevado:

- Relación de transmisión total (Ntd).

$$Ntd = Rtc \times RTd \quad (3.11)$$

Dónde:

Rtc es la relación de transmisión de la marcha [-].

RTd es la relación de transmisión del diferencial [-].

- Velocidad de cada marcha (Vc) [m/s].

$$V_c = \frac{2 \pi r_d W_m}{60 N t d} \quad (3.12)$$

Dónde:

W_m son las revoluciones por minuto en cada cambio [RPM].

Cada cambio de marcha se realiza a 4000 RPM.

La tabla 17 indica las características de relación de transmisión y velocidades máximas para cada cambio.

Tabla 17 Relación de transmisión y velocidades de una caja de cambios.

Fuente: Suzuki Motor Co Ltd.

Características Caja de velocidades				
# de Marcha	Relación de transmisión	Reducción del diferencial	Relación Total	Velocidad [km/h]
1ra	3,42 : 1	4,11 : 1	14,02 : 1	0 – 30
2da	1,89 : 1	4,11 : 1	7,78 : 1	30 – 55
3ra	1,28 : 1	4,11 : 1	5,25 : 1	55 – 81
4ta	0,91 : 1	4,11 : 1	3,75 : 1	81 - 114
5ta	0,76 : 1	4,11 : 1	3,11 : 1	114

3.4.1 POTENCIA Y TORQUE NECESARIOS

Considerando la ruta, las características del vehículo, la caja de marchas, el torque (T) y la potencia (P) necesarios para el cubrimiento de la ruta y que el motor eléctrico debe satisfacer se obtiene mediante:

$$T = (F_x + m_e a) \frac{r_d}{N t d \eta_m} \quad (3.13)$$

Dónde:

T es el Torque [Nm].

m_e es la masa equivalente [kg].

η_m es el rendimiento mecánico de la caja de marchas 95%.

La potencia se obtiene considerando el valor de F_x y de la velocidad del vehículo V.

- Potencia necesaria (P).

$$P = F_x V \quad (3.14)$$

En la tabla 18 se indica los valores de potencia y torque máximos obtenidos en cada ruta.

Tabla 18 Potencia y Torque máximos en cada ruta.

Fuente: El Autor.

Ruta	Potencia [kW]	Torque [Nm]
1	39,79	150,61
2	46,40	163,92
3	39,30	163,26
4	44,08	160,85
5	36,28	159,38
6	49,94	160,86
7	49,52	161,02

3.4.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO

Existen en el mercado varias propuestas de motores eléctricos que se pueden aplicar en el vehículo, pero el motor eléctrico que se ajusta más para las condiciones de las rutas es el tipo AC3 debido a sus características de torque y potencia, en la figura 47 se indica en la línea de color naranja el torque del motor eléctrico AC2 y la zona de color azul el torque de la ruta, en la parte desde 3.000 a 4.000 rpm la curva del torque motor no cubre con las necesidades de la ruta, es por esto que no se aplicó dicho motor.

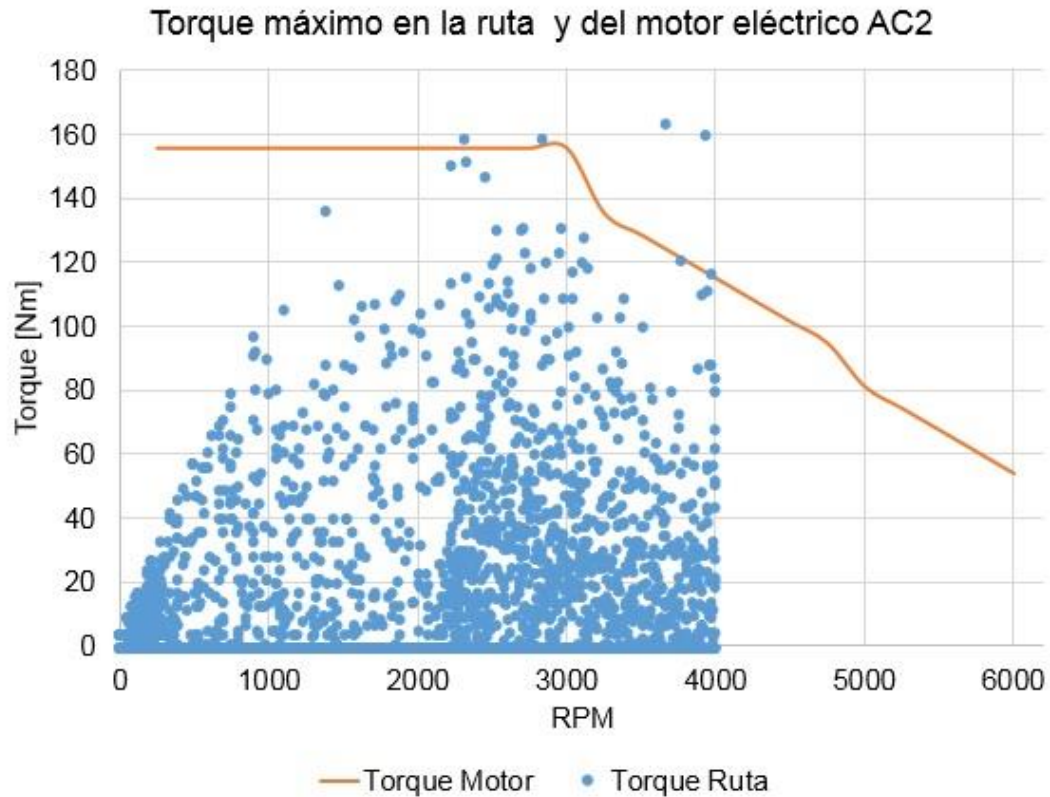


Fig. 47 Torque necesario en la ruta y torque del motor AC2.

Fuente: El Autor.

El motor eléctrico utilizado para la propulsión del vehículo y que funciona con la caja de marchas debe satisfacer la demanda de torque y potencia para cumplir con la ruta, en la tabla 19 se indican las características principales de dicho motor, la selección de dicho se motor está basada en el cubrimiento la demanda de torque y potencia de la ruta que tiene mayor demanda.

Tabla 19 Características del motor AC3.

Fuente: Kit Autolibre AC3, 2016.

Tipo de motor	Diámetro [in]	Peso [kg]	Voltaje [v]	Amperaje [A]	Eficiencia %	Pico de potencia [Hp]/[kW]	Torque [ft-lb] / [Nm]	RPM
AC3	9	70	96 - 144	500	89	100/76,4	125/180	6500

“Este motor de inducción y corriente alterna, puede impulsar varios tipos de vehículos de hasta 4.000 Kg con velocidades de 100 Km/h (1.500 Kg – 150 Km/h), utiliza un controlador de 144v y 650A”. (Kit Autolibre AC3, 2016).

En la figura 48, se indican las curvas de torque y potencia del motor eléctrico AC3.

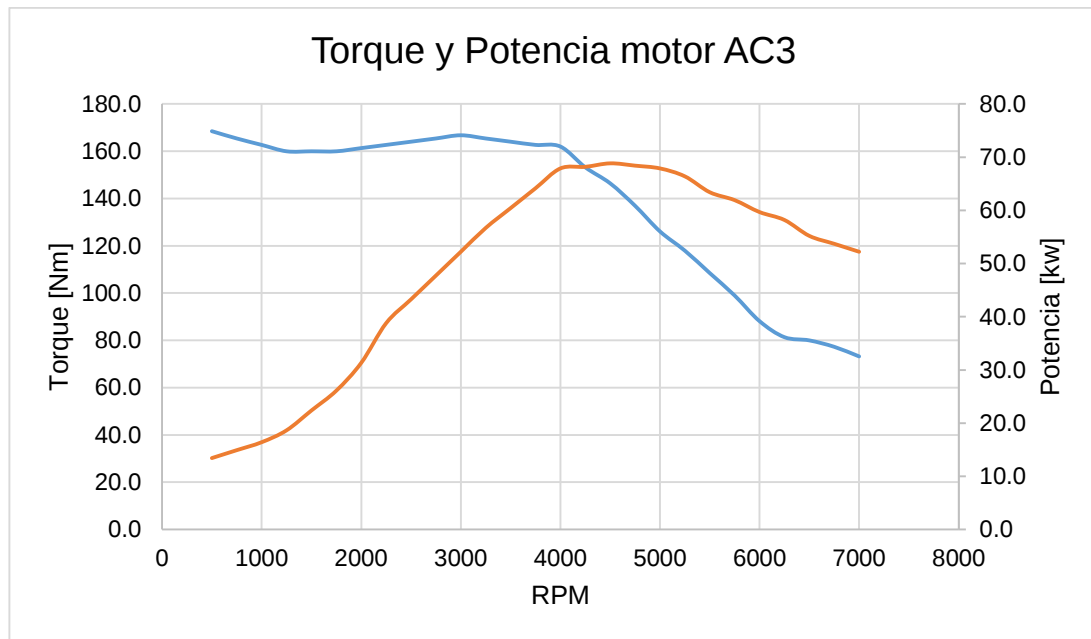


Fig. 48 Curvas de torque y potencia del motor eléctrico AC3.

Fuente: Kit Autolibre AC3, 2016.

Aplicando las ecuaciones antes mencionadas se obtiene el torque y la potencia necesaria en la rueda para las rutas propuestas, se determina cuál de ellas demanda mayor torque y potencia, donde el máximo valor de torque es de 163,92 Nm, y de potencia es de 49,94 kW, dichas exigencias de torque y potencia durante la ruta se indican en las figuras 49 y 50 con color azul, las mismas que son determinadas en la demanda energética y con las características de la caja de marchas; de color naranja se indica el torque y potencia del motor eléctrico, de lo cual se determina que las características del motor satisface la demanda de la ruta, indicando en la zona de color azul la demanda de torque en la ruta y de color naranja la línea generada por el torque del motor, de igual manera sucede con la potencia, entonces el motor está dentro de los parámetros necesarios, para cubrir la demanda máxima de la ruta.

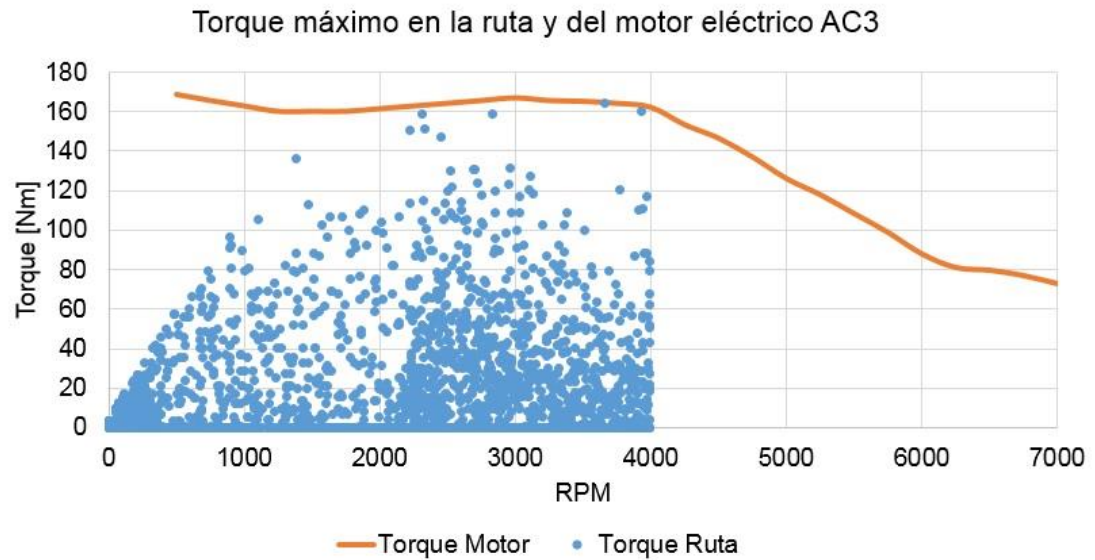


Fig. 49 Torque necesario en la ruta y torque del motor AC3.

Fuente: El Autor.

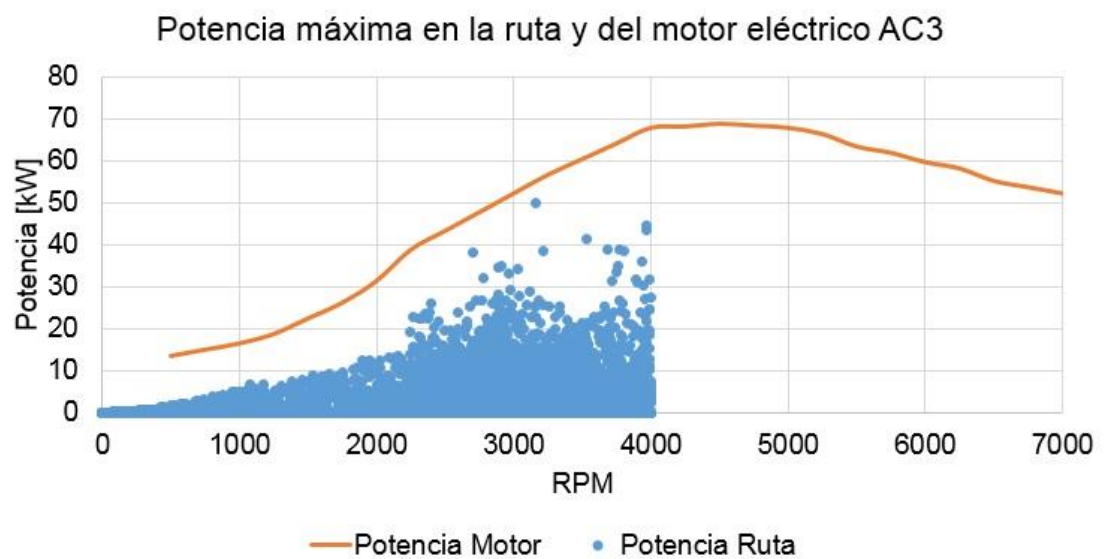


Fig. 50 Potencia necesaria en la ruta y potencia del motor AC3.

Fuente: El Autor.

3.4.1.2 DIAGRAMA DE CUBRIMIENTO

El diagrama de cubrimiento permite verificar si las características del motor y de la caja de marchas permiten el desplazamiento del vehículo en la ruta, satisfaciendo la demanda energética

De las rutas propuestas, el vehículo tiene que superar una pendiente máxima de 30,6%, la caja de marchas y el motor eléctrico deben cubrir las exigencias de la ruta para poder circular en ella; por lo que se realiza el diagrama de cubrimiento donde se analiza la velocidad del vehículo y la fuerza necesaria.

Para determinar la fuerza (F_x) y la velocidad (v) que el motor produce en las ruedas se considera la relación total de transmisión en cada cambio (N_{td}) y el radio dinámico de la rueda (r_d):

$$V = \frac{W_{motor}}{N_{td}} r_d \quad (3.15)$$

Dónde:

V es la velocidad en [km/h]

W motor son las revoluciones de motor en [rad]/s]

$$F_x = \frac{T N_{td}}{r_d} \quad (3.16)$$

La fuerza F_x y la velocidad (v) que necesita el vehículo para desplazarse y supere las pendientes de 0%, al 45% y que pueda alcanzar la velocidad máxima permitida en la ruta es:

$$F_x = F_d + R_x + R_g \quad (3.17)$$

En la figura 51 se indica el diagrama de cubrimiento, donde se puede observar que el vehículo puede superar las pendientes con el motor eléctrico AC3 y la caja de cambios propuesta.

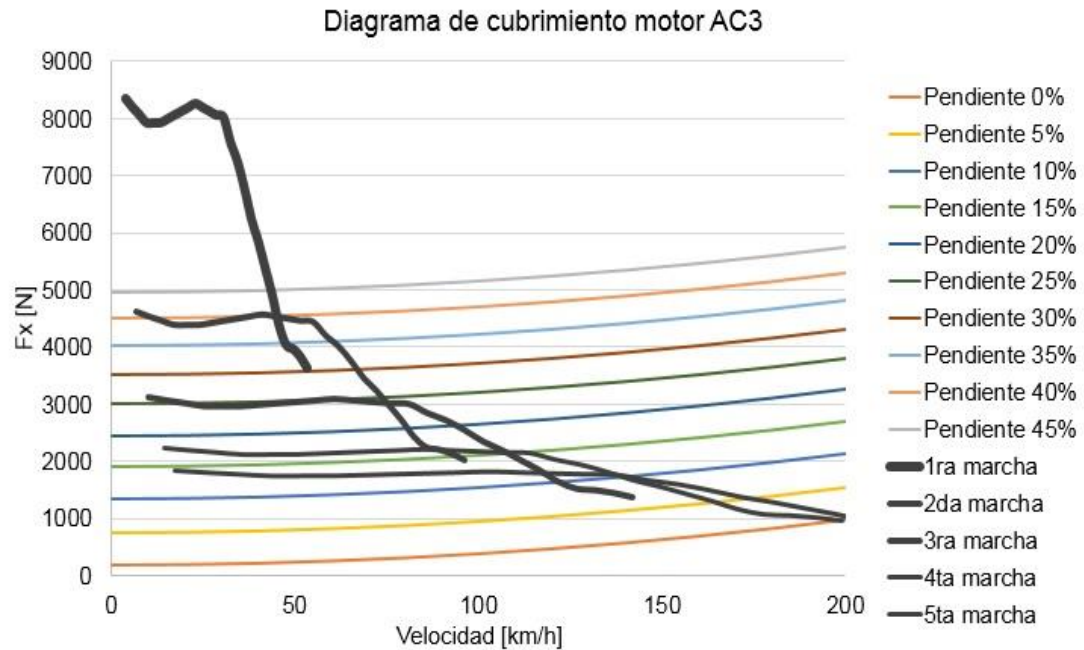


Fig. 51 Diagrama de cubrimiento.
Fuente: El Autor

3.4.2 RENDIMIENTO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La autonomía real del vehículo eléctrico depende de las características de manejo y de los accesorios que disponga, como aire acondicionado, calefacción, accionamiento de dirección asistida, la presión de inflado de los neumáticos, y las características aerodinámicas del vehículo. Como se analizó. “Depende también de las características que tienen las baterías instaladas en el sistema, por ejemplo en caso de utilizar baterías de Litio (Li Fe PO_4) de 17 kW, de las cuales se utilizará el 88% de su capacidad”. (Fepo, 2015)

En la tabla 20 se indica el consumo eléctrico según la velocidad, de la gama de baterías de Litio.

Tabla 20 Consumo eléctrico según velocidad
Fuente: (Fepo, 2015)

Velocidad [km/h]	Consumo Wh/km	Autonomía
10	120	125 km
20	130	116 km
40	145	103 km
60	155	97 km
80	165	91 km
100	188	80 km
120	219	69 km
140	262	57 km

Las especificaciones de baterías de Litio que se utilizan para el sistema, se muestran en la tabla 21, donde se recomienda utilizar 48 celdas de 3,2 V cada una, obteniendo 153,6 V. Cada paquete de baterías consta de 4 celdas y 12,8V, se aplica 12 paquetes que generan 153,6 V y 60 Ah, generando una energía de 9,2kWh, con una masa total de 110,4 kg, dicha masa se consideró en el análisis de energía, siendo el PBV de 1.200kg; la capacidad de las baterías puede variar dependiendo la autonomía deseada, en este caso para el cálculo energético se aplica los tres tipos.

Tabla 21 Especificaciones batería de Litio.

Fuente: Partes y refacciones para vehículos eléctricos, 2016

Especificaciones Batería de Litio	
Voltaje nominal	12,8 V
Capacidad nominal	40, 60, 100, 200 Ah
Química	LiFeMnPO ₄
Peso por paquete	6,6 - 9,2 – 12,9 – 24,5 kg
Paquete	12 de 4 celdas.
Voltaje total	153,6 V
Dimensiones	12,5x28x18 cm
Ciclo de vida	> 2000
DOD	80%
Temperatura de funcionamiento	-20 a 65 °C

3.5 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

La configuración del vehículo eléctrico está determinada por la energía necesaria para impulsar el vehículo. Como se indica la figura 52 la alimentación de energía inicia con el sistema de transmisión inalámbrica de energía, que genera una potencia de 100 kW, luego pasa por un regulador que permite la alimentación y carga de las baterías de Litio, las mismas generan una potencia de 9,2 kW, luego circula por un transformador de corriente, para pasar al controlador que permite la aceleración y deceleración del vehículo, luego pasa al motor eléctrico que tiene un voltaje de 144 V – 500 A, y finalmente pasara a la caja de marchas para poder girar las ruedas motrices.

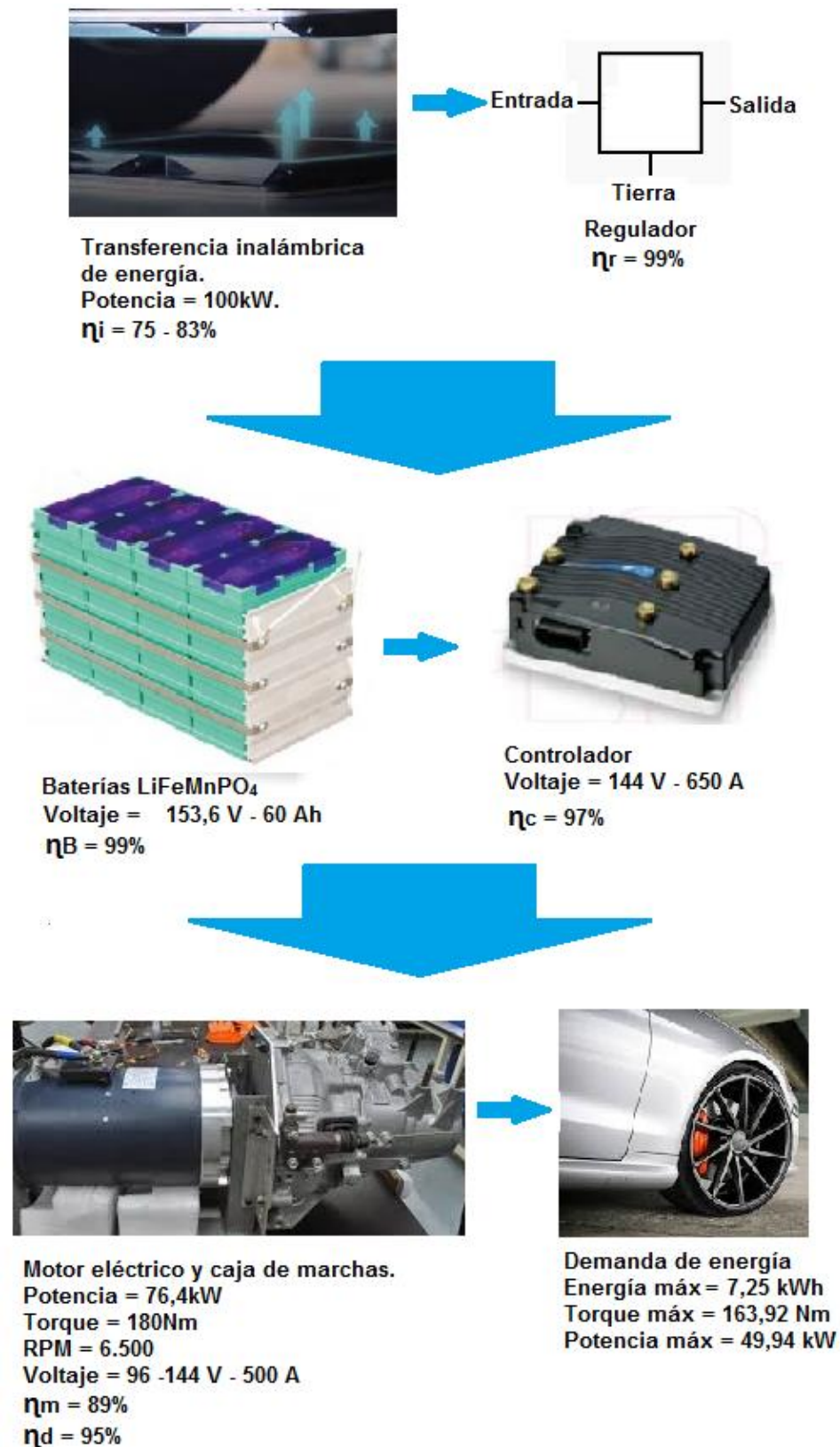


Fig. 52 Cadena para el movimiento del vehículo en el sistema.

Fuente: El Autor

La cadena para el movimiento del vehículo en el sistema, donde según los valores establecidos anteriormente el rendimiento de la transmisión de energía sin cables es del 75% de acuerdo a la tecnología aplicada, el regulador de voltaje con un 99%, las baterías tienen un 99% y el controlador de un 97%, el rendimiento del motor eléctrico es del 89%, de la caja de marchas es el 95%, con dichos datos se puede desplazar el vehículo por el sistema, cubriendo todas las exigencias que presenta la ruta y principalmente superará las pendientes.

El rendimiento de la eficiencia energética para el sistema de movilidad está dado por:

$$\eta = \eta_i \eta_r \eta_B \eta_c \eta_m \eta_d \quad (3.18)$$

Dónde:

η es el rendimiento energético total.

η_i es el rendimiento de la transferencia de energía inalámbrica.

η_r es el rendimiento del regulador.

η_B es el rendimiento de la batería.

η_c es el rendimiento del controlador.

η_m es el rendimiento del motor eléctrico.

η_d es el rendimiento la caja de marchas.

El rendimiento total del sistema (η) es igual al 60%.

Es necesario el control del funcionamiento de las baterías y del motor eléctrico, para esto se debe utilizar un sistema BMS que sirve para balancear a las baterías, un sensor de corriente y temperatura, una pantalla LCD, un CPU para monitorear el tiempo real de voltaje y la temperatura de cada celda, voltaje y corriente de todo el paquete, el estado de carga (SOC) 0 - 100% y salidas de protección de sobrecarga y bajo voltaje con el fin de no dañar las baterías y extender la su vida útil, estos implementos se mencionan pero no son parte del análisis.

3.6 CONCLUSIONES

Según lo revisado en el numeral 3.1.1 las zonas con mayor afluencia en la ciudad de Cuenca son el centro Histórico y El Ejido; por lo que, se analizó la demanda de energía que tienen rutas específicas que permitirán movilizarse por dichas zonas, para esto se propone la utilización de un vehículo liviano que funcione con un motor eléctrico y se desplace por un carril específico que provea de energía para su desplazamiento.

En el análisis del tamaño muestral se obtuvo que se deben realizar 8 recorridos en cada ruta para determinar la energía, pero se realizaron 10 recorridos en cada una de las siete rutas, de donde los valores de energía se consideraron para el análisis ANOVA, obteniendo valores coherentes de energía que permiten continuar con el proyecto de movilidad alternativo.

El análisis de demanda de energía se realizó recopilando datos de velocidad y tiempos necesarios en cada ruta utilizando un GPS 60CSx. Luego con el análisis de la dinámica longitudinal del vehículo se determinó la demanda de energía para desplazarse por la ruta. En este análisis se consideró las pendientes de las rutas con un desplazamiento del vehículo de cada 20 metros y sus características.

Se realizaron 10 muestras por cada una de las siete rutas para calcular la energía, alcanzado un valor máximo de 7,25 kWh, luego se determinó la potencia y torques necesarios con la utilización de una caja de marchas, que mediante la relación de transmisión permita superar la pendiente máxima que es del 31%, también permitir el cambio de velocidades a 4000 rpm puesto que es donde el motor tiene el torque y la potencia elevado. Mediante un diagrama de cubrimiento se analizó el tipo de motor eléctrico, que tiene un pico de potencia de 76,4 kW y un torque de 180 Nm. Con dichos valores se realizó dos diagramas que se indican en las figuras 49 y 50 donde el torque y potencia de las rutas, comparando con el diagrama de las curvas del motor eléctrico se observa que, el motor satisface la demanda de torque y potencia para cada ruta. La energía para que funcione el motor eléctrico proviene de baterías instaladas en el vehículo y pueden ser de Litio con una capacidad de 153,6 V a 60 Ah.

La cadena para el movimiento del vehículo tiene un rendimiento del 60% debido a las pérdidas que existen en los componentes electrónicos y mecánicos, la tecnología aplicada permite la utilización de baterías de Litio que permiten una alta capacidad de almacenamiento de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GAD Municipal, 2014. Categorización de la demanda de transporte de Cuenca.
- BAE, JH. Korea gallops ahead in a race for dynamic on-the-go wireless charging EV system. 2013. Recuperado de <http://itersnews.com/?p=44874> (2013, agosto 20)
- EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS) 2016. Testing and Measuring Emissions. Recuperado de: <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm> (2015, marzo 03)
- EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS) 2016. Dynamometer Drive Schedules - files contain tab delimited ASCII columns Recuperado de: <http://www3.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm>. (2015, marzo 02)
- EMOV, 2014. Rendición de Cuentas 2014.
- Emov Ep, R.D.M.D.L.C.D.A.D.C., 2014. Resumen del inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año 2011. Cuenca-Ecuador, (Diciembre, 2014).
- NTE INEN 2656, 2012. Noma Técnica Ecuatoriana 2656, 2012.

- Aparicio Izquierdo, Francisco. Teoría de los vehículos automóviles. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre 1995.
- Kit Autolibre AC3. 2015. Manual completo de conversión de vehículos eléctricos, Recuperado de <http://www.autolibreelectrico.com/archives/369> (2016, febrero 01)
- Fepo, L., 2015. Como se relacionan la potencia, el peso y la velocidad.

Capítulo IV

DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SATISFACER UN SISTEMA ALTERNATIVO DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO

El sistema alternativo de propulsión eléctrico debe ser alimentado por las subestaciones y alimentadores que están dentro de las zonas por donde se encuentran las rutas propuestas para el sistema; por lo que, se hará una descripción del funcionamiento del sistema de alimentación de energía eléctrica hacia los usuarios. La finalidad de este capítulo no es determinar la forma de alimentar de energía al sistema, ya que este trabajo caería sobre otro campo, sin embargo, se hace una descripción y se estudia si es factible el uso del sistema propuesto desde el punto de vista energético, más que tecnológico.

“Un sistema de distribución se considera que comienza en una estación eléctrica de potencia con sus respectivos transformadores, los cuales a través de las líneas de subtransmisión transportan la energía hacia las subestaciones de distribución a otro nivel de tensión, y por medio de circuitos primarios, transformadores de distribución, y la red secundaria llega hacia los consumidores finales. La capacidad de la subestación debe cubrir las necesidades del sistema, la energía proporcionada a los consumidores debe provenir de una subestación, si no es una cercana, desde otra lejana”. (Chalco, 2010).

En la figura 53 se muestra un diagrama esquemático de un sistema de distribución típico con sus partes.

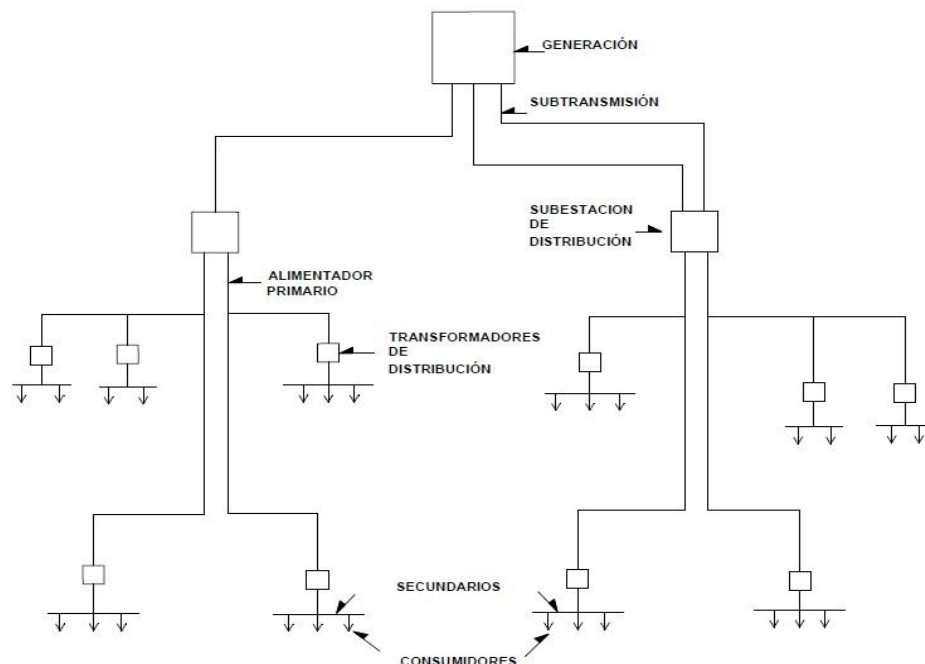


Fig. 53 Diagrama esquemático de un sistema de distribución típico con sus partes.
Fuente: (Chalco, 2010)

Para transportar la energía desde las subestaciones de distribución hasta los transformadores de distribución, la realizan los alimentadores primarios y pueden aplicarse varios tipos de configuraciones, en la figura 54 se indica un sistema en anillo, que permite servir a las cargas desde varias subestaciones, en este sistema se inicia en un punto o nodo central, se recorre todo el sistema a alimentar y se vuelve al mismo nodo formando así un anillo y en caso de que se produzca una falla en un alimentador la subestación de alimenta por el otro lado.

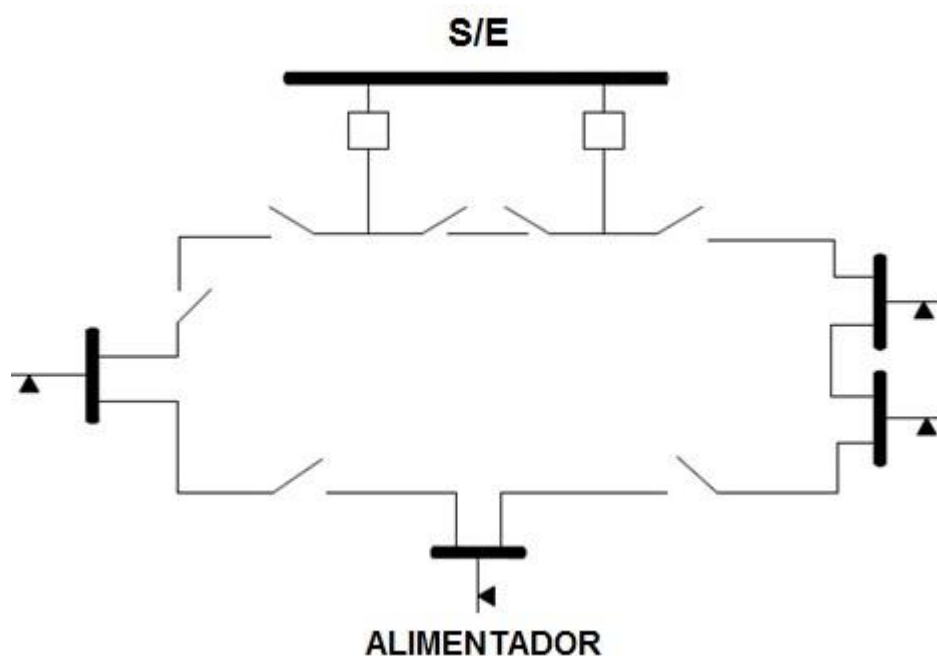


Fig. 54 Sistema en anillo.

Fuente: (Chalco, 2010)

Como se indica en las figuras 53 y 54, para el sistema de movilidad, alimentan de energía todas las subestaciones que se encuentran dentro de las rutas, con esto se garantiza la entrega de energía eléctrica hacia los vehículos.

4.1 ENERGÍA TRANSMITIDA AL SISTEMA DE MOVILIDAD

Las subestaciones y los alimentadores de energía eléctrica al sistema y que se encuentran dentro o cercanos a las rutas se indican en la tabla 22, donde se observa la potencia de la subestación (S/E), el consumo en los alimentadores y la potencia disponible, los valores expresados son mediciones de consumo en el mes de diciembre de 2015, puesto que existe la mayor demanda de electricidad y están sobrevalorados en un 40%, debido a que en caso de emergencia por la salida eventual de una subestación las otras deberán satisfacer la demanda.

Subestaciones (S/E)				
S/E	Ubicación	Potencia [kVA]	Alimentadores [kW]	Disponible [kW]
01	Sector Luis Cordero y Rafael María Arizaga.	12.000	6.630	5.370
02	Sector Centro Histórico. Calle Benigno Malo y Calle Larga.	12.000	7.781	4.219
03	Sector Monay. Av. Máx Uhle y Pumapungo.	34.000	18.536	15.464
04	Sector El Vecino. Calle Barrial Blanco.	34.000	33.140	860
05	Sector Feria Libre. Calle Tarquino Cordero.	34.000	34.287	-287
07	Sector Ricaurte.	20.000	12.057	7.943
08	Sector Turi.	24.000	12.597	11.403
12	Sector El Descanso.	20.000	6.309	13.691
	TOTAL	190.000	131.337	58.663



4.2 SOPORTE DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS QUE FUNCIONAN EN EL CARRIL ESPECÍFICO DEL SISTEMA

Esta primera parte estará en función de la potencia instalada. Después se calculará en función de la demanda de energía dependiendo de lo calculado según el uso del vehículo. En cada subestación existen transformadores y alimentadores, que distribuyen la energía a los consumidores, para el sistema se utilizan alimentadores autorizados por la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A., basados en las normas INEN 2110, con capacidades de 30 hasta 500 kVA, y ya que, están conectados en anillo se considera la disponibilidad de energía existente entre todas las subestaciones que se encuentran en el sector de las rutas, que tiene un valor de 58.663 kW.

Como se mencionó en el Capítulo II, la potencia necesaria para el funcionamiento de carga sin cables mediante inducción necesita 100 kW con una eficiencia del 75% si el vehículo está en movimiento y del 83% si está estático. (Korea gallops ahead in a race for dynamic on-the-go wireless charging EV system, 2013).

Para determinar la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema es necesario determinar la potencia de carga que puede entregar el sistema considerando las pérdidas, tanto en la entrega de energía como en la transmisión de energía, se considera también la capacidad de las baterías y la demanda de energía de la ruta.

La potencia disponible para el sistema de movilidad alternativo está dado por:

$$Pd = Pt \times n \quad (4.1)$$

Dónde:

P_d es la potencia entregada [kW].

P_t es la potencia disponible [kW].

n es el 60% de la potencia disponible.

Potencia efectiva del sistema de transmisión de energía inalámbrica está dado por:

$$PI = P_o \times \eta_i \times \eta_r \quad (4.2)$$

Dónde:

P_I es la potencia en la transferencia inalámbrica de energía [kW].

P_o es la potencia inicial [kW].

En la tabla 23 se indica la potencia entregada al sistema, y los posibles alimentadores que se deberían utilizar dependiendo de su potencia.

Tabla 23. Valores de potencia entregada y disponible y potencia en las subestaciones.

Fuente: El Autor

Potencia disponible (Pt) [kW]					58.663				
Potencia entregada (Pd) [kW]					35.198				
Potencia inicial (Po) [kW]					100				
Potencia en la transferencia inalámbrica de energía (PI) [kW]					74,25				
Potencia de los alimentadores [kW]	30	50	100	150	200	250	300	400	500
Número de alimentadores para la ruta	1.955	1.173	587	391	293	235	196	147	117
Número de alimentadores por S/E	244	147	73	37	29	29	24	18	15

Para calcular el número de vehículos que pueden funcionar en el sistema se considera la energía que pueden tener las baterías, cuantos vehículos pueden ser abastecidos con una potencia de 74,25 kW y cuantos abastece la potencia de 35.198 kW.

El número de vehículos en el sistema está determinado por:

Energía de las baterías:

$$Eb = \frac{V \times C}{1.000} \quad (4.3)$$

Dónde:

Eb es la energía en las baterías [kWh].

V es el voltaje de las baterías [V].

C es la capacidad de las baterías [Ah].

Cantidad de vehículos en el sistema está determinada por:

$$N1 = \frac{PI}{Eb} \quad (4.4)$$

$$N2 = \frac{Pd}{PI} \times N1 \quad (4.5)$$

Dónde:

N1 es el número de vehículos según la potencia en la transferencia de energía inalámbrica.

N2 es el número de vehículos en el sistema por hora.

El sistema eléctrico según la longitud de 55,16 km de la ruta con mayor demanda de energía (ruta 6) puede satisfacer a 8.458 vehículos y con una distancia de 16,75 km de 2.568 vehículos. Para obtener estos datos se realiza una aproximación con medidas típicas del vehículo utilizado y medidas típicas de intersecciones y espacios entre vehículos, considerando una longitud de cada vehículo de 4m y con una distancia entre ellos de 2 m. También se considera que cada 100 m existe una intersección con un ancho de 8 m; por lo que, se genera una longitud total de vehículos de 33,83 km y de 10,27 km, entonces al aplicar la distancia máxima en la ruta y con la capacidad de las baterías de 60 Ah dentro del sistema caben desde 3.819.

En la figura 56 se indica en las barras de color naranja la cantidad de vehículos livianos que circulan en el sistema durante una hora y en las barras de color azul la energía necesaria, dependiendo de la capacidad de la batería, puesto que se pueden utilizar distintos tipos de baterías, donde a mayor demanda de energía es menor la cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema.

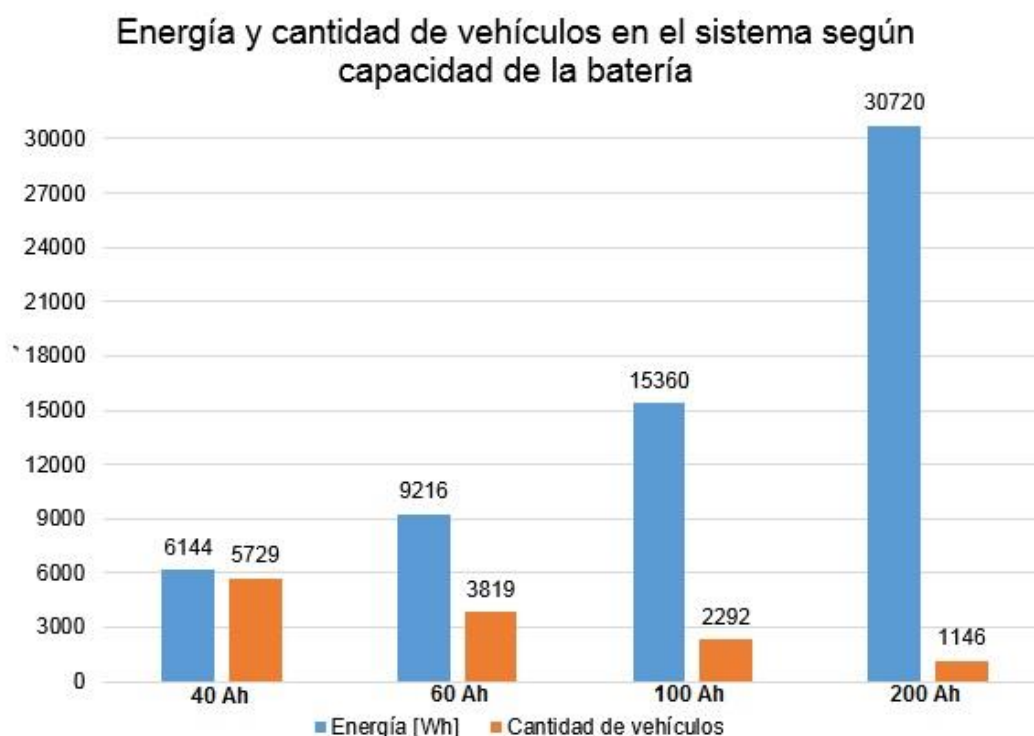


Fig. 56 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema.

Fuente: El Autor.

4.2.1 CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SISTEMA

Con el propósito de determinar la máxima demanda de energía que genera el sistema, se considera la ruta con mayor distancia de 55,16 km y con mayor energía consumida según los

datos medidos en el apartado 3.3.3 de 7,25 kWh, donde la cantidad de vehículos en el sistema depende de la capacidad de las baterías, también se consideran parámetros como: El tiempo que el sistema funciona al 100%, el porcentaje de viajes que se efectúan desde y hacia al Centro Histórico de la ciudad y a El Ejido que es un 33% de viajes de vehículos privados y por motivos de trabajo.

Análisis de la demanda de energía en el sistema funcionando con el 100% de demanda y durante 6 horas, considerando que las horas con mayor demanda en los viajes son desde las 07h00 hasta las 9h00, de 12h00 a 14h00 y de 18h00 a 20h00, debido a que son las horas características de entrada y salida de trabajos, así como también de centros educativos.

Consumo de energía en el sistema al 100% durante 6 horas está determinado por:

Cantidad de vehículos durante 6 horas:

$$N3 = N2 \times t \quad (4.6)$$

Dónde:

N3 es la cantidad de vehículos.

t es tiempo [h]

$$E1 = \frac{E \times N3}{1.000} \quad (4.7)$$

Dónde:

E1 es la demanda de energía [MWh]

E es la demanda de energía máxima en la ruta [kWh]

En la tabla 24 se indica los valores obtenidos de la demanda de energía según la capacidad de la batería y la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema.

Tabla 24 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema al 100 % durante 6 horas.

Fuente: El Autor

Capacidad de la batería (C) [Ah]	Demanda de Energía (E1) [MWh]	Número de vehículos en el sistema (N3)
40	249,20	34.373
60	166,14	22.915
100	99,68	13.749
200	49,84	6.875

En la figura 57 se indica la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema al 100% de demanda y durante 6 horas, la disminución de consumo de energía se debe a la menor cantidad de vehículos que puede soportar el sistema, puesto que la demanda de energía de las baterías aumenta desde 6,14 kWh hasta 30,72 kWh, como se mostró en la tabla 24. La demanda de energía de la ruta es de 7,25 kWh por vehículo, al disminuir la cantidad de vehículos que soporta el sistema disminuye la demanda de energía total.

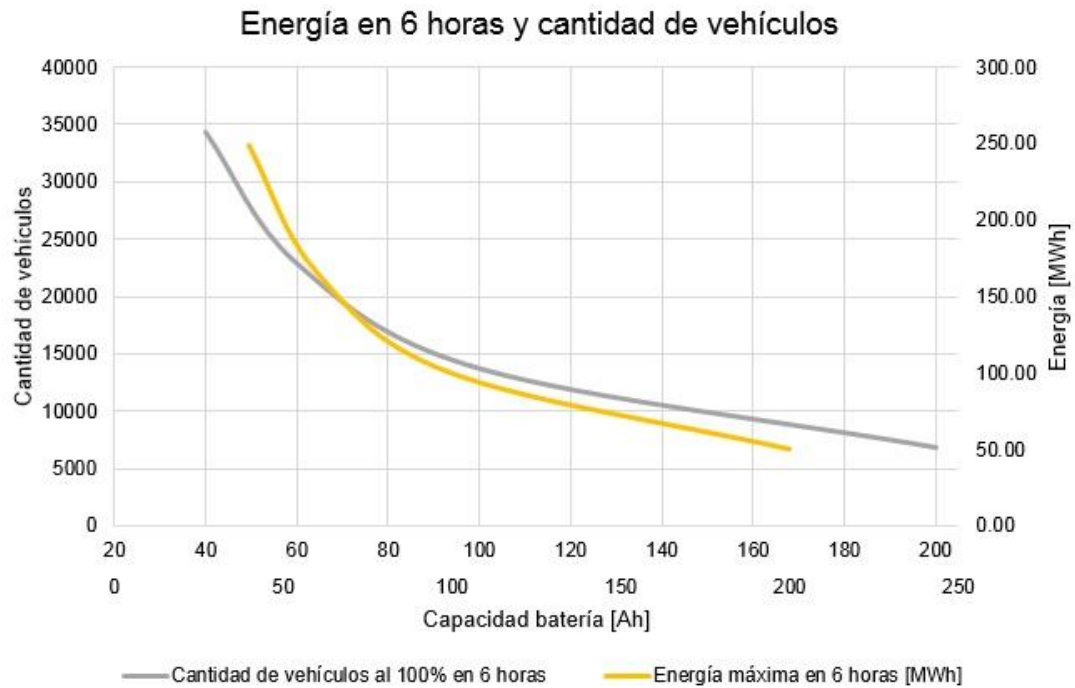


Fig. 57 Demanda de energía en 6 horas y cantidad de vehículos en el sistema.

Fuente: El Autor.

Análisis de la cantidad de vehículos y la demanda de energía durante 24 horas, funcionando al 100%:

$$N4 = N2 \times t1 \quad (4.8)$$

Dónde:

N4 es la cantidad de vehículos

t1 es el tiempo

$$E2 = \frac{E \times N4}{1.000} \quad (4.9)$$

Dónde:

E2 es la demanda de energía en 24 horas [MWh]

En la tabla 25 se indica los valores obtenidos de la demanda de energía según la capacidad de la batería y la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema durante 24 horas al 100%, siendo este un caso crítico de funcionamiento del sistema y anómalo.

Tabla 25 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema durante 24 horas.
Fuente: El Autor

Capacidad de la batería (C) [Ah]	Demanda de Energía (E2) [MWh]	Número de vehículos en el sistema (N4)
40	996,81	137.491
60	664,54	91.661
100	398,73	54.997
200	199,36	27.498

Análisis de la cantidad de vehículos y la demanda de energía durante 24 horas, funcionando al 33% de su capacidad; puesto que, las características de los viajes dentro de la ciudad al día es del 33% como se mencionó en el apartado 3.1:

$$N5 = N4 \times \eta_z \quad (4.10)$$

Dónde:

N5 es la cantidad de vehículos.

η_z es el 33% de viajes al día.

$$E3 = E2 \times \eta_z \quad (4.11)$$

Dónde:

E3 es la demanda de energía en 24 horas al 33% de viajes [MWh]

En la tabla 26 se indica los valores obtenidos de la demanda de energía según la capacidad de la batería y la cantidad de vehículos que funcionan en el sistema durante 24 horas al 33%.

Tabla 26 Demanda de energía y cantidad de vehículos en el sistema al 33% de viajes.

Fuente: El Autor

Capacidad de la batería (C) [Ah]	Demanda de Energía (E3) [MWh]	Número de vehículos en el sistema (N5)
40	328,95	45.375
60	219,30	30.248
100	131,58	18,149
200	65,79	90,74

En las figuras 58 y 59 se indican la cantidad de vehículos y energía necesaria para funcionar al 100% las 24 horas y también la cantidad de vehículos y energía necesaria considerando el 33% de viajes dentro de la ciudad.

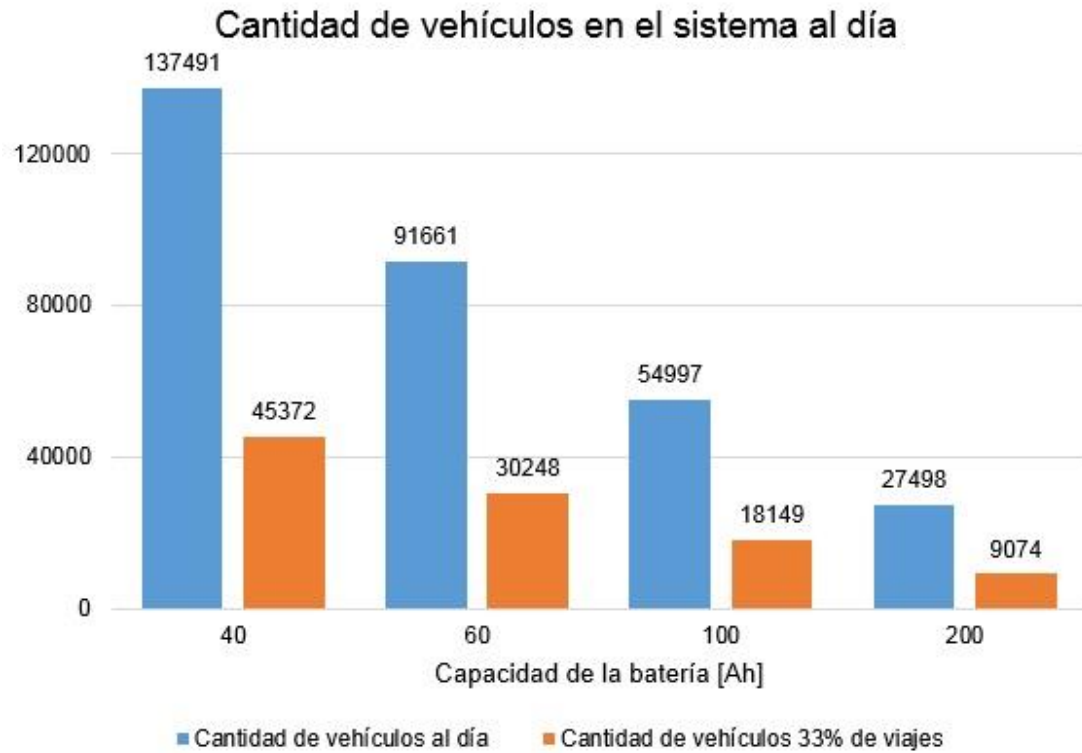


Fig. 58 Cantidad de vehículos en el sistema al día.

Fuente: El Autor.

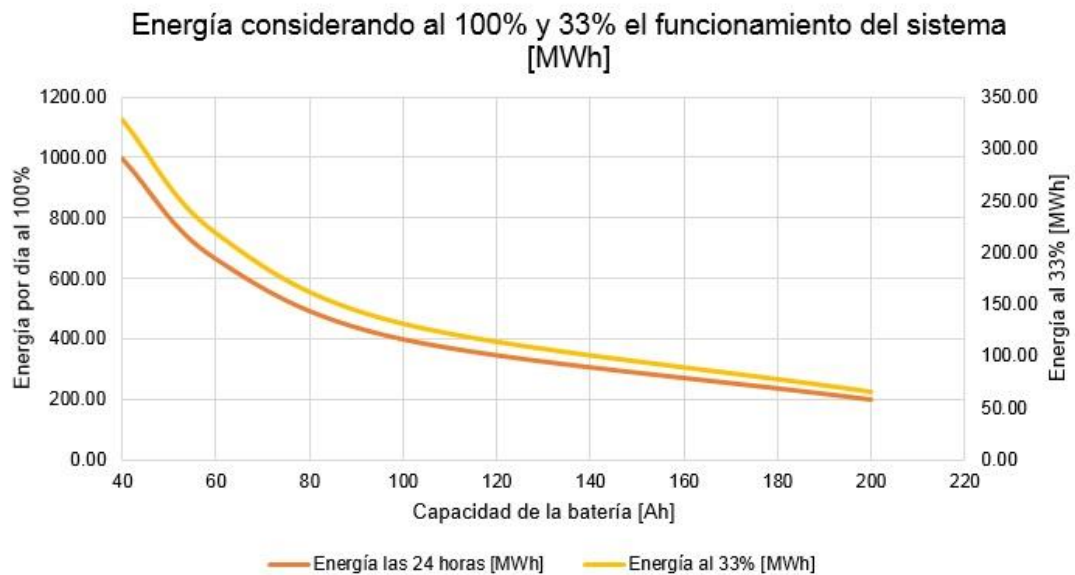


Fig. 59 Energía considerando al 100% y 33% del funcionamiento del sistema.

Fuente: El Autor.

4.2.1.1 AHORRO ENERGÉTICO

La demanda de energía en el sistema se considera según el rendimiento que existe en el sistema de inducción de energía (75%), en el regulador (99%), en las baterías (99%), en el controlador (97%), en el motor eléctrico (89%) y en la caja de cambios (95%), finalmente en el sistema se obtiene un rendimiento del sistema eléctrico (EV) es de 60% y con el MCIA y la caja de marchas el rendimiento es de 33%. (Payri, 2011).

Demanda de energía del sistema eléctrico (EV) y del MCIA está determinado por:

$$Ev = \frac{E1 \times 100}{60} \quad (4.12)$$

$$EM = \frac{E1 \times 100}{33} \quad (4.13)$$

Dónde:

Ev es la energía necesaria para el sistema eléctrico.

EM es la energía necesaria para el MCIA.

Ahorro energético:

$$AE = 100 - \left(\frac{EM \times 100}{Ev} \right) \quad (4.14)$$

Dónde:

AE es el ahorro energético del sistema eléctrico Ev.

En la tabla 27, y en la figura 60 se indican los valores de la demanda de energía considerando la demanda energética de la ruta funcionando al 100% durante 6 horas, la demanda energética para satisfacer el sistema con propulsión eléctrica (EV) es desde 415,34 MWh y con el MCIA es de 755,16 MWh; por lo tanto, el ahorro energético utilizando un sistema eléctrico para movilizarse es del 82%.

Tabla 27 Demanda de energética según el sistema de propulsión al 100% durante 6 horas.

Fuente: El Autor

Capacidad de la batería [Ah]	40	60	100	200
Demanda energética de la ruta (E1). [MWh]	249,20	166,14	99,68	49,84
Demanda energética del EV. [MWh]	415,34	276,89	166,14	83,07
Demanda energética del EM. [MWh]	755,16	503,44	302,06	151,03
Ahorro energético entre EV y MCIA (AE). [%]	82	82	82	82

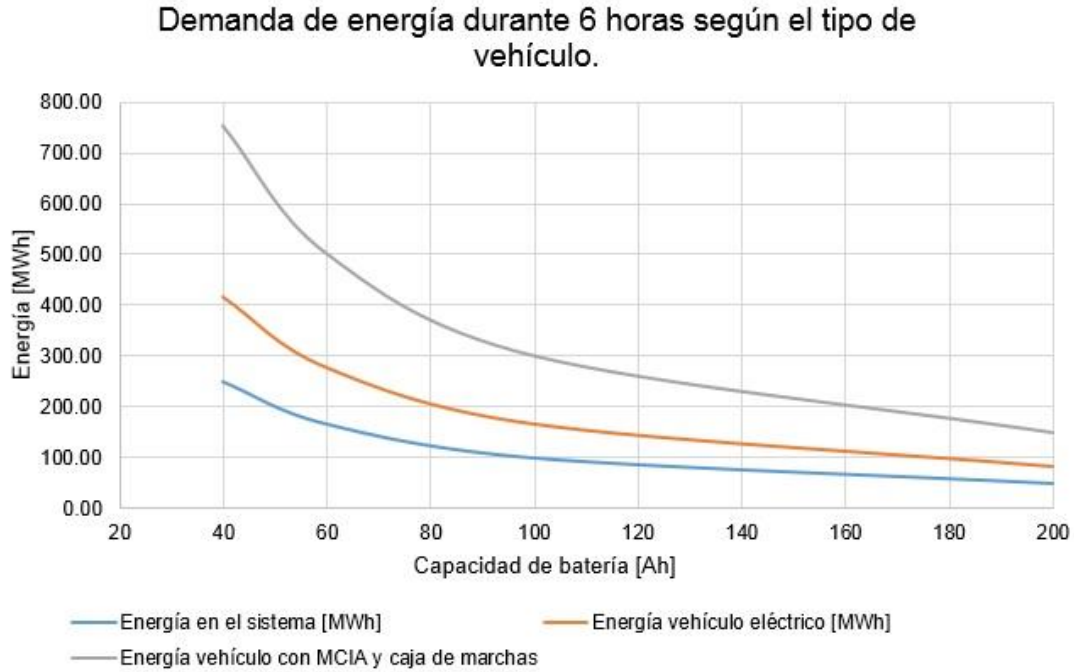


Fig. 60 Demanda de energía durante 6 horas según el tipo de vehículo.

Fuente: El Autor.

Considerando el funcionamiento del sistema durante 24 horas con el 33% de viajes dentro de la ciudad, En la tabla 28, y en la figura 61 se indican los valores de la demanda de energía considerando la demanda energética de la ruta, donde la demanda energética para satisfacer el sistema con propulsión eléctrica (EV) es desde 548,25 MWh y con el MCIA es de 996,81 MWh; por lo tanto, el ahorro energético utilizando un sistema eléctrico para movilizarse es del 82%.

Demanda de energía del sistema eléctrico (EV) y del MCIA está determinado por:

$$Ev = \frac{E3 \times 100}{60} \quad (4.15)$$

$$EM = \frac{E3 \times 100}{33} \quad (4.16)$$

Ahorro energético:

$$AE = 100 - \left(\frac{EM \times 100}{Ev} \right) \quad (4.17)$$

Tabla 28 Demanda de energética según el sistema de propulsión al día con el 33% de viajes.

Fuente: El Autor

Capacidad de la batería [Ah]	40	60	100	200
Demanda energética de la ruta (E3). [MWh]	328,95	219,30	131,58	65,79
Demanda energética del EV. [MWh]	548,25	365,50	219,30	109,65
Demanda energética del MCIA. [MWh]	996,81	664,54	398,73	199,36
Ahorro energético entre EV y MCIA [%]	82	82	82	82

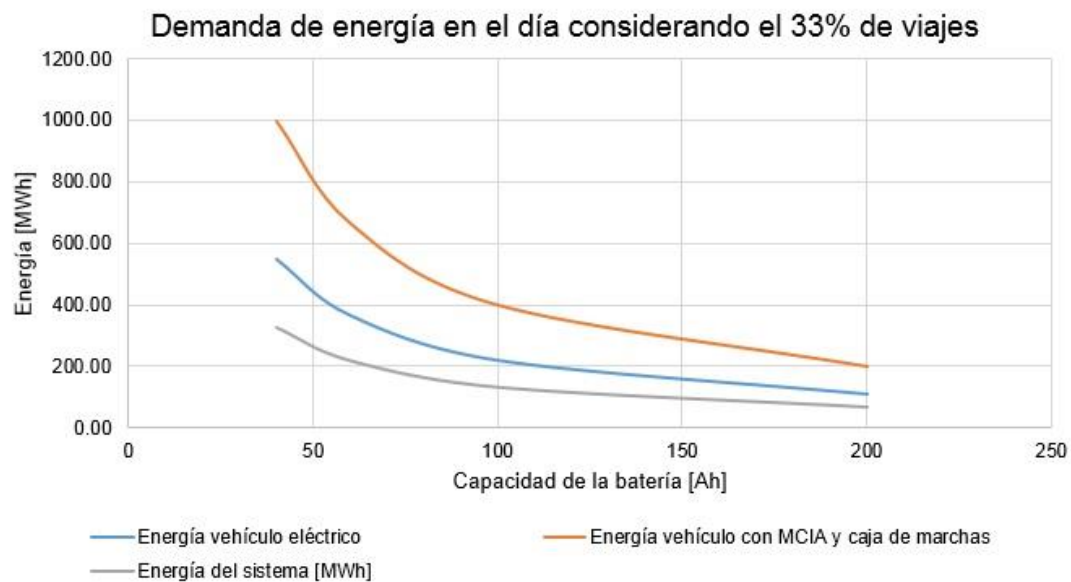


Fig. 61 Demanda de energía en el día considerando el 33% de viajes.

Fuente: El Autor.

En la figura 62 se indica la demanda de energía del sistema con un vehículo eléctrico de 276,89 MWh y la demanda de energía del sistema con un vehículo que funciona con el MCIA y caja de marchas de 503,44 MWh, donde existe un ahorro de energía del 82% en caso de utilizar el sistema de movilidad eléctrica, se indica 4 grupos de columnas cada una representa la demanda de energía y el ahorro energético según la capacidad de la batería, la misma que define la cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema.

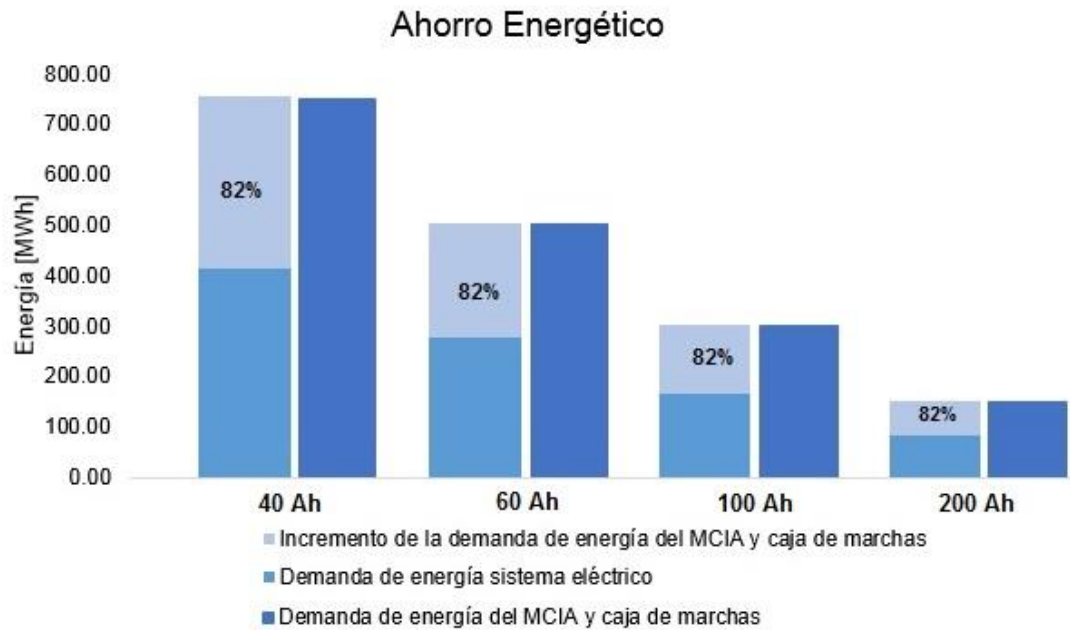


Fig. 62 Ahorro energético.
Fuente: El Autor.

4.2.2 PRECIO DE OPERACIÓN EN EL SISTEMA

La potencia necesaria para generar la carga inalámbrica de energía en un vehículo y que debe proveer la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. es de 100kW, cada vehículo dependiendo de la capacidad de la batería requiere una energía para cargar la batería y funcionar dentro del sistema, en la tabla 29 se indica la capacidad de la batería, la energía necesaria por vehículo, el precio de operación, el tiempo de circulación y la cantidad de kilómetros en la ruta, en la zona comercial en la ciudad es de 0,12 dólares el kWh. En caso de que la batería se cargue por completo puede generar una autonomía de 90 km aproximadamente; por lo que, en total el vehículo puede recorrer 145,16 km por ese precio.

Tabla 29 Valores de consumo de energía y precio por vehículo.

Fuente: El Autor

Capacidad [Ah]	Energía [kWh]	Precio por kWh [Dólares]	Precio total en 1 hora	Tiempo máximo en la ruta [h]	Energía total consumida en la ruta [kWh]	Valor total de consumo [Dólares]	Recorrido total [km]
40	6,14	0,12	0,74	2,13	13,1	1,6	55,16
60	9,22	0,12	1,1	2,13	19,6	2,4	55,16
100	15,36	0,12	1,8	2,13	32,72	3,9	55,16
200	30,72	0,12	3,7	2,13	65,43	7,9	55,16

4.3 CONDICIONES CRÍTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Las condiciones más desfavorables que posiblemente se generen en el funcionamiento del sistema son: Vehículos con mayor peso, porque la demanda de energía será mayor, y las características del cubrimiento de la ruta cambiarán, aumento en la cantidad máxima de vehículos en la ruta, esto provocará que el sistema de energía eléctrica se sature y se corte el servicio, para eso el vehículo tendrá que utilizar la carga almacenada en las baterías, cortes de energía debido a accidentes de tránsito.

4.3.1 VARIACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA SEGÚN LA MASA

En la tabla 30 se indica la demanda de energía según el aumento de masa en el vehículo, se realiza el análisis incrementando la masa hasta 4.000kg, puesto que se trata de un vehículo liviano y se consideran los ocupantes más equipaje.

Tabla 30 Valores de aumento de demanda de energía según la masa.

Fuente: El Autor

Energía por ruta [kWh]							
Ruta \ Masa [kg]	1000	1250	1500	2000	3000	3500	4000
1	1.75	2.17	2.59	3.43	5.10	5.94	6.78
2	1.81	2.24	2.68	3.54	5.28	6.14	7.01
3	1.89	2.33	2.78	3.68	5.48	6.38	7.27
4	2.56	3.12	3.69	4.81	7.07	8.20	9.33
5	1.82	2.25	2.69	3.56	5.30	6.17	7.05
6	5.73	7.03	8.34	10.96	16.20	18.81	21.43
7	3.19	3.93	4.68	6.17	9.14	10.63	12.12

En la figura 63 se observa el comportamiento del aumento de demanda de energía según la masa.

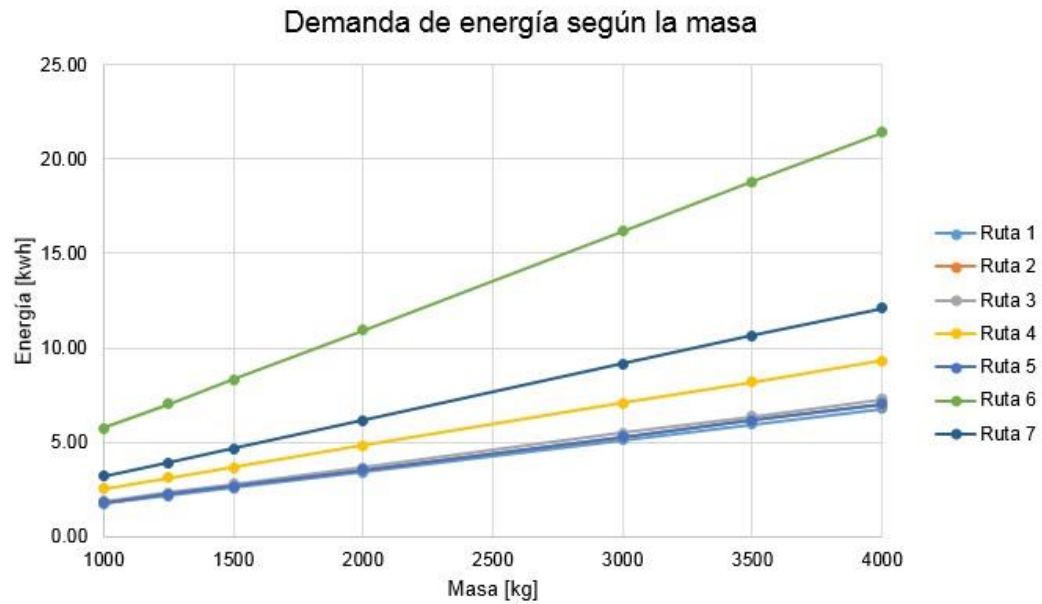


Fig. 63 Aumento de demanda de energía según la masa.

Fuente: El Autor.

En la figura 64 se indica la demanda de energía según la masa para cada ruta; por lo que, se debe hacer el análisis del diagrama de cubrimiento para determinar si el motor eléctrico y caja de marchas satisfacen la demanda de energía.

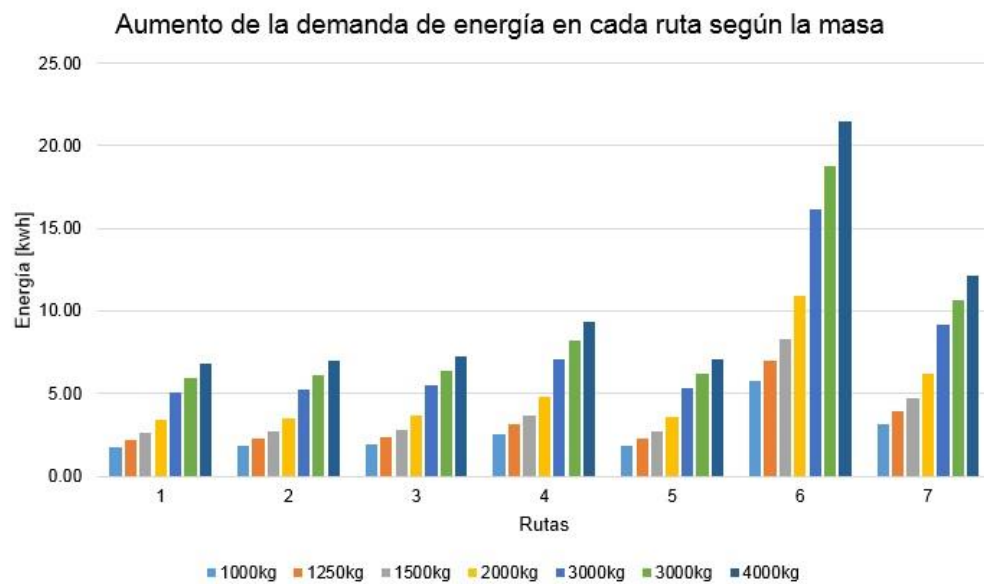


Fig. 64 Demanda de energía según la masa para cada ruta.

Fuente: El Autor.

4.3.2 DIAGRAMA DE CUBRIMIENTO PARA UNA MASA DE 3.000KG

En la figura 65 se indica el diagrama de cubrimiento con una masa de 3.000 kg, debido a que en caso de superar los 3.500kg ya no se considera un vehículo liviano; según el diagrama el vehículo no podrá superar una pendiente de 30°, puesto que cubrirá una pendiente de 25° a una velocidad desde 0 a 35km/h; por lo que, se podrían realizar modificaciones en las prestaciones del motor eléctrico, o en la caja de marchas.

El motor eléctrico AC3 y la caja de marchas son capaces de mover al vehículo con una masa de 2800kg, y así podrá superar una pendiente de 30°, en la figura 66 se indica que se puede superar dicha pendiente con una velocidad de 0 a 10km/h. El funcionamiento del vehículo en el carril (bajo las características del motor seleccionado) se limita en el peso bruto vehicular (PBV) a 2.800 kg, entonces el motor eléctrico y la caja de marchas satisfacen las necesidades.

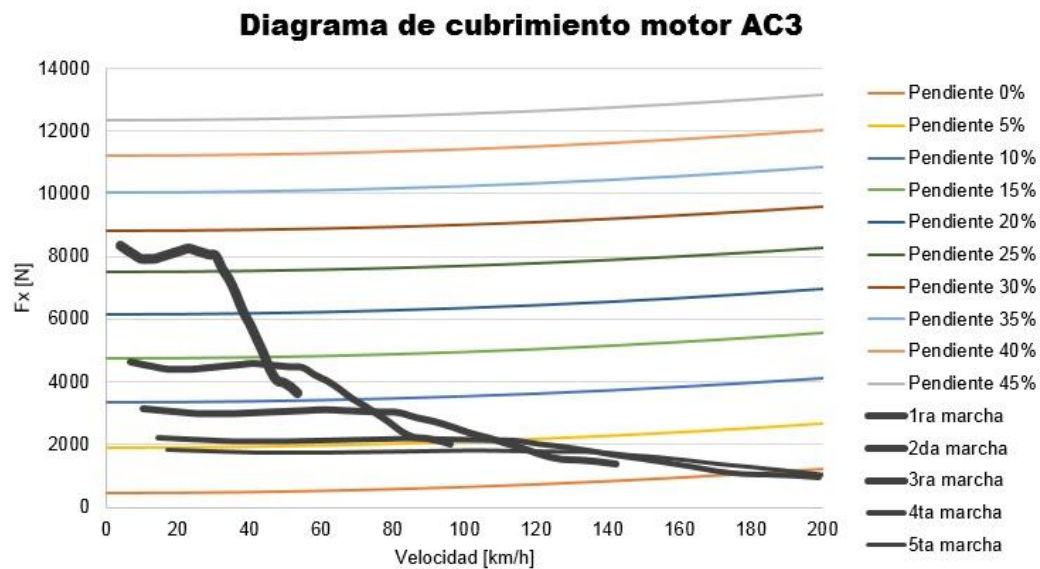


Fig. 65 Diagrama de cubrimiento para 3.000kg.

Fuente: El Autor.

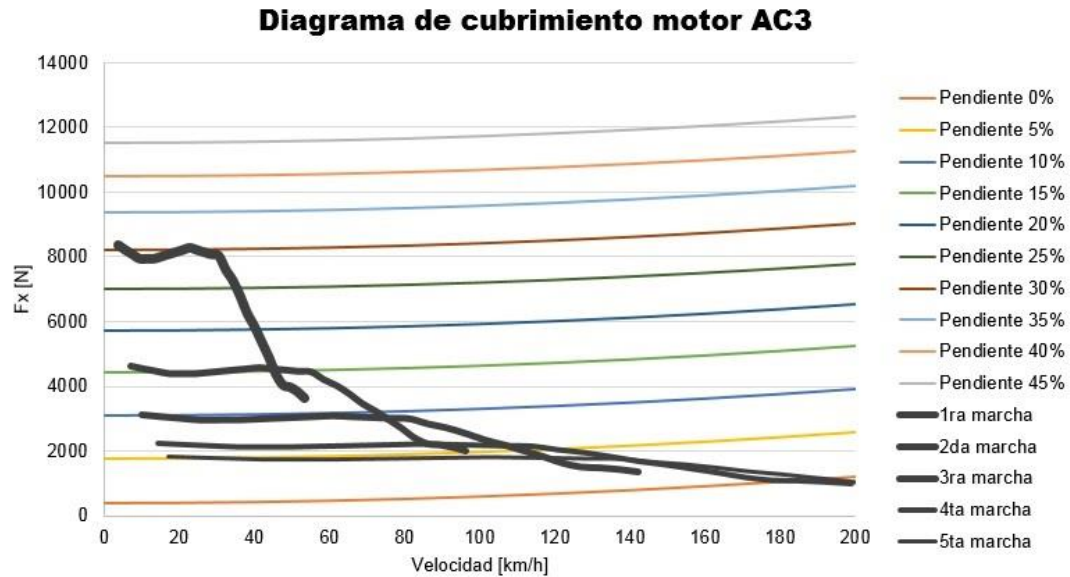


Fig. 66 Diagrama de cubrimiento para 2.800kg.

Fuente: El Autor

4.4 CONCLUSIONES

En la Ciudad de Cuenca la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A es la encargada de abastecer de energía eléctrica a su población, mediante la red de distribución que consta de subestaciones y alimentadores. En el caso de instalarse el sistema de movilidad alternativo, la empresa debería abastecer de energía al carril por donde circularán los vehículos, para el caso y considerando que en las rutas propuestas existen ocho subestaciones que pueden trabajar aportando 58.663 kW, de los cuales el 60% se utilizan para el sistema 35.198kW de potencia, que permite circular desde 1.146 a 5.729 vehículos, considerando que la carga de energía es inalámbrica mediante inducción y que tiene un consumo de 100kWh y la batería tiene una capacidad de 200 Ah y 40Ah.

Se utilizan en los vehículos paquetes de baterías de Litio que tienen una capacidad de 40 Ah, 60 Ah, 100 Ah y 200 Ah, y con un voltaje de 153,6 V, de dicha capacidad depende la cantidad de vehículos en el sistema, debido a que menor capacidad de la batería mayor cantidad de vehículos y a mayor capacidad menor cantidad de vehículos.

En la ruta número 6 con una distancia de 55,16 km se pueden tener 8.458 vehículos considerando separación entre ellos e intersecciones, estableciendo una distancia ocupada por los vehículos de 33,83 km; en el caso de una distancia de la ruta de 16,75 km se pueden tener 2.568 vehículos con una distancia de 10,27 km; entonces al considerar las distancias máximas

y cantidad de vehículos máxima que es de 5.729 vehículos, indica que dentro de la ruta con mayor distancia caben todos los vehículos que satisface el sistema.

La energía necesaria para que circule el vehículo por la ruta durante 1 hora es desde 6,14 kWh hasta 30,72 kWh a un costo de 0,12 dólares el kWh, y en caso de completar la ruta número 6 de 55,16 km en un tiempo de 2,13 h el valor será de 1,6 y de 7,9 dólares; ocasionando que, en caso de que la batería se cargue completamente el vehículo recorrerá 90 km más fuera de la ruta.

En la tabla 31 se indica la demanda de energía en cada una de las consideraciones de operación.

Tabla 31 Demanda energética según el funcionamiento del sistema.

Fuente: El Autor

Demanda de energía al 100% de funcionamiento durante 6 horas (E1)					Demanda de energía al 100% de funcionamiento con el 33% de viajes (E3)			
Capacidad de la batería [Ah]	40	60	100	200	40	60	100	200
Demanda de energía de la ruta. [MWh]	249,20	166,14	99,68	49,84	328,95	219,30	131,58	65,79
Demanda de energía con sistema eléctrico EV. [MWh]	415,34	276,89	166,14	83,07	548,25	365,5	219,39	109,65
Demanda de energía con MCIA. [MWh]	755,16	503,44	302,06	151,03	996,81	664,54	398,73	199,36

De la demanda de energía que genera el MCIA con caja de marchas y de la demanda de energía que genera el sistema de eléctrico se determina que al utilizar un sistema de movilidad eléctrico se obtiene un ahorro energético del 80%.

En la tabla 32 se indica la cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema dependiendo de las características de utilización de las rutas, se considera que el sistema trabaja al 100% durante 6 horas, durante 24 horas o con el 33% de viajes dentro de la ciudad. La cantidad máxima de vehículos que puede soportar el sistema durante un día es de 137.491.

Tabla 32 Cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema.

Fuente: El Autor

Cantidad de vehículos que pueden funcionar en el sistema por día.				
Capacidad de la batería (C) [Ah]	40	60	100	200
Número de vehículos en el sistema funcionando al 100% durante 6 horas (N3)	34.373	22.915	13.749	6.875
Número de vehículos en el sistema 24 horas funcionando al 100% (N4)	137.491	91.661	54.997	27.498
Número de vehículos en el sistema con el 33% de viajes dentro de la ciudad. (N5)	45.375	30.248	18.149	9.074

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chalco, J.G.I., 2010. Determinación del área de influencia de la subestación # 8 y diseño preliminar de alimentadores Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 23274:2013. (2013).
- Payri. F, Desantes. J.M., 2011. Motores de combustión interna alternativos. Editorial Revert SA. Universitat Politècnica de Valencia. España.

Capítulo V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La energía necesaria para que un vehículo se movilice autónomamente, se analiza desde las características dinámicas. De esta forma se determina la fuerza indispensable en la rueda para producir el movimiento, luego se determinan las prestaciones del sistema de propulsión, como es el torque y la potencia, que permitirán, mediante una caja de marchas cubrir las exigencias de la ruta por donde circulará el vehículo; siendo así y considerando las necesidades de transportar personas y mercancías dentro de las ciudades, es importante analizar las condiciones que debe tener un vehículo para disminuir la demanda de energía.

5.1. CONCLUSIONES

- El 94% de la energía primaria que se produce en el Ecuador proviene de combustibles fósiles, aportando el petróleo con un 90%, el 4% es producción hidráulica, de la energía de origen fósil el 49% es demandada por el transporte, dividiéndose a su vez: el 43% de la energía es de combustible diésel y el 44% de gasolinas. El consumo de energía eléctrica para el transporte es del 0,001% casi nula, siendo por el momento el trolebús en la ciudad de Quito el único consumidor. Se ha utilizado para el año 2012 solamente en el transporte 46.050 KBEP equivalente a 78.290 GWh, con un aumento anual aproximado al 2%, a su vez el 32% consumieron los vehículos de carga liviana y el 37% los de carga pesada.
- En el País para el año 2014 existen matriculados 1'752.712 vehículos y en la Provincia del Azuay fueron 105.178, de donde 87.087 vehículos funcionan con gasolina, en la ciudad de Cuenca se tienen 76.745 vehículos livianos matriculados y se consumen 53'888.314 galones de gasolinas, generando un consumo anual de 702 galones por vehículo liviano, y un consumo de energía de 1.677 GWh por año, entonces el consumo de energía por vehículo es de 21.853 kWh por año.
- El tamaño de la muestra se basó en obtener una energía significativa en la ruta con el 95% de intervalo de confianza entre cada ruta y determinando la varianza entre diez valores de energía obtenidos, con eso se obtiene el número de repeticiones que se debían medir con el GPS en cada ruta, un nivel de confianza del 99%; por lo que, el tamaño de la muestra fue de 8 por cada ciclo, sin embargo se realizaron diez muestras para garantizar que los resultados de la demanda energética sean significativos.
- Las características de las rutas propuestas se basan en el modo de viaje más utilizado en la ciudad, que es el privado con un 33%, la tendencia de uso de vehículos privados y las zonas que generan la mayor cantidad de viajes privados son: el Centro Histórico y El Ejido. Los viajes con destino Centro Histórico por día en modo de transporte privado son 33.274; los viajes hacia

El Ejido de 45.030 por día en modo privado, también se analiza la cantidad de viajes que se realizan desde el Centro Histórico hacia la periferia de la ciudad, en donde se generan 48.797 viajes por día y la zona de El Ejido como punto de partida se originan 60.809 viajes por día, esto debido a que son centros de comercio, y el motivo principal para transportarse en la ciudad es el trabajo con un 33%.

-Las rutas propuestas cumplen los requisitos para que el sistema resulte eficiente y operable, puesto que las condiciones de las vías para que vehículos eléctricos funcionen dentro de la ciudad y presten todas las facilidades de movilización que requiere el usuario son adecuadas; las condiciones de la vía brindan un nivel de servicio alto, donde las características geométricas son las apropiadas, el estado de la vía, la capa de rodadura es favorable. Las vías colectoras y arteriales tienen la capacidad y condiciones para satisfacer las necesidades; también es importante considerar, que a dichas vías se puede acceder fácilmente desde las carreteras expresas que rodean la ciudad y desde las vías locales, logrando con esto una conexión vial que facilita la distribución del tráfico y permite el acceso a puntos importantes de trabajo y comercio en la ciudad.

-La ruta con mayores exigencias permite una velocidad promedio de 26,13 km/h, una velocidad máxima de 93,5 km/h, una aceleración máxima de 15,17 m/s², un tiempo de recorrido de 2,13 horas una distancia de 56,16 km/h y con una pendiente máxima de 17°.

- Las características operativas del tren motriz para vehículos livianos que se propone tiene las siguientes características: motor eléctrico con una potencia pico de 76,4 kW, un torque de 180 Nm y 6500 rpm y con un voltaje de 96 – 144 V, que tiene un rendimiento del 89%, y acoplado a una caja de marchas con una relación de transmisión final en primera velocidad de 14,02:1 hasta quinta velocidad de 3,10:1, permiten velocidades desde 0 – 114 km/h, pueden desplazar un PBV de hasta 2.800 kg. Para esto se ha considerado las especificaciones del vehículo liviano típico: diámetro de la rueda, el área frontal del vehículo, el coeficiente de resistencia al aire característico de un vehículo liviano y las condiciones de la ruta.

- El tren motriz considerado permite que el vehículo cubra todas las exigencias de las rutas, ya que se analizó, en la ruta con mayor demanda de torque y potencia el comportamiento del vehículo, mediante un diagrama de cubrimiento Fig. 51, donde se observa que se puede superar las pruebas de capacidad de arranque en pendientes (startability) y de la habilidad de ascenso en pendientes (gradeability).

- La Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. tiene la capacidad para proveer de energía al sistema de movilidad alternativo, puesto que las subestaciones que prestan la energía se encuentran dentro de las rutas o muy cercanas a ellas, y como el sistema está interconectado en forma de anillo, en el caso de que una subestación falle otra subestación satisface la

demanda de energía. Dentro de las rutas propuestas existen ocho subestaciones con sus respectivos alimentadores, que generan una potencia entre todas de 190 MVA y el consumo máximo registrado que se produce durante todo el año es en el mes de diciembre es de 131,3 MVA, generando una reserva de 58,7 MVA que puede ser entregada al sistema de movilidad alternativo, considerando que existe un 40% de reserva para designar a otros usuarios, entonces la energía disponible para el funcionamiento del sistema de movilidad alternativo es de 35.198 kW.

- Considerando que la ruta con máxima demanda de energía es de 7,25 kWh para su funcionamiento por vehículo, y se pueden entregar 35.198 kW, y que durante 24 horas al 100% del funcionamiento del sistema se tienen 137.491 vehículos, indica que la capacidad máxima de vehículos dentro del sistema por hora es de 5.729; entonces la demanda de energía para satisfacer el sistema es de 6.144 Wh, considerando una batería de 40 Ah, y también se consideran las pérdidas en la transmisión de energía hasta la rueda que es el 60%.

- Las políticas gubernamentales consideran una tarifa para la carga de vehículos eléctricos como se indica en el documento emitido por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad en *El Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas*, para el periodo enero – diciembre de 2016, donde el consumo permitido será para equipos que tenga una potencia de hasta 10 kW, entonces el costo en tarifa comercial sería de 1,2 dólares para recorrer 140 km, siendo un sistema de movilidad económico y rentable para los usuarios.

- Luego de haber realizado el análisis energético de un sistema de propulsión eléctrico alternativo para movilidad en el cantón Cuenca, se han cumplido con los objetivos de: Cuantificar el consumo de gasolina en vehículos livianos que funcionan con tecnología convencional en el cantón Cuenca, establecer la demanda de energía eléctrica para satisfacer un sistema alternativo de propulsión eléctrico para movilidad en el cantón; analizar las características del tren motriz para vehículos livianos, proponer una ruta de conducción para que el sistema resulte eficiente y operable, así determinar el número de vehículos que funcionen dentro del carril específico del sistema, para que el proyecto resulte viable.

- Si bien el funcionamiento del sistema con una demanda energética de 7,25 kWh genera un costo máximo de 7,9 dólares, hay que considerar que mientras el vehículo se desplaza por la ruta, la batería se ira cargando y a la vez el automóvil recorre un trayecto, entonces podrá circular los 50 km de una de las rutas y cargar la batería; en el momento que sale del sistema puede recorrer 90 km más, generando un total de 140 km de recorrido. Se debe considerar que la disminución en el consumo de gasolinas y en emisiones contaminantes generadas disminuirá; por lo que, en caso de tener la capacidad de consumir menos energía para el funcionamiento el sistema, es recomendable.

- Se puede instalar en un vehículo liviano el sistema eléctrico de propulsión, puesto que se utilizan partes del mismo vehículo como es la caja de marchas, el sistema de la dirección, el sistema de frenos, convirtiéndose en una excelente opción, ya que disminuye el costo en los mantenimientos, realizando menos cambios de aceite de motor, y menos partes que reponer.

5.2 RECOMENDACIONES

- Utilizar un vehículo liviano, en vista de que el tamaño del vehículo permitirá una movilización adecuada por la ciudad, tendrá capacidad para cinco personas y podrá llevar equipaje de mano, como las rutas propuestas son para circular por la ciudad y prestar un servicio dinámico, no es necesario vehículos más grandes.

- Las características del motor eléctrico permiten que se adapte al vehículo liviano, generando un consumo de energía capaz de mantener una autonomía de carga de las baterías fuera de la ruta de 90 km, rango suficiente para movilizarse a otros lugares de la ciudad, en caso de requerir carga el vehículo podría ingresar nuevamente al sistema continuando por una ruta que le permita dirigirse al lugar de destino y dispondrá nuevamente de una carga en la batería para desplazarse fuera del sistema, entonces es recomendable utilizar el motor eléctrico con una caja de marchas con las mismas características que las indicadas.

- La disminución de contaminantes podría determinarse como una continuación de este trabajo. Cuenca sería la primera ciudad del país en proponer otra modalidad de transporte que beneficie al sector de vehículos privados y al servicio de taxis.

- En el Ecuador los vehículos eléctricos tendrán 0% de aranceles, IVA e ICE, siempre que su precio sea menor a 35.000 dólares y los usuarios de dicho sistema accederán a una tarifa diferenciada en el costo de la energía eléctrica, mediante la implementación de este sistema se pueden convertir los vehículos que funcionan con MCIA a eléctricos generando un cambio en la tecnología aplicada en los vehículos, para las ciudades de Quito y Guayaquil que tienen el mayor número de autos en el país y debido a la extensión de la ciudad, los recorridos en vehículos por motivo de trabajo son mayores, el sistema de movilidad alternativo puede ser una buena opción puesto que, en el caso de Quito que tiene una extensión de 60 km aproximadamente, la autonomía de las baterías será suficiente para satisfacer la movilidad y en el caso de la ciudad de Guayaquil con una extensión de 30 km aproximadamente de norte a sur, también satisface las necesidades y en caso de requerir cargar las baterías y mejorar la autonomía.

- La capacidad de las baterías determina la cantidad de vehículos en el sistema y la demanda de energía, es recomendable utilizar las baterías de litio que se analizaron, puesto que son más livianas, tienen una densidad energética elevada y existen en el mercado, también se pueden utilizar otros tipos de baterías pero se debe tomar en cuenta que la masa del vehículo cambiara

y posiblemente el motor eléctrico debe ser reemplazado para que pueda superar las exigencias de las rutas.

- Transformar un vehículo con MCIA a vehículo eléctrico es factible puesto que, existen guías y manuales para llevar a cabo el proyecto, también se puede encontrar en el mercado los materiales necesarios, lo que se debería analizar si los costes de transformación convienen al usuario, pero en gasto energético y de mantenimientos es recomendable.

- La electrónica que se debe aplicar en el sistema debe ser analizada en otro proyecto, puesto que, para este trabajo no se consideró las variables que intervienen en el control de las baterías y el motor eléctrico.

- El sistema de alimentación de energía hacia el vehículo no está completamente desarrollado; por lo que, es posible una mejora notable en dicha tecnología donde la potencia necesaria para el sistema inalámbrico de paso de electricidad pueda ser menor y con eso disminuye el costo de operación.

- Dependiendo de la capacidad de las baterías y de la demanda de energía del sistema se determina el número de vehículos que pueden funcionar en el sistema, se eligió las baterías de Litio puesto que existen en el mercado y son las más livianas y con mejor densidades energéticas.

- El análisis energético de un sistema de propulsión alternativo se realizó considerando las características teóricas de un vehículo liviano, se puede realizar otro análisis semejante con un modelo específico de vehículo, en donde se podrán determinar con exactitud las características de dinámica longitudinal y con esto obtener valores de la demanda energética con mayor exactitud.

- La forma de realizar el control de utilización y consumo de energía dentro del sistema, para abonar al usuario el precio de consumo invita a realizar un estudio específico sobre el tema, puesto que en este proyecto no considera dicho parámetro.

- De las siete rutas propuestas sería adecuado determinar el ciclo de conducción, con la finalidad de conocer tiempos y velocidades en las diferentes zonas y es necesario controlar o medir el consumo de combustible del MCIA, para de esta manera determinar con precisión el consumo de energía.

- Las características de las baterías influye en la masa del vehículo y la autonomía que tiene, es recomendable hacer un análisis profundo del comportamiento de las baterías, para establecer de mejor manera las mejoras en autonomía y consumo de energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Anon, 2013. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 23274:2013.
- Aparicio Izquierdo, Francisco. Teoría de los vehículos automóviles. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Diciembre 1995.
- Arellano, C.V., 2013. Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y diesel. , p.185.
- Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador, 2015. El Petróleo en Cifras 2014.
- Atabani, a. E. et al., 2011. A review on global fuel economy standards, labels and technologies in the transportation sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9), pp.4586–4610.
- B. Energ, “2013 Series históricas,” 2013.
- BAE, JH. Korea gallops ahead in a race for dynamic on-the-go wireless charging EV system. 2013. Recuperado de <http://itersnews.com/?p=44874> (2013, agosto 20)
- Barlow, T. et al., 2009. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. , p.280.
- C. V. Arellano, “Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y Diésel,” p. 185, 2013.
- Castillo Mondragón, F. X., & Torres Brito, A. A. (2011). Análisis De Rendimiento, Consumo Y Emisiones Generadas Por Los Vehículos Híbridos.
- Cevallos, J., 2015. Estimación del consumo de combustibles en el transporte terrestre en Ecuador. , pp.1–17
- Chalco, J.G.I., 2010. Determinación del área de influencia de la subestación # 8 y diseño preliminar de alimentadores Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.
- Crean una tecnología inalámbrica para recargar coches eléctricos que circulan por la autopista. Recuperado de <http://www.rtve.es/noticias/20120215/crean-tecnologia-inalambrica-para-recargar-coches-electricos-circulan-autopista/498088.shtml> (2012, febrero 15).
- Emov Ep, R.D.M.D.L.C.D.A.D.C., 2014. Resumen del inventario de emisiones atmosféricas del cantón Cuenca, año 2011. Cuenca-Ecuador, (Diciembre 2014).
- EMOV, 2014. Rendición de Cuentas 2014.
- EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS) 2016. Dynamometer Drive Schedules - files contain tab delimited ASCII columns Recuperado de: Recuperado de: <http://www3.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm> (2015, marzo 02)

- EPA Vehicle Chassis Dynamometer Driving Schedules (DDS) 2016. Testing and Measuring Emissions. Recuperado de: <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm> (2015, marzo 03)
- Evatran, 2014. The smarter way to charge your ev.
- F. de la E. de la C. de Madrid., "Guía del Vehículo Eléctrico," Energy Manag. Agency.
- Faria, R. et al., 2012. A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system. , 61, pp.19–30.
- Fepo, L., 2015. Como se relacionan la potencia, el peso y la velocidad.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2013. Guía del Vehículo Eléctrico. Energy Management Agency.
- Gabriel-Buenaventura, A., & Azzopardi, B. (2015). Energy recovery systems for retrofitting in internal combustion engine vehicles: A review of techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 955–964. doi:10.1016/j.rser.2014.08.083
- GAD Municipal, 2014. Categorización de la demanda de transporte de Cuenca.
- GPSmap® 60CSx. Recuperado de <https://buy.garmin.com/es-ES/ES/fitness-y-outdoor/descatalogados/gpsmap-60csx/prod310.html> (2015, diciembre 25).
- INEC, 2014. Anuario de Estadísticas de Transportes INEC 2014. , p.198.
- Kit Autolibre AC3. 2015. Manual completo de conversión de vehículos eléctricos, (2016, febrero 01). Recuperado de <http://www.autolibreelectrico.com/archives/369>
- Kit Autolibre AC3. 2015. Motor de 60 Hp (equivalente a motor de combustión de 80 Hp) y Controlador Electrónico Curtis de 72 V a 108 V. Recuperado de: <http://www.autolibreelectrico.com/archives/651> (2015, diciembre 18)
- Kit Autolibre AC3. 2015. Motor de 78 a 92 Hp (equivalente a motor de combustión de 110 Hp) y Controlador Electrónico Curtis de 96 V a 144 V. Recuperado de: <http://www.autolibreelectrico.com/archives/651> (2016, enero 20)
- Laborde, E.S., 2015. Transferencia Inalámbrica de Energía para Sistemas de Bajo Consumo Utilizando Resonancia Magnética Fuertemente Acoplada.
- Llegan los primeros carriles de recarga inalámbrica para coches eléctricos. Recuperado de <http://www.abc.es/tecnologia/noticias/20150819/abci-carril-recarga-inalambrica-coches-201508191846.html> (2015, agosto 19).
- Loomans, Taz. 2013. Germany Testing Wireless Induction Charging for Electric Buses. Recuperado de: <http://inhabitat.com/wireless-induction-charging-for-electric-vehicles-to-be-tested-on-german-buses/primove-induction-charging-2/> (2015, marzo 05)
- Marín, P., 2013. Aplicación software para la simulación del funcionamiento energético de vehículos eléctricos.
- Markel, T.S.A., 2006. Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design Preprint. Renewable Energy.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013. Balance Energético Nacional 2013.

- Ministerio del Ambiente, 2014. Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato , Riobamba , Santo Domingo de los Colorados , Latacunga , Ibarra , Manta , Portoviejo , Esmeraldas y Milagro.
- Ministerio Energía Ecuador, 2014. Ministerio Energía Ecuador. 24 de Octubre de 2014. Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/programas-y-servicios> . Sistema de Transmisión 500 kV, (2014, Octubre 02).
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO 23274:2013. (2013).
- NTE INEN 2656, 2012. Norma Técnica Ecuatoriana 2656, 2012.
- O. T. de la Energía, “Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica,” pp. 20–20, 2012.
- Observatorio Tecnológico de la Energía, 2012. Mapa Tecnológico Movilidad Eléctrica. , pp.20–20.
- Payri, F, Desantes. J.M., 2011. Motores de combustión interna alternativos. Editorial Revert SA. Universitat Politècnica de Valencia. España.
- Principios básicos de la transmisión inalámbrica de energía y fórmulas de desarrollo. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13587/PFG%20ANEXO%20DOC%20TECNICA.pdf?sequence=3> (2016 marzo 17).
- Sears & Zemansky, 2009. Física universitaria, 1. Décima segunda edición. Volumen 1. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México.
- Suzuki Motor Co, Ltda, 1988, “Manual del propietario”
- T. Markel and a Simpson, “Plug-In Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design Preprint,” Renew. Energy, no. May, 2006.
- Tecnol, A. & Medell, G., 2012. Normatividad sobre Vehículos Eléctricos.

ANEXOS

Anexo 1

ESTADÍSTICA DE RTV ANUAL EN 1RA RTV DE MANERA GENERAL- GENERADA DESDE SISTEMA INFORMATICO DE RTV										
Intensidad	Categoría	Tipo	Clase	Observación	2008	2009	2010	2011	2012	2013
INTENSIVO (RTV SEMESTRAL) - PÚBLICOS Y COMERCIALES	LIVIANO	AUTOMOVIL	TAXI		273	1141	2524	2894	3185	3344
		CAMIONETA	CAMIONETA	DMT CARGA LIVIANA	66	78	156	167	184	254
		CAMIONETA	CAMIONETA	DMT CARGA MIXTA	27	31	72	86	95	142
		FURGONETA	ESCOLAR		167	230	440	476	517	523
		FURGONETA	TURISMO		12	34	67	98	93	199
	PESADO	BUS	INTERCANTONAL Y PROVINCIAL		45	67	203	402	685	798
		BUS	ESCOLAR		17	20	38	36	40	88
		BUS	INTERPARROQUIAL		22	28	35	50	42	116
		BUS	TURISMO		4	7	8	10	7	13
		BUS	URBANO		17	230	430	396	453	449
		CARGA	PARTICULAR	LIVIANA Y PESADA	334	573	1771	2125	2525	2761
		CARGA	PESADA	ALQUILER	28	24	57	41	49	53
		CARGA	LIVIANA	ALQUILER	77	170	424	528	656	740
		MICROBUS	PARTICULAR		3	6	12	15	16	18
		MICROBUS	ESCOLAR		17	21	39	38	41	37
		MICROBUS	TURISMO		1	4	3	4	4	3
REGULAR (RTV ANUAL) - PARTICULARES	ESPECIAL	HIBRIDO			2	96	349	417	491	570
	LIVIANO	AUTOMOVIL			5023	22679	50336	53132	55747	58469
	LIVIANO	CAMIONETA			2119	7624	18712	18839	19020	19552
	LIVIANO	FURGONETA			269	468	1050	1160	1163	1270
	OTROS	MOTOCICLETA			478	1173	3140	4673	4608	5888
	PESADO	BUS			8	7	6	2	0	0
	PESADO	CARGA PESADA			23	12	46	49	38	42
	PESADO	CARGA LIVIANA			4	13	55	56	50	44
	PESADO	FURGONETA			0	2	5	4	3	3
	PESADO	MICROBUS			3	3	3	1	1	1
TOTAL ESTIMADO DE VEHÍCULOS PRESENTADOS A LA RTV POR AÑOS					9.039	34.741	79.981	85.699	89.713	95.377
TOTAL VEHÍCULOS QUE PESE A PRESENTARSE NO APROBARON LA RTV					873	1.264	1.916	2.472	2.559	2.312
TOTAL VEHÍCULOS QUE APROBARON LA RTV					8.166	33.477	78.065	83.227	87.154	93.065

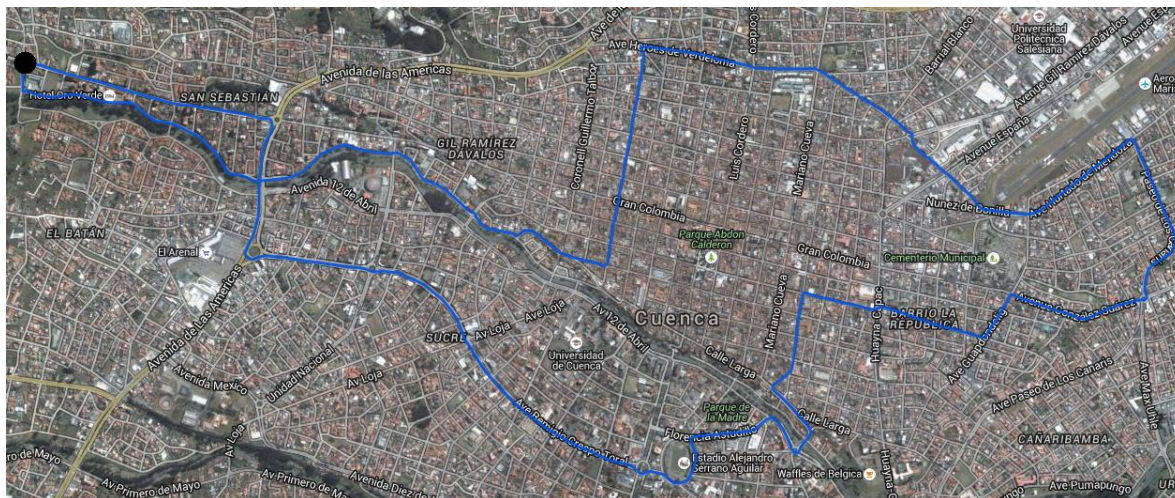
Realizado: Ing. Oscar Tinoco V.- RTV EMOV EP

Tabla 1. Estadística de RTV anual en 1ra revisión.
Fuente: Ing. Oscar Tinoco V.- RTV EMOV EP

Anexo 2

RUTAS:

Ruta 1.



Gráfica 1. Ruta 1

Fuente: (El Autor)

Punto de inicio Av. Ordoñez Lasso continúa hasta el redondel Eloy Alfaro, derecha Av de Las Américas hasta el redondel de la feria libre, bajando toda la avenida Remigio Crespo Toral, pasando el redondel de la Av. Solano se conecta con la Av. Del Estadio hasta la Florencia Astudillo continúa hasta la Av 12 de Abril, circunvala el redondel José Peralta para subir a Todos Santos y continúa por la calle Vargas Machuca hasta la Mariscal Sucre y girar a mano derecha hasta llegar a la Av. Huayna Capac; luego girar izquierda y tomar la Calle Juan José Flores hasta llegar a la Av. Guapóndelig y girar izquierda hasta llegar a la Av. González Suárez, luego girar derecha y bajar por la Av. González Suárez hasta el redondel para circunvalar hacia la izquierda por la Av. Paseo de los Cañaris y continuar en la misma Avenida, hasta la Av. Hurtado de Mendoza y girar hacia la izquierda y continuar por la misma Avenida por la derecha llegando a unirse con la Av. Nuñez de Bonilla hasta llegar a la intersección con la Avenida Sebastián de Benalcázar y continuar por la misma Sebastián de Benalcázar hasta llegar a la Av. Héroes de Verdeloma y continuar por la misma hasta donde era la cárcel de varones, se gira hacia la izquierda tomando la Calle Juan Montalvo (donde está el Colegio Federico Proaño) y continuar hasta la Calle Presidente Córdova y girar hacia la derecha por la misma calle hasta llegar a la Avenida Tres de Noviembre, y continuar hasta el final llegando al Colegio Ciudad de Cuenca y girar hacia la derecha en la Av. De los Cerezos para empatarse nuevamente con el lugar de inicio y fin del Ruta que es Av. Ordoñez Lasso.

Ruta 3.

Gráfica 3. Ruta 3

Fuente: (El Autor)

Inicia en la Av. 1ro de Mayo Sector Misicata, continuando hasta el Redondel del Tres Puentes, circunvalando el mismo para dirigirse por la Av. Solano y llegar hasta el redondel del Estadio, girar derecha por la Av. Del Estadio circunvalar hasta llegar a la Av. Florencia Astudillo y continuar por la misma hasta llegar al Redondel José Peralta, circunvalar izquierda para continuar por la subida a Todos Santos, inmediatamente se gira derecha para llegar a la Calle Larga y continuar por la misma hasta salir a mano izquierda por la Paseo de Los Cañaris y continuar por la misma hasta llegar a la Av. Hurtado de Mendoza, girar izquierda continuado por la misma, luego se llega a la Av. Guapondelig y se gira a la izquierda y se continúa por la misma hasta llegar a la Av. Viracochabamba y girando a la derecha se continua por la Honorato Vázquez hasta llegar a la Calle Luis Cordero girando a la derecha. Se llega hasta la Calle Presidente Córdova se gira a la izquierda y se continúa por la misma hasta llegar a la Av. Tres de Noviembre, se circunvala a la izquierda el redondel de los corazones, se cruza el puente he inmediatamente se gira a la derecha por la Av. 12 de Abril hasta llegar a la esquina del Coliseo y se gira a la izquierda por la Av. Unidad Nacional, hasta llegar a la intersección con la Av. Pichincha donde se gira a la izquierda y se continúa por la misma cruzando la Av. Diez de Agosto se continúa hasta el redondel del Reloj y se gira a la derecha para llegar a la Av. Primero de Mayo y nuevamente se gira a la derecha y continuando por la misma vía llegamos hasta el punto de inicio.

Ruta 4.



Gráfica 4. Ruta 4
Fuente: (El Autor)

Empieza el Ruta en el Control Sur se circunvala toda la Ciudad, siguiendo la autopista hasta el Hospital del Río, luego se toma la avenida de la Américas hasta llegar al Control Sur, que es el punto de inicio.

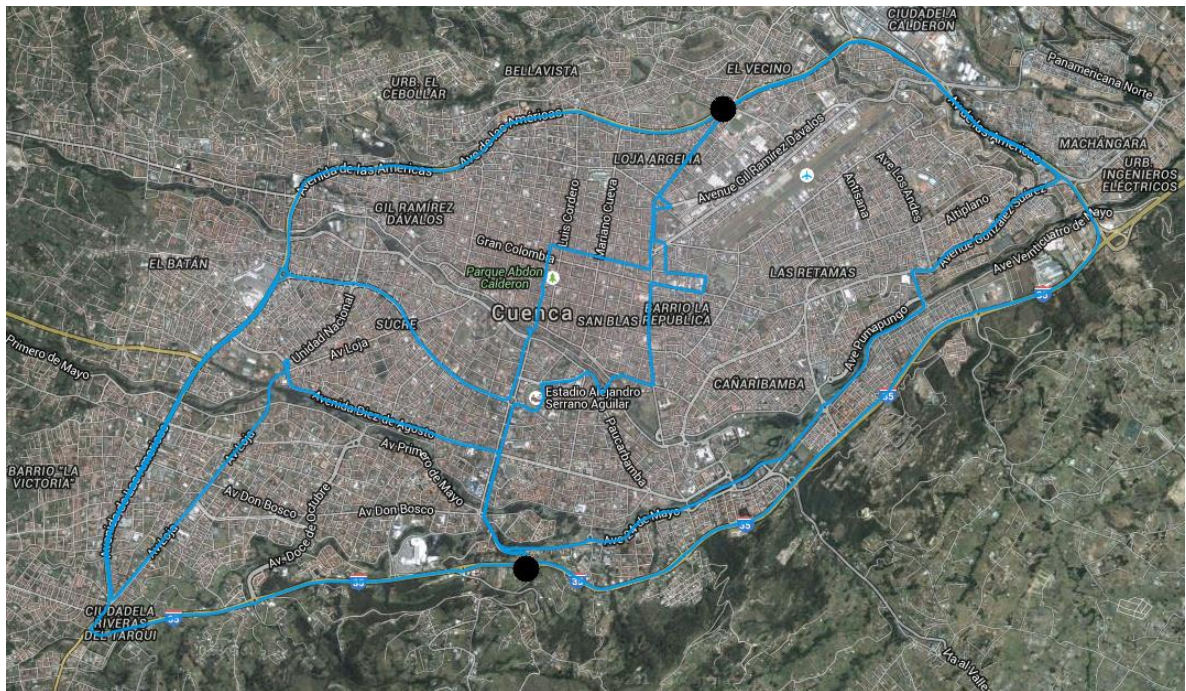
Ruta 5.



Gráfica 5. Ruta 5

Fuente: (El Autor)

El Ruta empieza en la Av. De las Américas y Don Bosco, continuando por la Av. Don Bosco hasta llegar al redondel de los Tres Puentes, circunvalando hacia la izquierda por la Av. Solano se continúa hasta el redondel del Estadio y girando hacia la derecha se une con la Av. Del Estadio, se continúa hasta la Av. Roberto Crespo hasta el cruce con la Av. Miguel Cordero Ávila y se gira a la izquierda, continuando por la misma se llega hasta la Av. Paucarbamba y se gira a la izquierda para llegar hasta el redondel José Peralta, continuando por la subida a Todos Santos, luego se gira a la derecha para seguir por la Calle Vargas Machuca hasta el cruce con la Calle Mariscal Sucre girando a la derecha, se continúa hasta llegar a la Av. Huayna Capac y se gira a la izquierda, continuando hasta llegar a la Av. González Suárez girando a la derecha, se continúa hasta llegar a la Calle Octavio Díaz, se gira a la izquierda y se continúa hasta llegar a la Av. Hurtado de Mendoza girando a la derecha y seguido se gira a la izquierda para continuar por la Av. Sebastián de Benalcázar que pasa por el Terminal Terrestre hasta el redondel de la Av. Gil Ramírez Dávalos, donde se circunvala hacia la izquierda y continúa por la Av. HuaynaCapac hasta llegar a la Calle Lamar, por donde se gira a la derecha y continúa hasta la Calle Benigno Malo, donde se gira a la izquierda y se continúa para llegar al Puente del Centenario, donde se gira a la derecha para continuar por la Av. 12 de Abril hasta llegar a la Unidad Nacional (Esquina del Coliseo Mayor), donde se gira a la izquierda para llegar al redondel de los Totems, circunvalando hacia la izquierda para continuar por la Av. Remigio Crespo, hasta llegar al redondel de la Av. Solano y se gira a la derecha por la misma Av. Solano continuando hasta el redondel de la Av. 10 de Agosto donde se gira hacia la derecha para continuar hasta la intersección con la Av. Ricardo Muñoz Dávila, donde se gira a la izquierda y se llega hasta el redondel del Reloj, circunvalando hacia la izquierda para tomar la Av. 12 de Octubre y dirigirse a la Av. Don Bosco y girar hacia la derecha para dirigirse hasta la Av. De la Américas donde es el punto de inicio y final.

Ruta 6.

Gráfica 6. Ruta 6

Fuente: (El Autor)

El Ruta empieza en la Av. De las Américas y Calle del Barrial Blanco, al final de esta girando a la izquierda se toma la Av. Huayna Cápac, continuando hasta llegar a la Calle Lamar donde se gira a la derecha para continuar hacia la Calle Benigno Malo, donde se gira a la izquierda para llegar hasta el Puente del Centenario, donde se toma la Av. Solano hasta llegar al redondel de la Av. Remigio Crespo y se gira a la derecha para dirigirse por la misma avenida hacia el redondel de la Feria Libre, y circunvalar hacia la izquierda para poder tomar la Av. De las Américas y llegar hasta el Control Sur, donde se gira a la izquierda y se continúa por la Av. Circunvalación Sur (Autopista) hasta el sector de Turi, donde se gira a la izquierda para tomar la Av. 24 de Mayo y dirigirse a l redondel de los Tres Puentes para tomar la Av. Solano y seguir hasta el Estadio, donde se toma a la derecha por la Av. Del Estadio hasta llegar a la Calle Florencia Astudillo y llegar al redondel José Peralta, el cual se circunvala a la izquierda para luego tomar la subida de Todos Santos a la derecha y llegar hasta la Calle Larga, la misma llevará hasta la Av. Huayna Cápac, donde se gira hacia la izquierda y continúa hasta llegar a la Av. González Suárez, hasta donde se encuentra la Calle Octavio Díaz y se gira a la izquierda por la Calle Vicente Rocafuerte hasta llegar a la Calle José Joaquín de Olmedo, hasta llegar a la Calle Núñez de Bonilla y a su vez girando a la derecha en la Av. Huayna Cápac, girando a la derecha en la misma para llegar a la Calle del Barrial Blanco y salir a la Av. De las Américas y seguir hasta la Av. González Suárez y Calle Rayoloma, donde se gira a la izquierda para llegar a la Av. 24 de Mayo, continuando hasta el redondel de Los Tres Puentes, siguiendo por la Av. Solano hasta el redondel de la Av. 10 de Agosto donde se gira hacia la izquierda y se continúa por la misma hasta llegar al redondel de la Unidad Nacional y circunvalar para tomar la Av. Loja, luego se gira a la derecha para dirigirse al Control Sur, luego se gira hacia la derecha y continúa por la Av. De las Américas hasta llegar a la Av. Ordoñez Lasso. Desde la Av. Ordoñez Lasso se dirige hacia la Av. De la Américas hasta llegar al Hospital de Río y continuar por la Circunvalación Sur (Autopista) hasta el Sector de Turi, para finalizar en la Av. 24 de Mayo.

Anexo 3

Los datos obtenidos con el GPS.

Tiempo [s]	Fecha	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Distancia [m]
0	9/4/2015 16:35	-2.888487	-79.035611	2612.5	0	0.00	0
1	9/4/2015 16:35	-2.888491	-79.035606	2611.8	1.3	0.36	0.36
2	9/4/2015 16:35	-2.888493	-79.035605	2613.4	0.9	0.25	0.25
3	9/4/2015 16:35	-2.888495	-79.035604	2613	0.9	0.25	0.25
4	9/4/2015 16:35	-2.888496	-79.035604	2612.1	0.4	0.11	0.11
5	9/4/2015 16:35	-2.888498	-79.035603	2612.9	0.9	0.25	0.25
6	9/4/2015 16:35	-2.888499	-79.035601	2611.3	0.9	0.25	0.25
7	9/4/2015 16:35	-2.888501	-79.0356	2612.9	0.9	0.25	0.25
8	9/4/2015 16:35	-2.888502	-79.0356	2612.6	0.4	0.11	0.11
9	9/4/2015 16:35	-2.888502	-79.0356	2613.8	0	0.00	0.00
10	9/4/2015 16:35	-2.888501	-79.035602	2611.9	0.9	0.25	0.25
11	9/4/2015 16:35	-2.888501	-79.035603	2612.8	0.4	0.11	0.11
12	9/4/2015 16:35	-2.888501	-79.0356	2612.1	1.2	0.33	0.33
13	9/4/2015 16:35	-2.888502	-79.035595	2612.9	2	0.56	0.56
14	9/4/2015 16:35	-2.888504	-79.035587	2611.9	3.3	0.92	0.92
15	9/4/2015 16:35	-2.88851	-79.035568	2613.2	8	2.22	2.22
16	9/4/2015 16:35	-2.888518	-79.035541	2611.1	11.3	3.14	3.14
17	9/4/2015 16:35	-2.888525	-79.035507	2612.5	13.9	3.86	3.86

Datos obtenidos con el GPS en la ruta 1.

Fuente: El Autor.

Tiempo [s]	Fecha	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Velocidad [km/h]	Velocidad [m/s]	Distancia [m]
0	9/19/2015 18:05	-2.916678	-79.009344	2550.8	0	0	0
1	9/19/2015 18:05	-2.916676	-79.009345	2551.5	0.4	0.111	0.111
2	9/19/2015 18:05	-2.916675	-79.009346	2550.4	0.6	0.167	0.167
3	9/19/2015 18:05	-2.916676	-79.009346	2551.5	0.4	0.111	0.111
4	9/19/2015 18:05	-2.916678	-79.009344	2551	1.1	0.306	0.306
5	9/19/2015 18:05	-2.916688	-79.009337	2551.7	4.9	1.361	1.361
6	9/19/2015 18:06	-2.916706	-79.009324	2551.4	8.9	2.472	2.472
7	9/19/2015 18:06	-2.916735	-79.009301	2552.6	14.8	4.111	4.111
8	9/19/2015 18:06	-2.916772	-79.009272	2552.9	18.8	5.222	5.222
9	9/19/2015 18:06	-2.916892	-79.009181	2552.8	60.2	16.722	16.722
10	9/19/2015 18:06	-2.916959	-79.009145	2552.2	30.4	8.444	8.444
11	9/19/2015 18:06	-2.917034	-79.009105	2553	34	9.444	9.444
12	9/19/2015 18:06	-2.917114	-79.009067	2553	35.4	9.833	9.833
13	9/19/2015 18:06	-2.917199	-79.009027	2553.5	37.6	10.444	10.444
14	9/19/2015 18:06	-2.917286	-79.008988	2552.5	38.1	10.583	10.583
15	9/19/2015 18:06	-2.917374	-79.008946	2554	39	10.833	10.833
16	9/19/2015 18:06	-2.917456	-79.008911	2553	35.7	9.917	9.917
17	9/19/2015 18:06	-2.917544	-79.008874	2553.4	38.2	10.611	10.611

Datos obtenidos con el GPS en la ruta 7.

Fuente: El Autor.

Anexo 4

Tiempo [s]	Altura GPS [m]	Altura MDT [m]	Velocidad[km/h]	Velocidad [m/s]	Distancia [m]
0	2612.5	2596.22	0	0.000	0
1	2611.8	2596.22	1.3	0.361	0.361
2	2613.4	2596.25	0.9	0.250	0.250
3	2613	2596.25	0.9	0.250	0.250
4	2612.1	2596.25	0.4	0.111	0.111
5	2612.9	2596.25	0.9	0.250	0.250
6	2611.3	2596.25	0.9	0.250	0.250
7	2612.9	2596.25	0.9	0.250	0.250
8	2612.6	2596.25	0.4	0.111	0.111
9	2613.8	2596.25	0	0.000	0.000
10	2611.9	2596.25	0.9	0.250	0.250
11	2612.8	2596.25	0.4	0.111	0.111
12	2612.1	2596.25	1.2	0.333	0.333
13	2612.9	2596.25	2	0.556	0.556
14	2611.9	2596.21	3.3	0.917	0.917
15	2613.2	2596.21	8	2.222	2.222
16	2611.1	2596.17	11.3	3.139	3.139
17	2612.5	2596.06	13.9	3.861	3.861
18	2612.6	2596.00	19.5	5.417	5.417
19	2613.5	2595.76	22.9	6.361	6.361
20	2613.3	2595.65	24.7	6.861	6.861
21	2613.4	2595.49	26.3	7.306	7.306

Tabla 14. Datos de altura GPS y MDT de la ruta 7.

Fuente: El Autor

Anexo 5

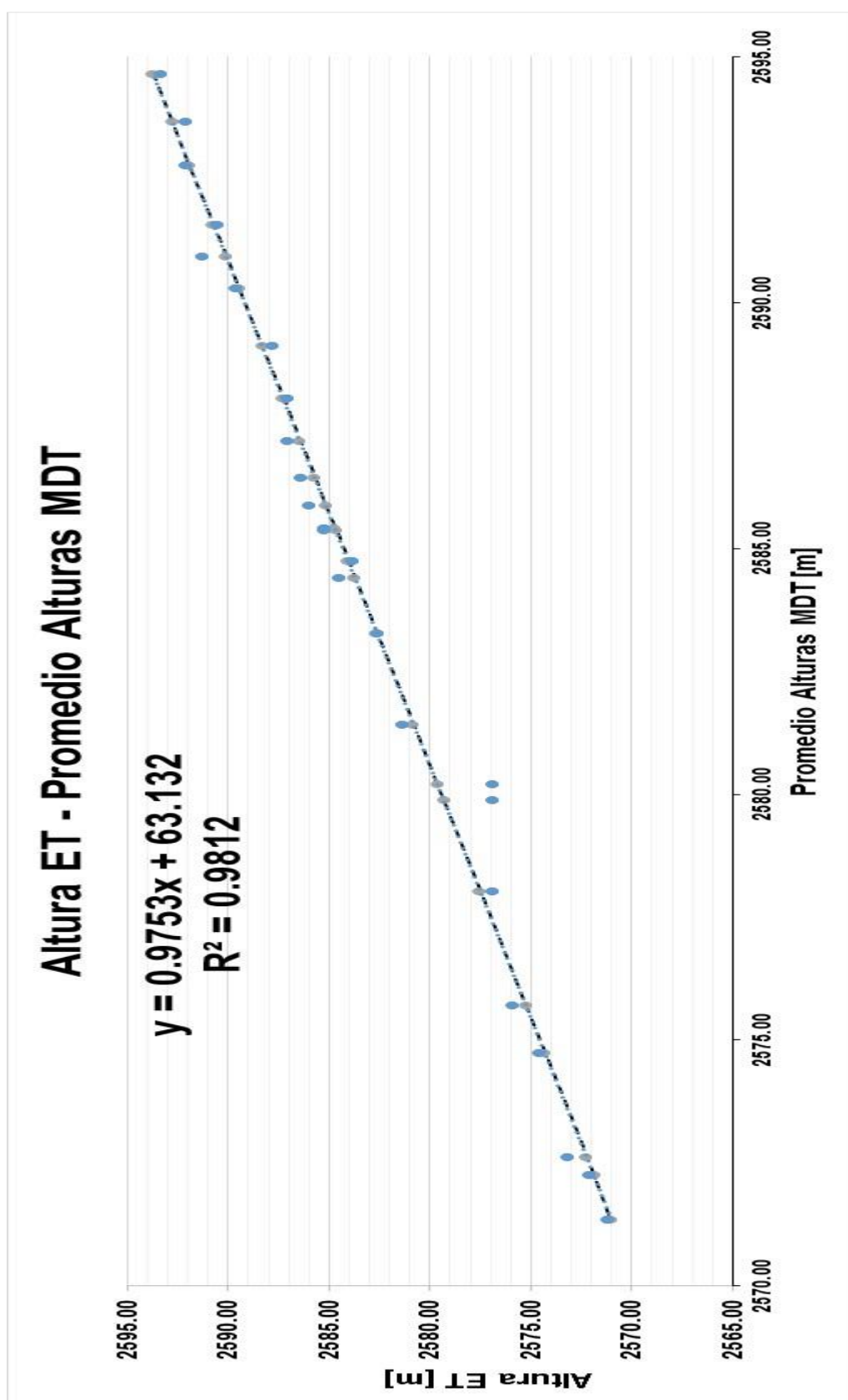


Fig. 36. Gráfica Altura ET – Promedio Altura MDT.
Fuente: El Autor

Anexo 6

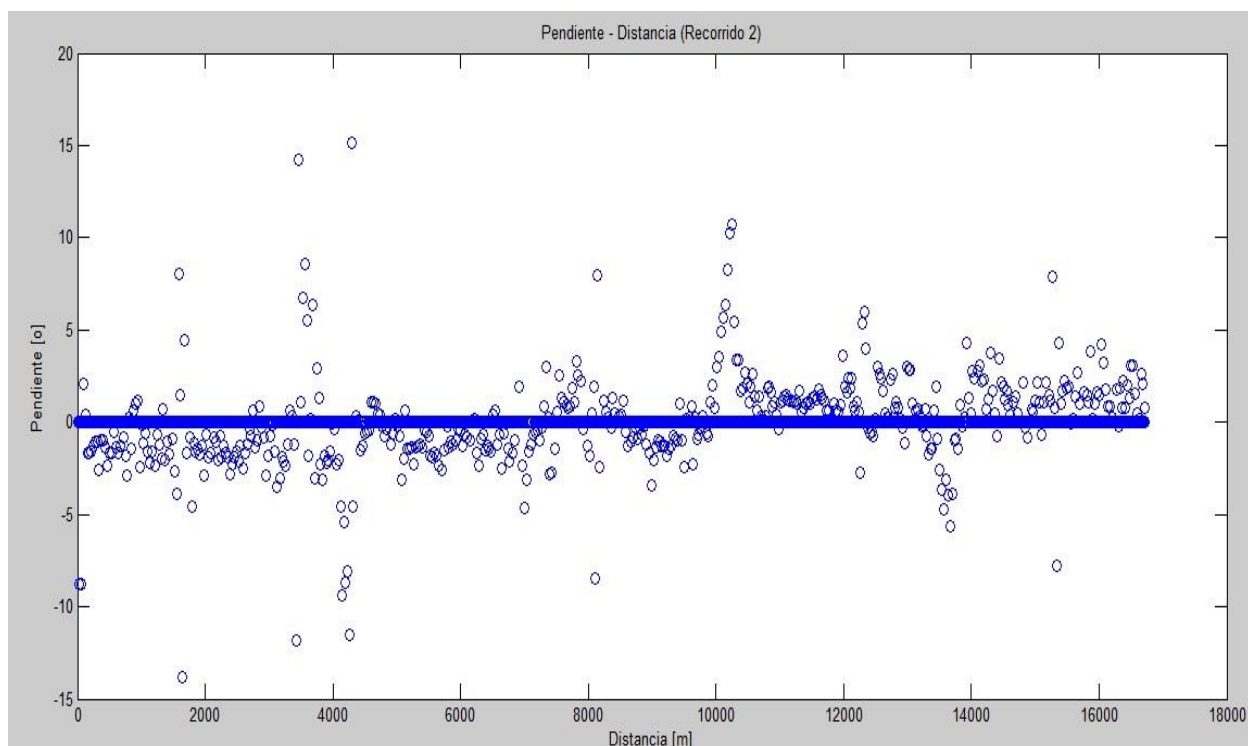


Fig. Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 2.
Fuente: (El Autor)

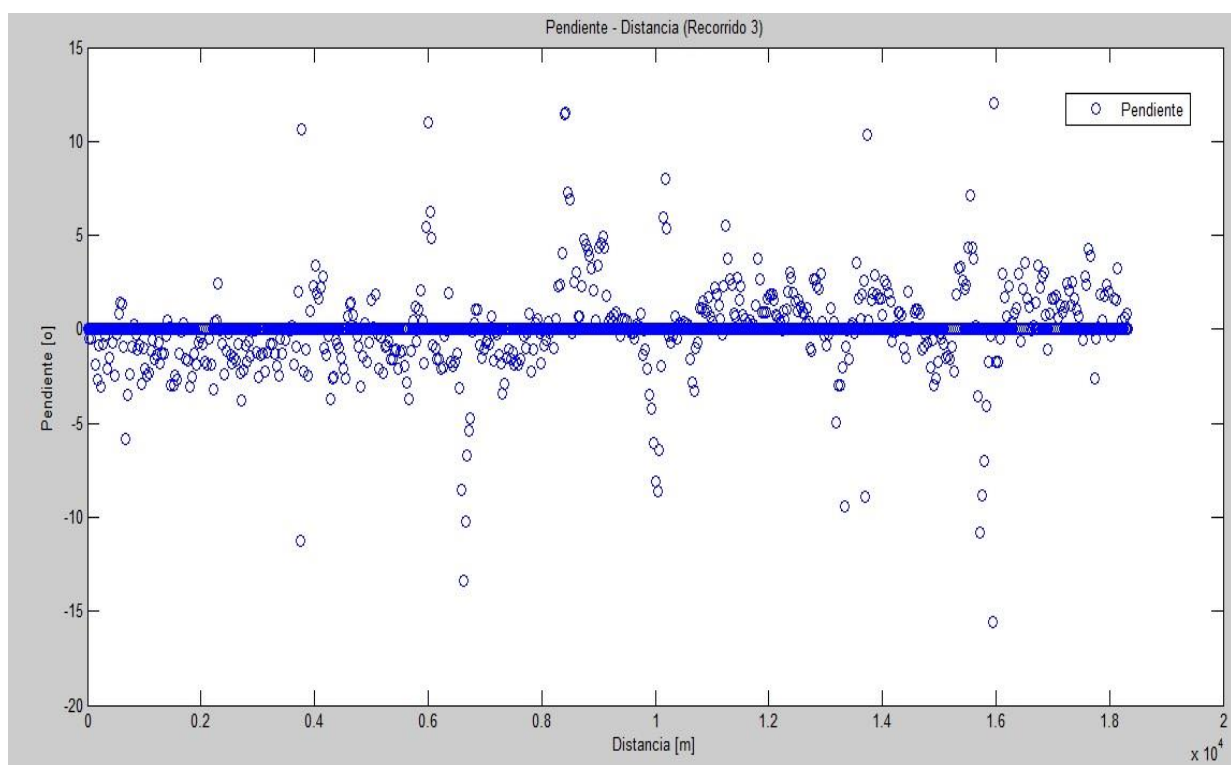


Fig. Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 3.
Fuente: (El Autor)

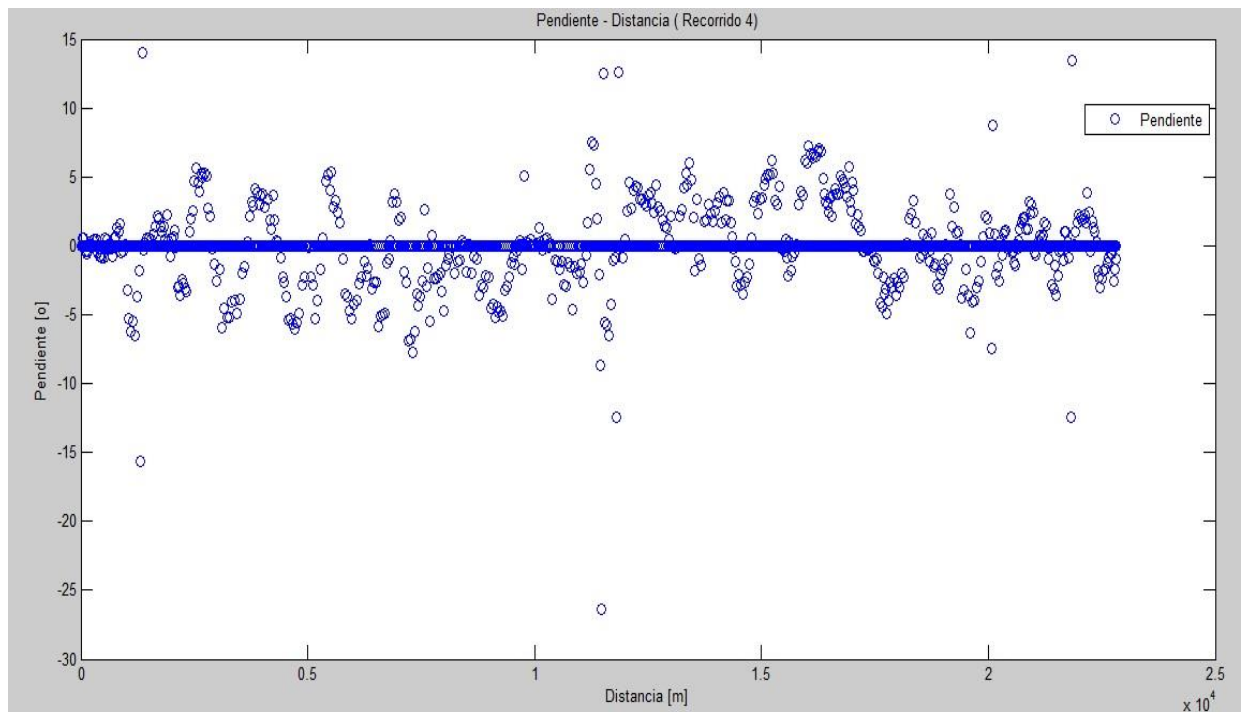


Fig. Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 4.
Fuente: (El Autor)

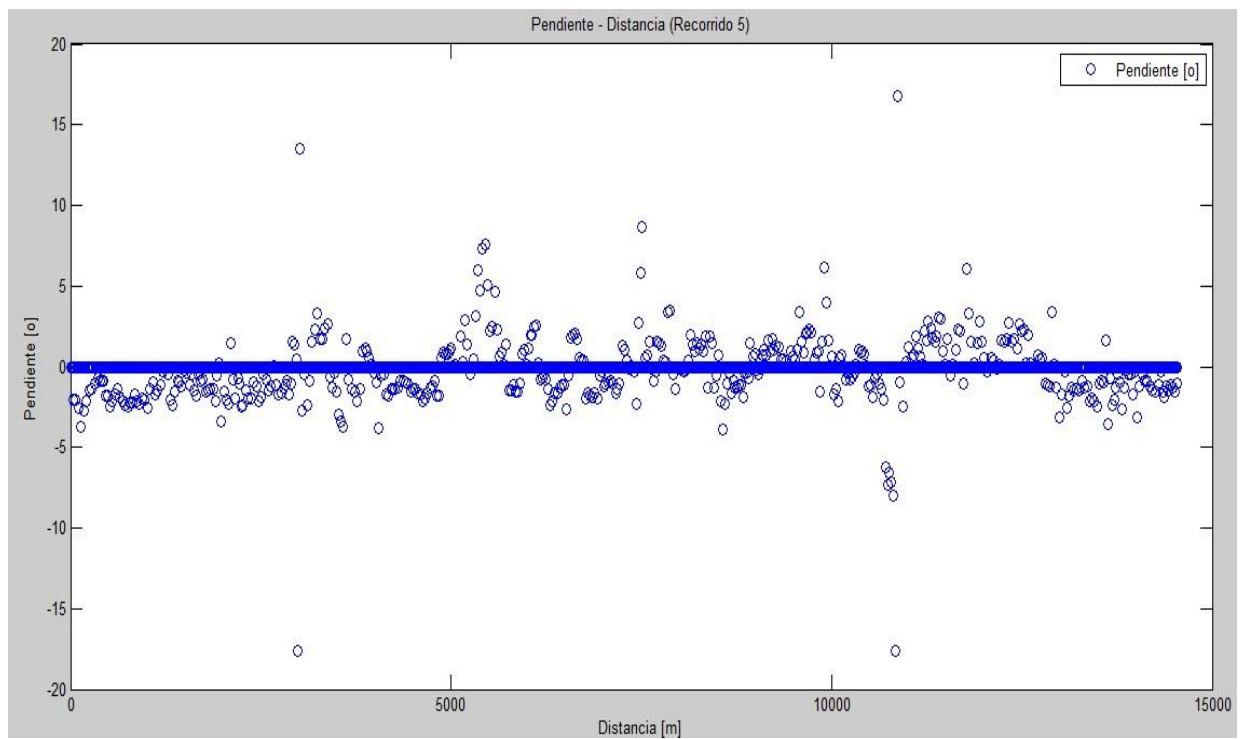


Fig. Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 5.
Fuente: (El Autor)

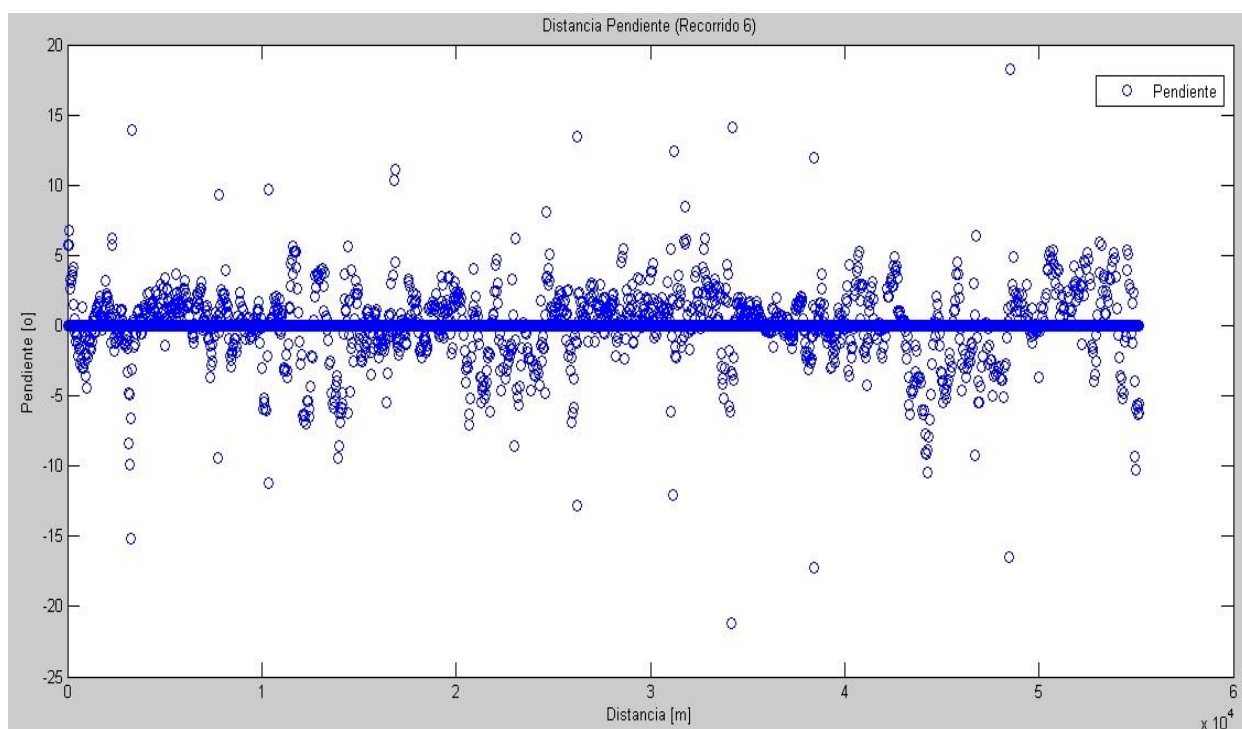


Fig. Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 6.
Fuente: (El Autor)

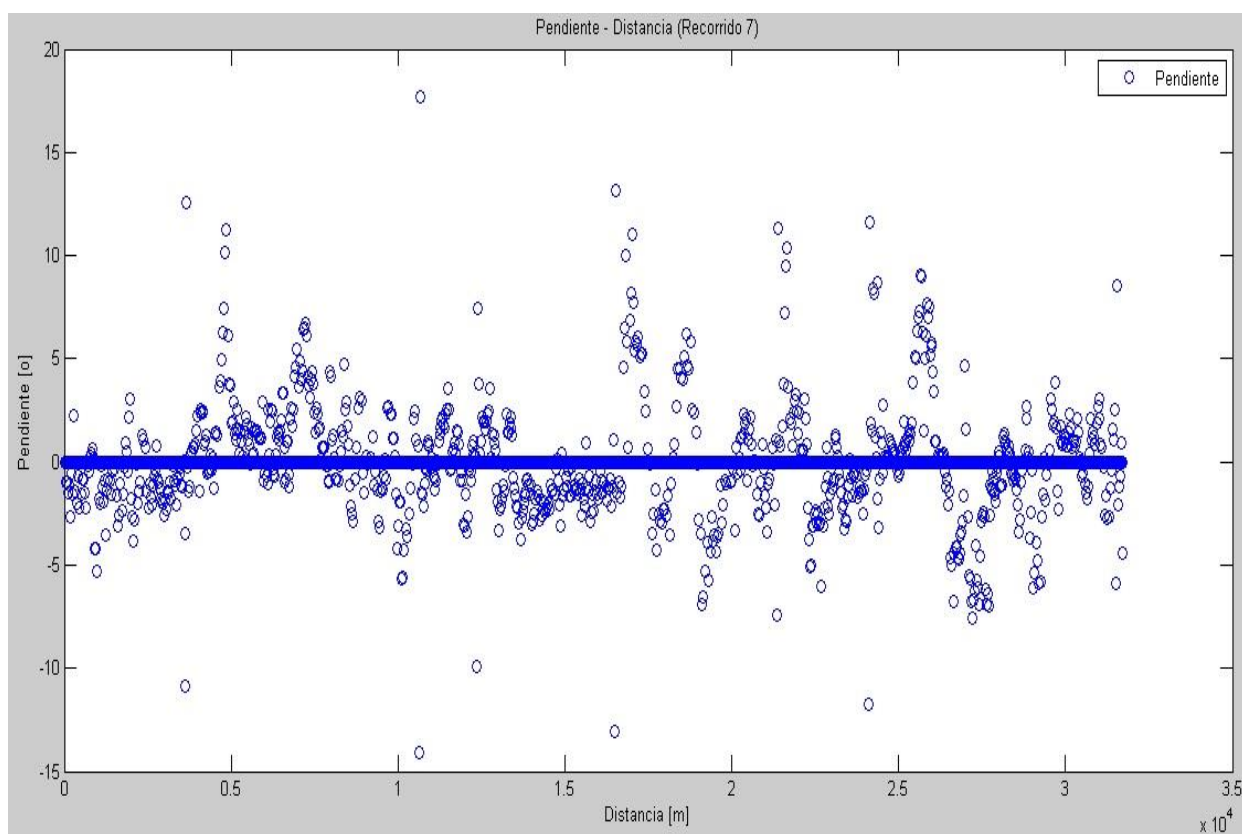


Fig. Gráfica Distancia – Pendiente de la ruta 7.
Fuente: (El Autor)