

UCUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Eléctrica

Análisis de prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional. Caso de estudio: Universidad de Cuenca

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Autores:

Jaime Esteban Bermeo Ochoa

CI: 0105704589

jaimeber8a@gmail.com

Esteban Leonardo Reino Asmal

CI: 0106200488

leonardo.reinoa@gmail.com

Director:

Ing. Juan Leonardo Espinoza Abad

CI: 0102559325

Cuenca-Ecuador

06-enero-2023

Resumen: *El nuevo paradigma energético y la inminente necesidad de migrar de combustibles fósiles hacia alternativas más sostenibles, a lo largo del tiempo, han provocado la modernización tanto del sector automotriz como del de generación eléctrica. En el presente trabajo se aborda un análisis de prefactibilidad de implementación de tecnologías sustentables, movilidad eléctrica y generación distribuida fotovoltaica, usando, como caso de estudio, el escenario actual al cual se enfrenta la Universidad de Cuenca y proponiendo una serie de modelos, que serán evaluados por medio de cuatro ejes o tipos de análisis.*

El Análisis Diagnóstico, por medio de la medición y procesamiento de datos, permite la identificación de la capacidad y rendimiento de las nuevas tecnologías. El Análisis Técnico, por medio de la implementación de la regulaciones vigentes y restricciones físicas, permite la generación de los modelos a ser estudiados. En el Análisis Económico determina la inversión para cada modelo y realiza su comparación, donde se concluye que el modelo que contempla la implementación de vehículos eléctricos presenta costos menores que su equivalente en diésel, incluso desde el primer año. El Análisis Ambiental extiende las capacidades del análisis económico considerando emisiones y externalidades relacionadas con el CO₂, donde se concluye que el modelo donde se incluye vehículos eléctricos y generación distribuida solar-fotovoltaica representa más mil veces menos emisiones al año que su equivalente en diésel.

Palabras clave: *Micro red. Vehículo eléctrico. Combustible. Energía eléctrica. Emisiones de CO₂. Sistema fotovoltaico*

Abstract: *The new energy paradigm and the imminent need to migrate from fossil fuels to more sustainable alternatives, over time, have caused the modernization of both the automotive and electricity generation sectors. This paper deals with a pre-feasibility analysis of the implementation of sustainable technologies, electric mobility and photovoltaic distributed generation, using, as a case study, the current scenario faced by the University of Cuenca and proposing a series of models, which will be evaluated through four axes or types of analysis.*

The Diagnostic Analysis, through the measurement and processing of data, allows the identification of the capacity and performance of new technologies. Technical Analysis, through the implementation of current regulations and physical restrictions, allows the generation of models to be studied. In the Economic Analysis, it determines the investment for each model and makes its comparison, where it is concluded that the model that contemplates the implementation of electric vehicles presents lower costs than its diesel equivalent, even from the first year. The Environmental Analysis extends the capacities of the economic analysis considering emissions and externalities related to CO₂, where it is concluded that the model that includes electric vehicles and distributed solar-photovoltaic generation represents more than a thousand times fewer emissions per year than its diesel equivalent.

Keywords: *Micro network. Electric vehicle. Gas. Electric power. CO₂ emissions. Photovoltaic system*

Índice general

1. Generalidades	12
1.1. Introducción	12
1.2. Antecedentes	13
1.3. Objetivos	15
1.3.1. General	15
1.3.2. Específicos	15
1.4. Alcance del estudio	15
2. Marco Teórico	17
2.1. Historia del vehículo	17
2.2. Tipos de vehículos	20
2.3. Vehículos a combustión	21
2.3.1. Principio de Funcionamiento	22
2.3.1.1. Motores de Dos Tiempos	23
2.3.1.2. Motores de Cuatro Tiempos	24
2.3.2. Consumo energético	26
2.4. Vehículos eléctricos (EVs)	30
2.4.1. Tipos de vehículos eléctricos	31
2.4.1.1. Vehículo Eléctrico con Batería (BEV)	32
2.4.1.2. Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV)	34
2.4.1.3. Vehículo Eléctrico Híbrido Plug-in (PHEV)	36
2.4.1.4. Vehículo Eléctrico con Celda de Combustible (FCEV)	36
2.4.2. Técnicas de conversión de energía	38
2.4.3. Estaciones de Carga	39
2.4.3.1. Carga AC	40
2.4.3.2. Carga DC	41
2.4.3.3. Carga Inalámbrica o Wireless	41

UCUENCA

2.5.	EV a ser analizado	41
2.5.1.	Antecedentes: BYD (Build Your Dreams)	41
2.5.2.	Van BYD T3 Pasajeros	43
2.6.	Sistemas Fotovoltaicos	44
2.6.1.	Resumen	44
2.6.2.	Historia	45
2.7.	Evaluación Económica de proyectos	49
2.7.1.	Valor del dinero en el tiempo (Descuento)	49
2.7.2.	Descuento	49
2.7.3.	Flujos de caja descontados	51
2.7.4.	Análisis Económico	52
2.7.4.1.	Método del valor presente	52
2.7.4.2.	Método del costo anual	53
2.7.4.3.	Método del la tasa de retorno	53
3.	Medición y Análisis de Aplicación	54
3.1.	Recorridos a aplicar, definición de criterios para la muestra	54
3.1.1.	Criterios de selección	54
3.1.2.	1er Recorrido	55
3.1.3.	2do Recorrido	55
3.1.4.	3er Recorrido	56
3.2.	Adquisición, procesamiento y modelación de curvas de carga en base a los datos recolectados en el laboratorio de la Micro red	57
3.2.1.	Adquisición de datos de estación de carga	57
3.2.2.	Adquisición de datos de sistema fotovoltaico	58
3.2.3.	Procesamiento de datos y generación de curvas	59
3.2.3.1.	Sistema de carga EV	59
3.2.3.2.	Sistema Fotovoltaico	62
3.3.	Comparación de datos reales vs especificaciones técnicas	64
4.	Análisis Técnico-Normativo	75
4.1.	Definición de Normativas para la implementación de un siste- ma EV	75
4.1.1.	Normativas ecuatorianas para implementación de esta- ciones de carga	75

UCUENCA

4.1.2.	Normativa ecuatoriana para la implementación de sistemas fotovoltaicos	80
4.1.2.1.	Regulación No. ARCERNNR 001/2021: Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica	80
4.2.	Modelo de estación de carga de EV	86
4.2.1.	Estación de carga	86
4.2.2.	Energía renovable (Generación y almacenamiento)	87
4.2.2.1.	Delimitación de tecnologías por localidad y aplicación	88
4.2.3.	Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico	89
4.2.3.1.	Delimitación del área disponible	89
4.2.3.2.	Selección del panel solar	89
4.2.3.3.	Determinación del número de paneles solares	91
4.2.4.	Modelos propuestos para estudio	95
4.2.4.1.	Modelo 1	95
4.2.4.2.	Modelo 2	96
4.2.4.3.	Modelo 3	96
4.2.4.4.	Modelo 4	96
4.3.	Diseño eléctrico y generación de planos CAD de los modelos propuestos	96
5.	Análisis Económico	103
5.1.	Adquisición de datos de departamento de movilidad	103
5.2.	Estimación de costos de sistemas EV en todas sus modalidades	107
5.2.1.	Costo de Operación	108
5.2.1.1.	Carga lenta	108
5.2.1.2.	Carga Rápida	109
5.2.1.3.	Generación solar	110
5.2.2.	Costo de Construcción y Equipos	112
5.2.2.1.	Acometida	113
5.2.2.2.	Transformador	115
5.2.2.3.	Estación de Carga	115
5.2.2.4.	Sistema Fotovoltaico	117
5.3.	Comparación entre diferentes tecnologías	117
5.3.0.1.	Inversión Inicial de Flota	120
5.3.0.2.	Costo de Operación Anual de Flota	121

UCUENCA

6. Análisis Ambiental	124
6.1. Estimación de emisiones de la matriz actual de movilidad institucional (diésel)	124
6.1.1. Estimación de emisiones debidas a producción de diésel	124
6.1.2. Estimación de emisiones en fase de operación del vehículo a diésel	125
6.2. Estimación de emisiones asociadas a una matriz con EV	127
6.3. Precio de las emisiones de carbono	132
6.4. Comparación de las matrices de movilidad	133
7. Discusión	136
7.1. Conclusiones	136
7.2. Recomendaciones	140
7.3. Trabajos futuros	140
A. Tipos de motores utilizados por Vehículos Eléctricos	147
A.1. Motor DC de escobillas	147
A.2. Motor DC sin escobillas de Imanes Permanentes (BLDC)	147
A.3. Motor Síncrono de Imanes permanentes (PMSM)	148
A.4. Motor de Inducción (IM)	148
A.5. Motor de Reluctancia Conmutada (SRM)	149
A.6. Motor de Reluctancia Síncrona (SynRM)	150
A.7. Motor de Reluctancia Síncrona Asistida con PM	150
B. Inversores utilizados por Vehículos Eléctricos	152
C. Diseños en formato CAD	162

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jaime Esteban Bermeo Ochoa en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional. Caso de estudio: Universidad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de enero 2023



Jaime Esteban Bermeo Ochoa

C.I: 0105704589

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Esteban Leonardo Reino Asmal en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional. Caso de estudio: Universidad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de enero 2023



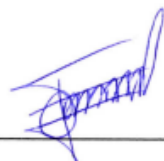
Esteban Leonardo Reino Asmal

C.I: 0106200488

Cláusula de Propiedad Intelectual

Jaime Esteban Bermeo Ochoa, autor/a del trabajo de titulación "Análisis de prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional. Caso de estudio: Universidad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 06 de enero 2023



Jaime Esteban Bermeo Ochoa

C.I: 0105704589

Cláusula de Propiedad Intelectual

Esteban Leonardo Reino Asmal, autor/a del trabajo de titulación "Análisis de prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional. Caso de estudio: Universidad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 06 de enero 2023



Esteban Leonardo Reino Asmal

C.I: 0106200488

UCUENCA

AGRADECIMIENTOS

Yo Jaime, agradezco a Dios y a la vida por darme la fuerza para cumplir este primer gran logro.

Quiero hacer una mención especial a mis padres Jaime y Rosa que me apoyaron durante todo este camino, a mis hermanas bebé y andeya. A mi mascota fiel cuqui por acompañarme durante todo este viaje. A la persona que me hizo creer que el amor eterno si existe, Isabel. Así como a tantas personas que fueron parte de mi vida universitaria, especialmente a dos ya que sin ellos no lo hubiera logrado, el Cabrera y el Reino como yo les decía, me apoyaron y sin importar el tiempo que les tome me explicaban pacientemente cualquier tema aunque irónicamente yo tenía mejores notas. Gracias por todo.

Yo Esteban, agradeciendo primeramente a mis padres, Laura y Esteban; a mi hermana, Paulina; y a mis sobrinos, Tomás y Sebastián, por ser el apoyo constante para cumplir las metas que me proponga.

Mencionando especialmente a los amigos con los cuales he forjado un gran vínculo al pasar los años de universidad: Jaime, Julissa, María Isabel y Santiago. A ellos por ser las risas y fuerza con las cuales ha sido posible este logro.

Gracias.

Capítulo 1

Generalidades

1.1. Introducción

El cambio climático trae consigo grandes retos para satisfacer las necesidades de la población presente y futura. El sector del transporte constituye uno de estos grandes retos al ser uno de los mayores contribuyentes de emisiones de gases de efecto invernadero. Según datos presentados por el Ministerio del Ambiente, en Ecuador, entre los años 1996 y 2006, el país ha experimentado un incremento del 78,7 % de las emisiones de CO₂ generadas por el transporte [1]. En términos actuales, la implementación de nuevas tecnologías para combatir el aumento de dicho porcentaje ha dado como resultado en el estudio de Carbono Cero 2019 que las emisiones de gases de efecto invernadero representaron el 15 % en América Latina, aunque se estima que dichas emisiones aumentarían en un 50 % para el 2050 ya que se triplicaría la cantidad de vehículos en comparación a los que actualmente se encuentran en circulación. Así resulta imperante contribuir en la mitigación y adaptación del cambio climático, en mira a una mejora tanto de la calidad de vida como en términos de bienestar ambiental y social. La descarbonización del transporte nace como una oportunidad a largo plazo de reducir drásticamente las emisiones generadas en este sector, entre otros factores, gracias al despliegue de la movilidad eléctrica. Dentro de los objetivos que mueven la transformación del transporte se encuentran proteger la salud humana y además, contribuir con el cumplimiento de los compromisos climáticos suscritos por los países en el marco del Acuerdo de París[2] y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que se tienen como agenda para 2030. De esta manera, el Ecuador y todo el mundo debe direccionar sus acciones a evitar ser dependiente de los combustibles fósiles y dar paso a una nueva transición energética. La popularidad de los vehículos eléctricos (EV, por sus siglas en inglés) se ha ido acrecentando en los últimos años gracias a los beneficios que ofrecen. El principal de ellos es la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, así también podrían considerarse una valiosa herramienta en la estabilización del sistema eléctrico para la implementación de Generación Distribuida. Por ejemplo, gracias a que la carga de los vehículos eléctricos al medio día tendría la capacidad de absorber la sobre generación fotovoltaica y en las no-

ches suministrar energía durante la reducción de vientos en sistemas eólicos [3], permitiendo la integración de energías renovables con mayor facilidad al sistema. A pesar de las ventajas en cuanto a la utilización de los vehículos eléctricos, existen limitantes que no permiten el despegue de esta tecnología, en general la falta de confianza y conocimiento de la misma, así como temas burocráticos y económicos, impiden la transición hacia una movilidad eléctrica. En base a lo previamente mencionado, este proyecto de titulación plantea un estudio de campo para analizar la prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional de la Universidad de Cuenca, con el fin de promover la sustentabilidad de la matriz de transporte que actualmente utiliza combustibles fósiles. Para ello, se plantea el desarrollo de 7 capítulos. Tras la descripción de los antecedentes de la problemática, los objetivos y los alcances del estudio, se cuenta con una revisión bibliográfica. En la misma se presenta el marco teórico relevante, como el breve análisis de los vehículos a combustión y eléctricos, las técnicas de conversión de energía, los tipos de estaciones de carga, la evaluación económica de proyectos, entre otros. Posteriormente se analizan los recorridos del transporte institucional, también se desglosa la adquisición de los datos tanto de la estación de carga, como del sistema fotovoltaico de la Micro red y finalmente se presenta su procesamiento. En el capítulo 4 se encuentra descrito el análisis técnico respecto a la normativa vigente para la implementación de vehículos eléctricos en el Ecuador. A continuación, se cuenta con un análisis económico y ambiental, en donde se estiman los costos de operación y construcción de un sistema EV, así como las emisiones asociadas a su implementación. Finalmente, conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros cierran el estudio planteado.

1.2. Antecedentes

Durante las últimas décadas se ha podido observar una creciente subscripción de actores, tanto públicos como privados, hacia la lucha contra el cambio climático. Este fenómeno se puede explicar debido a las constantes pruebas de que el clima del planeta parece estar respondiendo -negativamente- de manera proporcional al crecimiento de la industria. Por ejemplo, desde inicios del nuevo milenio se podía observar un continuo crecimiento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y de manera conjunta lo hacía la temperatura de la Tierra, ya en 2020 las concentraciones alcanzaron valores máximos y la temperatura global ha aumentado 1.1°C por encima de los

UCUENCA

niveles pre-industriales, con glaciares derritiéndose y aumentando el nivel del mar. Esta situación provocaría millones de desplazados climáticos generado por: la pobreza, el hambre, falta de educación y salud, aumento de desigualdades y economías estancadas, producto del cambio climático [4]. A raíz de este panorama se vuelve fundamental el compromiso de los líderes mundiales con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible donde se plantean 17 objetivos para combatir problemas generalizados sistemáticos como lo son: la pobreza, la protección del ambiente y mejorar la calidad de vida en todos los rincones del planeta [5].

Dentro del contexto de la energía y el cambio climático, esta aporta con alrededor de 60 % de todas las emisiones de GEI [6]. De tal forma que se fueron creando nuevos e importantes modelos de generación y consumo de energía que se complementan: La Generación Distribuida y El Vehículo Eléctrico. El primero contemplando el ámbito de la generación, siendo fundamental en mejorar la confiabilidad y calidad de la energía eléctrica por medio de la producción en sitio aprovechando los recursos renovables disponibles, donde también podrían ser capaces de ser integrados a la red por medio de dispositivos digitales haciendo un sistema más interactivo, inteligente y distribuido [7]. Por otro lado, hay actores cuyo objetivo es buscar alternativas sostenibles para la sustitución de matriz de uno de los sectores más contaminantes como lo es el transporte en base a motores de combustión interna. La principal razón de tener este objetivo, es que los motores de combustión interna son sistemas de baja eficiencia ($< 30\%$) que son usados en la transportación y generan alrededor del 27 % de todos los gases de efecto invernadero emitidos [7, 8]. Estos objetivos fueron ratificados en el Acuerdo de París, en el año 2015 por 190 países, donde se busca no sobrepasar la temperatura promedio pre-industrial de la tierra en 2°C mediante un máximo de emisión de gases de efecto invernadero [9].

En base a ciertas proyecciones, se estima que en el año 2050 la cantidad de vehículos se triplicará por lo que es de suma importancia enfocarse hacia un modelo de transporte sostenible y sustentable en el tiempo. Una alternativa que permite la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que ha tomado fuerza en los últimos años han sido los vehículos 100 % eléctricos (EV) ya que son considerados como cero emisiones en fase de operación [8]. Al ser una tecnología en desarrollo, todavía existe gran incertidumbre sobre su pertinencia y dudas sobre su funcionamiento. Ciertas limitaciones tanto en la industria como el mercado se han puesto en evidencia debido a

UCUENCA

factores como la baja confianza en la tecnología y el escaso conocimiento de la misma. Esto provoca que en la industria nacional ecuatoriana haya una baja inversión y una reducida demanda en el mercado [10].

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Analizar la prefactibilidad en la adopción de vehículos eléctricos en una flota institucional de la Universidad de Cuenca

1.3.2. Específicos

Entender las generalidades del funcionamiento de un vehículo a combustión interna, de un vehículo eléctrico (EV), de una estación de carga y de los sistemas fotovoltaicos.

Analizar los recorridos de transporte institucional, tanto con vehículos convencionales a diésel como con pruebas en un EV.

Estudiar, plantear y diseñar distintos modelos de estaciones de carga, tanto rápida como lenta, además de modelos implementando sistemas fotovoltaicos.

Analizar el contexto financiero y ambiental contrastando datos de la matriz de movilidad actual con los modelos planteados en la implementación de una matriz con EV.

1.4. Alcance del estudio

Se desarrollará el protocolo de pruebas para el análisis de rendimiento de los vehículos utilitarios completamente eléctricos del laboratorio micro red eléctrica del campus Balzay de la Universidad de Cuenca, tomando en cuenta: recorridos a corta, media y larga distancia en la ciudad de Cuenca; y la capacidad de batería. Esto se hará en base a pruebas en campo con los vehículos eléctricos para la obtención de las variables de interés como el kilometraje recorrido y porcentaje de batería usado.

Se utilizará las estaciones de carga lenta y rápida del laboratorio de Micro red para la carga de los vehículos eléctricos y la posterior adquisición de datos respecto al sistema de carga de los vehículos, con lo que se podrá cuantificar la energía total consumida, así como la necesaria para cumplir los recorridos establecidos.

Se obtendrá los datos relacionados al sistema fotovoltaico de la Micro red

UCUENCA

donde se incluyen tanto la potencia generada, por ende inyectada al sistema, así como la radiación presente por día en la estación meteorológica. Así mismo se obtendrán datos de la flota actual, a diésel, de la Universidad de Cuenca por el Departamento de Movilidad con los cuales se podrán contrastar las diferentes tecnologías.

Se propondrán cuatro modelos eléctricos para los sistemas EV. En este existirán tanto dos alternativas de carga rápida como dos de carga lenta. Junto con estas se prevé implementar un sistema fotovoltaico el cual ayudará a reducir costos operacionales siempre que sea beneficioso para el proyecto. Todo esto será basado en las normativas vigentes nacionales de acuerdo al campo de acción que nos brindarán una idea clara de como podría ejecutarse esta obra

Junto con los datos previamente recolectados, y los análisis de rendimiento de cada tecnología, se realizará un análisis económico donde se podrá observar la viabilidad con la que cuenta el proyecto. En este se podrá observar el beneficio que presenta cada modelo y su relación respecto a la matriz actual.

Se realizará un análisis ambiental enfocado en la comparación de la matriz actual de transporte institucional por vehículos utilitarios y los modelos propuestos con vehículos completamente eléctricos. Por medio de variables como factores de emisión de CO₂ de cada modelo y el costo de las externalidades del carbono.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Historia del vehículo

El ser humano, bajo su naturaleza de descubrir e innovar, siempre ha buscado alternativas para mejorar su forma de vida. Uno de los campos en los cuales siempre se ha preocupado ha sido la movilidad.

El inicio de la movilidad terrestre basado en instrumentos, más específicamente en la rueda se remonta a los siglos A.C. en el neolítico. Esto se debe a que varias tribus se caracterizaban por ser nómadas y al momento de agotar sus recursos se movilizaban a nuevas tierras. Estas tuvieron como punto de partida rocas circulares y troncos con los cuales tenían facilidad para transportar grandes cargas.



Figura 2.1: Evolución de la rueda desde sus inicios hasta la actualidad. Tomado de [11].

Este no solo fue el inicio de un sistema fundamental para el desarrollo del ser humano sino que también la primera piedra en campos subyacentes con complementos inventados posteriormente.

Uno de estos es el eje. Este es un instrumento esencial y de suma importancia para ciencias relacionadas a la mecánica. Este es un elemento fijo y tiene como principal función la de soportar el peso de la carga y transmitirlo a las ruedas. Con este se podrá eliminar en gran medida el rozamiento ayudando así a presentar una mayor eficiencia en el sistema. Por ello en la actualidad este es uno de los elementos más relevantes ya que como establece Tomas Unger (2002) 'El gran invento de la humanidad no es la rueda, sino el eje que le permite girar independientemente de aquello que lo sostiene' [11]

UCUENCA

EL objetivo principal en este punto era el de facilitar la movilidad de carga o personas. Por esta razón se usó como una especie de motor primitivo a animales como bueyes o caballos. Estos eran atados a una carroza o superficie donde se colocaba lo que se iba a transportar. A lo largo del tiempo se hicieron pequeñas mejoras sino hasta que en el año 1804 donde Richard Trevithick incorporó el concepto de la Locomotora a Vapor.

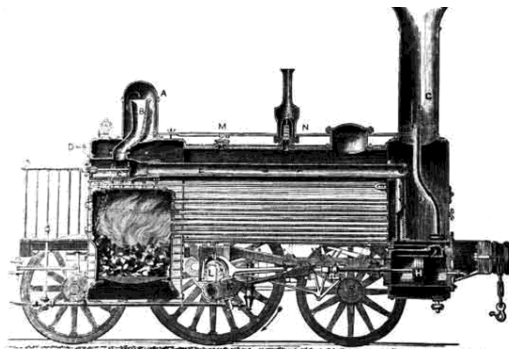


Figura 2.2: Locomotora a Vapor en 1837. Tomado de [12].

Durante varios años este y en esencia el motor de vapor fueron tomados como base para el desarrollo de los seres humanos. El motor de vapor perdió interés a finales del siglo XIX, en ese punto apareció un motor de Combustión Interna. Este en sus inicios trabajaba con fluidos gaseosos, lo cual lo volvía ineficiente y poco práctico; pero a medida que los avances tecnológicos, la sofisticación de herramientas y procesos sumado a la incorporación de combustibles pétreos se logró incorporar un motor de un tiempo en un automóvil. En este punto se marcó un antes y un después en la industria de los autos a combustión interna [13]

En paralelo, una alternativa de movilidad era sugerida. Esta tenía la particularidad de ser muy innovadora para su época. Robert Davidson es conocido como uno de los pioneros de la movilidad eléctrica. En base a creaciones como el Dinamo de Faraday, en el año de 1832 la idea de la locomotora en una matriz eléctrica. Esta se presentaba como una competencia directa de las locomotoras de vapor. El siguiente gran paso sería la creación del carruaje eléctrico en 1836. Estos presentaban la particularidad de no tener baterías recargables ya que estas estaban próximas a inventarse.



Figura 2.3: Primer carruaje eléctrico, con un banco de baterías. Tomado de [14].

El auge de los vehículos eléctricos se dio en los 1890s ya que en este punto, gracias a la notables mejoras de los sistemas de almacenamiento, tanto así que se logro romper un récord para demostrar la potencia de este. En abril de 1899 nació un hito histórico para la electro movilidad ya que después de varias carreras donde se demostraba que el auto eléctrico era muy superior al de combustión, Camille Jenatzy rompía la barrera de los 100 km/h marcando así una época dorada de estos. Otro concepto importante para épocas futuras fue el concepto de la aerodinámica del diseño del chasis, ya que sin esto Jenatzy no hubiera roto el récord.



Figura 2.4: Primer auto que rompió la barrera de los 100 km/h e incorporó un diseño aerodinámico. Tomado de [14].

Se puede decir que el gran salto, que impulsó en gran medida el mercado automotriz e implantó la cultura de movilidad actual se dio a inicios del siglo XX. Aquí principalmente Henry Ford tuvo la visión de entregar un producto económico y fiable a los usuarios teniendo una idea revolucionaria. Ford

UCUENCA

partió de una idea inicial la cual permitiría sacar una marcada ventaja sobre sus competidores. La idea era el uso de piezas iguales producidas en masa con un fácil montaje.

Como punto de partida, Ford planteó estaciones de trabajo donde un operario podría armar un automóvil solo pero con el paso del tiempo, y diferentes ensayos de prueba y error en la línea de producción, Ford había descubierto la clave para aumentar de manera notable la eficiencia de su planta. En el año de 1913, Henry Ford revoluciona la industria implantando la idea de una cadena móvil donde cada obrero tenía su tarea definida en el auto sin necesidad de desplazarse, sino haciendo que el ensamble vaya hacia ellos. Esto redujo drásticamente el costo del vehículo ya que la producción de cada uno era muy reducida y la mano especializada ya no era necesaria. Por ello esto permitió ampliar el mercado y marcar el inicio de la vida como la conocemos, respecto a la presencia de automóviles. [15]

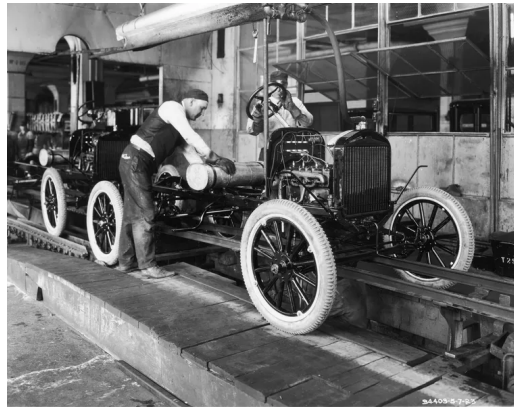


Figura 2.5: Línea de Producción Móvil de Ford . Tomado de [16].

2.2. Tipos de vehículos

Con la gran cantidad de años dedicados al desarrollo de la industria automotriz y gracias a los diferentes avances tecnológicos, se ha podido llegar a clasificar a los vehículos por diferentes características como pueden ser su funcionalidad o su estructura física.

En este caso, priorizaremos la clasificación que se les da a los vehículos por su propulsión. Aquí podemos enumerar los siguientes

UCUENCA

- **Vehículos a combustión Interna**

Este es de los más comunes en la actualidad y se dividen en subgrupos según su combustible

- Motores de Gasolina
- Motores de Diesel
- Motores de Gas

- **Vehículos Eléctricos (EV)**

Si bien no son una tecnología nueva, se han visto potenciados en los últimos años debido a su reducida emisión de gases de efecto invernadero.

Aunque existe una extensa clasificación de los vehículos, el documento hará énfasis en los vehículos de combustión interna tanto diésel como gasolina pero especialmente en los vehículos eléctricos EV

2.3. Vehículos a combustión

Históricamente, los motores a combustión en sus inicios tuvieron una constante lucha contra los motores de vapor. Pero con el pasar de los años, este fue ganando terreno hasta llegar a ser el más popular entre los motores respecto al área de transporte, esto fue gracias a las grandes innovaciones en la electrónica que fueron de la mano de este.

En un inicio, Elliot Lenoit fue el primer en implementar un motor de combustión interna pero con la particularidad de ser de dos tiempos y contaba con auto encendido. La gran desventaja era que no estaba ni cerca del rendimiento que presentaba el motor a vapor. Años después Otto tomo las riendas de los motores a combustión y basándose en estudios previos implanto el concepto de un motor a cuatro tiempos. Uno de los inventos que marcaron la historia del motor a combustión fue planteado por Gottlieb Daimler. Este tomo la iniciativa de cambiar el motor impulsado por gas de Otto por un motor a combustible. Este fue un éxito total, tanto así que vendería la patente a la primera empresa de automóviles en el mundo, Panhard-Levassor. Esto tuvo un impacto tan grande que se los implantaron en los procesos industriales. El año de 1892 fue marcado por la invención de la máquina más eficiente jamás creada, el motor a Diesel. Su inventor buscaba superar al motor de Otto por lo que en el año de 1898, su motor después de varias mejoras, superaría la

UCUENCA

eficiencia llegando a un 18% . Siendo así el mas popular en la industria. A continuación se presentará el principio de funcionamiento de los motores de Otto y Diesel ya que son los más relevantes en la actualidad [17]

2.3.1. Principio de Funcionamiento

Dividiremos esta sección en la explicación de los motores de dos y cuatro tiempos, en la cual se especificarán ciertos modelos relevantes como los de Otto y Diesel.

Como punto de partida para entender el funcionamiento de los diferentes tipos de motores, debemos introducir ciertos conceptos básicos. Primeramente, el fenómeno en el que se basa este motor es gracias a la transformación de energía, la cual se encuentra almacenada en el combustible a energía mecánica por medio de una explosión.

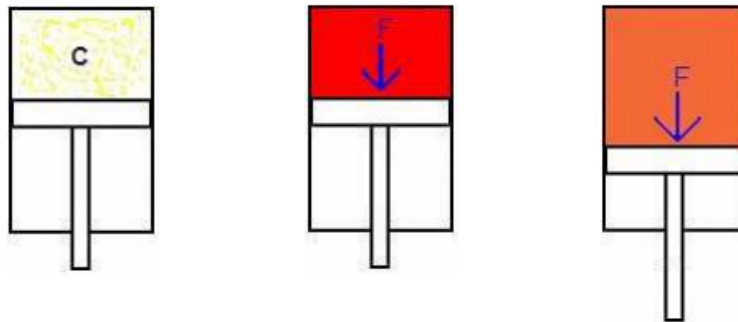


Figura 2.6: Proceso de conversión de energía mediante una explosión. Tomado de [17].

Para lograr este existen varios pasos que serán explicados posteriormente. La fuerza que se genera presentó un problema en el diseño por lo que se tuvo que innovar con un sistema Biela-Manivela. Este realizará una conversión y logrará volver como se ve en la figura posterior

UCUENCA

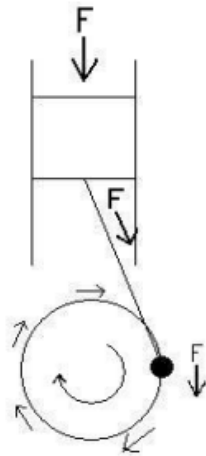


Figura 2.7: Sistema Biela-Manivela usado para transmitir la fuerza generada. Tomado de [17].

2.3.1.1. Motores de Dos Tiempos

Estos fueron los primeros en el mercado, y por la misma razón, tienen un principio más simple de funcionamiento. El tipo más común usado en los motores de combustión de dos tiempos son los creados por Otto.

- 1er. Tiempo. - **Ingreso y Compresión**

Este proceso consisten en que el pistón cae a su punto más bajo PMI y permite el ingreso de aire al cilindro por la lumbrera. Posterior a esto, el pistón sube y comprime el aire en su parte superior [17]

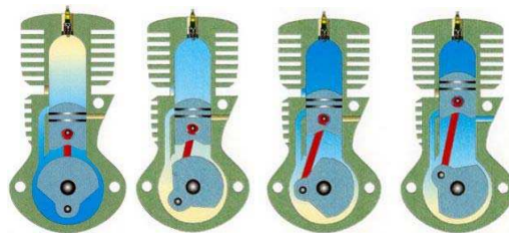


Figura 2.8: Timelapse del proceso en el 1er. tiempo de un motor de dos tiempos. Tomado de [17].

- 2do Tiempo. - **Expansión y Escape**

UCUENCA

En este caso, el pistón llegará a su punto más alto PMS, donde se generará la chispa la cual empuje al pistón hacia abajo hasta la lumbrera para repetir el proceso [17]

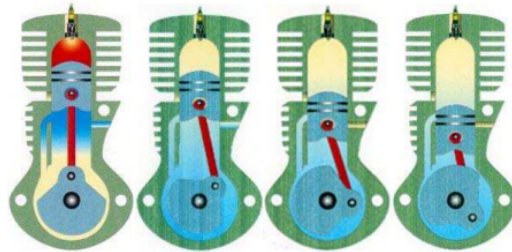


Figura 2.9: Timelapse del proceso en el 2do. tiempo de un motor de dos tiempos. Tomado de [17].

2.3.1.2. Motores de Cuatro Tiempos

En primera instancia se revisará el Motor de cuatro tiempos de Otto. Mecánicamente, este consiste en cuatro recorridos del pistón y dos vueltas de cigüeñal. Lo que caracteriza a este tipo de ciclo, es que la admisión al cilindro, existe una mezcla entre aire y combustible el cual sera el que reaccione con la chispa para empujar el pistón. Se explicará en brevedad cada uno de estos

- 1er. Tiempo. - **Aspiración**

Aquí se procede a aspirar una mezcla de combustible y aire la cual hará el que pistón descienda a su PSI.

- 2do Tiempo. - **Compresión**

Al momento de que el pistón llega a su PSI, la válvula de ingreso se cierra y el pistón comienza a subir evaporando la mezcla

- 3er. Tiempo. - **Combustión**

Con ayuda de la bujía, una chispa será generada la cual reaccionará con el vapor formando una explosión la cual aumentará la presión en el cilindro y hará que el pistón baje

UCUENCA

■ 4to. Tiempo. - **Escape**

Cuando el pistón llega al PSI, la válvula de escape en la parte superior del cilindro es abierta la cual alivia la presión en el cilindro lo cual hace que el pistón suba finalizando el ciclo [18]

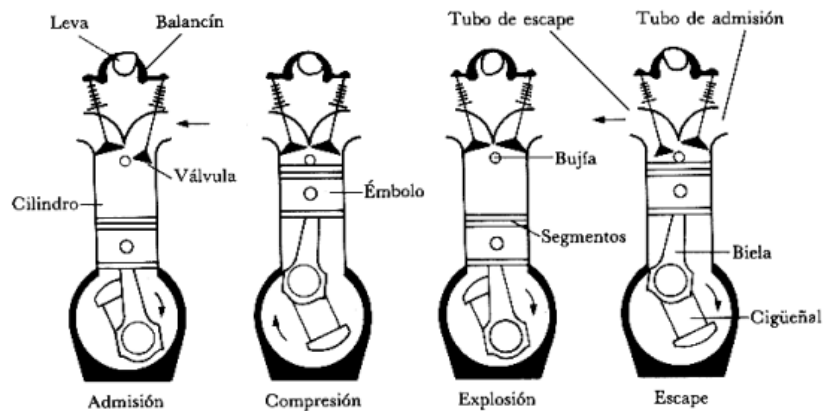


Figura 2.10: Timelapse del ciclo Otto en el interior de un motor de cuatro tiempos. Tomado de [19].

Por otro lado, otro ciclo muy conocido es el ciclo Diesel. Este tiene gran similitud con el ciclo Otto pero la gran diferencia es la forma de inyectar los elementos en el proceso.

■ 1er. Tiempo. - **Aspiración**

A diferencia del ciclo Otto, en este se procede a aspirar solo aire la cual hará que el pistón descienda a su PSI.

■ 2do Tiempo. - **Compresión**

El pistón llegará a su punto mas bajo y subirá comprimiendo el aire y elevando la presión. Esto hará que el aire se caliente y en ese momento el Diesel será inyectado.

■ 3er. Tiempo. - **Combustión**

debido a la elevada temperatura del aire, el Diesel se enciende produciendo que el pistón baje abruptamente a su PSI

UCUENCA

■ 4to. Tiempo. - **Escape**

El cuarto paso es exactamente igual al que esta en el ciclo Otto, la válvula de escape en la parte superior del cilindro es abierta, la presión disminuye y finalizando el ciclo [18]

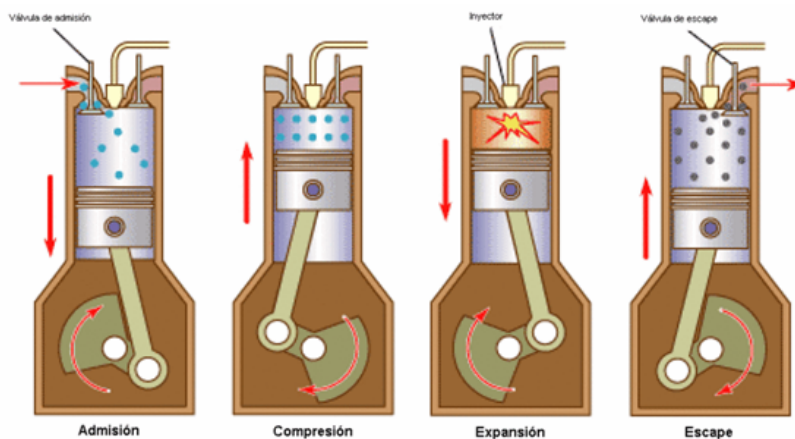


Figura 2.11: Timelapse del ciclo Diesel en el interior de un motor de cuatro tiempos. Tomado de [19].

2.3.2. Consumo energético

En la actualidad, debido al predominio de los motores Otto, el análisis de rendimiento lo realizaremos solo en éste. Sin embargo se plantearán normas que pueden ser generalizadas para diferentes tipos de motor

Para iniciar con un breve análisis del consumo que se presenta en un motor Otto, primero debemos definir conceptos importantes como Energía y Exergía.

La Energía se puede definir como "Magnitud física que se presenta bajo diversas formas, está involucrada en los procesos de cambio de estado, se transforma y se transmite, depende del sistema de referencia y fijado éste, se conserva" [20]. Esta se rige por varias leyes universales pero se puede decir que principalmente se basa en la ley de conservación, la cual alega que la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma y transfiere.

UCUENCA

Un concepto muy utilizado, y que está directamente relacionado con la energía de un sistema es la exergía. Esta se puede definir como "La cantidad de trabajo obtenible cuando alguna materia se lleva a un estado de equilibrio termodinámico con los componentes comunes del entorno natural por medio de procesos reversibles" [21]. Este tiene como particularidad que no se rige por las mismas leyes ya que a diferencia de la energía, la exergía tiene la capacidad de ser destruida en un proceso irreversible. En líneas generales este es una medida de calidad y a su vez de cantidad de energía útil.

Para el análisis, primero se analizará el rendimiento de un motor a combustión interna y posteriormente, este se contrastarán con datos reales la eficiencia de un automóvil. Lo primero será analizar el comportamiento del calor en el sistema. el eje primordial en este se describe por los cuatro tiempos en el funcionamiento del motor

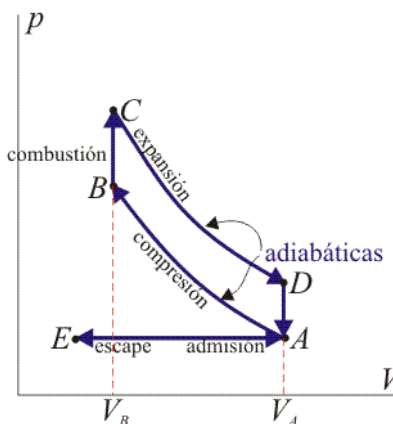


Figura 2.12: Gráfico de la variación del volumen en el proceso Otto. Tomado de [22].

En un inicio, el primer proceso es el intercambio de calor en la combustión dentro del cilindro del motor. En este se debe aclarar que tanto el ciclo de admisión y compresión no generan calor por lo cual no podrían ser tomados en cuenta en este análisis.

■ Compresión

UCUENCA

Principalmente, por la misma acción que realiza el pistón, la energía interna aumenta lo que produce una elevación de temperatura en el gas.

- **Expansión**

Contrario a la compresión, el trabajo que se realiza en el gas será contrario por lo cual afectará el proceso previo.

Los dos procesos previos suman una energía de cero por lo que el intercambio de calor se da en los dos otros procesos

- **Combustión**

La energía que se almacena en el combustible es transferida al aire (Q_c) bajo ciertas condiciones previas, lo cual aumenta la energía interna de este.

- **Escape**

Aquí se entrega al ambiente aire (Q_f) lo cual asumiendo que es un ciclo cerrado, será usado para un nuevo ciclo.

Se puede decir que el rendimiento de la máquina en casos ideales sería el calor perdido entre los procesos de inyección y de escape

$$\eta = \frac{Q_c - Q_f}{Q_c} \quad (2.1)$$

Esto se puede generalizar para proceso de un vehículo en general. Se deberá tomar en cuenta dos factores adicionales

- **Calor perdido en refrigeración**

El primero, y bastante importante ya que afecta directamente a la temperatura del gas, es la refrigeración del vehículo (Q_r). Aquí se considerará tanto la temperatura de entrada y salida del refrigerante como el coeficiente de calor específico de este.

UCUENCA

- **Perdidas por convección y conducción**

Este es un factor importante ya que durante todo el proceso se pierde energía por el simple hecho de que los implicados hagan contacto con la superficie. Se denomina (Q_k).

Por lo que el rendimiento total del vehículo será

$$\eta = \frac{Q_c - Q_f - Q_r - Q_k}{Q_c} \quad (2.2)$$

$$\eta = \frac{W}{Q_c} \quad (2.3)$$

Como se habló anteriormente, la exergía puede ser destruida por lo que también puede representarse. existen varias formas donde analizar esta pero se enumerarán las más importantes. Pero esto puede ser tomado mas como una medida de calidad por la cantidad de energía que se puede perder

- **Calor de combustible**

Esta es la exergía en el combustible (Ex_c) y puede ser medida en kW. Dependerá de parámetros internos del combustible

- **Debido a las masas**

Este se debe a la presencia de masas que no participan en el proceso pero se encuentran presentes en este(Ex_f). Dependerá de la entalpía y entropía del proceso.

[22]

Lo expuesto previamente es un análisis más minucioso de la energía presente en el proceso pero la manera más popular de conocer el rendimiento de un vehículo es mediante la cantidad de galones consumidos por cada 100 kilómetros recorridos. A continuación se presentarán varios consumos diferenciados por el centímetros cúbicos del motor

Cuadro 2.1: Consumo de Galón por cada 100km. Tomado de [44]

CC	Galón/100km promedio
1.2	1.45
1.4	1.69
2.0	2.13
2.5	2.08

Estos datos es valores promedio de consumo, ya que en un caso los motores más pequeños consumirán menos como en los centros urbanos pero la diferencia en carretera es muy grande para los motores con mayor CC. Esto se puede reflejar de mayor manera en un gráfico donde se compara los diferentes valores de consumo dependiendo de la zona

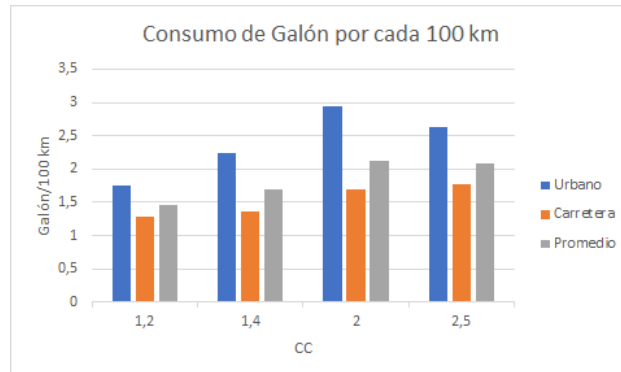


Figura 2.13: Consumo de cada vehículo en base a la zona recorrida. Tomado de [44].

2.4. Vehículos eléctricos (EVs)

Los vehículos eléctricos pueden ser considerados como una combinación de diferentes subsistemas, donde cada uno interactúa con el otro del tal forma que el sistema completo, EV, trabaje. Estos subsistemas tienen diferentes grados de interrelación con los otros y existen múltiples tecnologías que pueden ser usadas para operarlos [31]. En la Figura 2.14 se puede observar las partes fundamentales de los subsistemas y su contribución al sistema final.

Sin importar el grado de interacción de estas partes, ya sea que trabajen extensivamente con otras o que interactúen poco, la combinación de los trabajos de todos estos sistemas permiten la operación del EV.

Existen distintas configuraciones y opciones para el diseño y construcción de un EV. Este tipo de vehículos pueden ser accionados únicamente con energía eléctrica almacenada, algunos pueden generar la energía eléctrica desde un motor de combustión interna o ICE, y existen otros tipo de automóviles que emplean en conjunto motores de combustión interna y motores eléctricos [31].

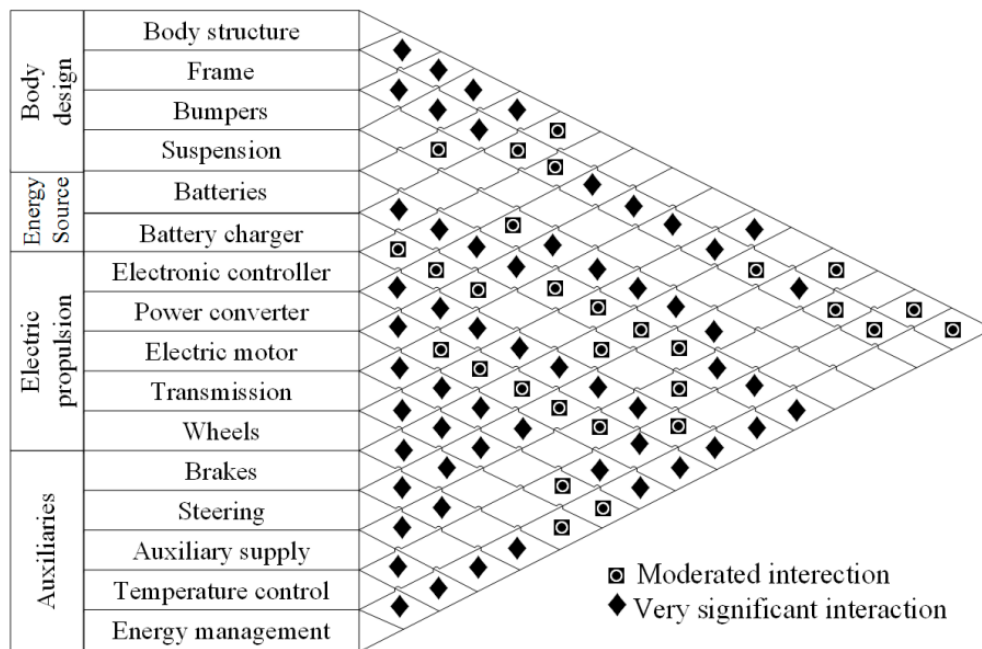


Figura 2.14: Principales subsistemas de un EV y sus interacciones. Algunos subsistemas están muy estrechamente relacionados mientras que otros tienen interacciones moderadas. Tomado de [31].

2.4.1. Tipos de vehículos eléctricos

Como ya se mencionó previamente, los EVs pueden ser accionados únicamente por propulsión eléctrica o pueden tener también un motor de combustión interna. El Comité Técnico de la Comisión Electrotécnica 69 (Vehículos Rodantes Eléctricos) propusieron que los vehículos que usen más de dos tipos de fuentes de energía, almacenamiento o alternadores puedan ser llamados

UCUENCA

vehículos eléctricos híbridos o HEV siempre que una de esas fuentes provea de energía eléctrica. Sin embargo, en el dialecto informal y posteriormente los especialistas comenzaron a llamar a los vehículos cuya combinación es de motor de combustión interna y motor eléctrico o EM como HEVs, los vehículos con fuente de batería y capacitor se comenzaron a llamar ultra-capacitor-assisted EVs, y aquellos con batería y celda de combustible como FCEVs. Esta terminología categoriza los EVs de la siguiente manera:

2.4.1.1. Vehículo Eléctrico con Batería (BEV)

Este tipo de vehículo eléctrico posee una sola fuente de energía que está almacenada en varios paquetes de baterías; entonces, la autonomía de este tipo de vehículo depende directamente de la capacidad de la batería, donde una carga suele ser capaz de recorrer 100 - 250 km o más [32]. Este rango también es dependiente de las condiciones de manejo, la configuración del vehículo, las condiciones de las ruedas, el clima, el tipo de batería y la edad del mismo [31].

La gran desventaja asociada al uso de este tipo de vehículo es el tiempo de recarga del paquete de baterías, el cual siempre se será varias veces comparado con el pequeño tiempo requerido para rellenar el tanque de combustible en los vehículos de combustión interna. El tiempo de recarga depende principalmente de la estación de carga, es decir, las configuraciones del cargador, su infraestructura y nivel de potencia.

Las ventajas de la utilización de los BEVs es que son de construcción, operación y conveniencia simple. No producen ningún gas de efecto invernadero al operar, no crean ningún ruido; por lo tanto, son beneficiosos para el ambiente en fase de operación. La propulsión eléctrica es capaz de proveer de rápidos y altos pares mecánicos, incluso a bajas velocidades.

Teniendo presente la figura 2.15, donde se presenta un estudio de los requerimientos de par mecánico contra revoluciones por minuto en zonas urbanas o densamente pobladas, se puede observar que un BEV es capaz de satisfacer las necesidades de bajas y medias velocidades con altos pares haciéndolo perfecto para su aplicación en zonas urbanas [31].

El esquema básico del circuito convertidor de potencia de un BEV presenta los principales componentes como lo son: una fuente DC, el inversor, el motor eléctrico y el control de velocidad. Considere la figura 2.16.

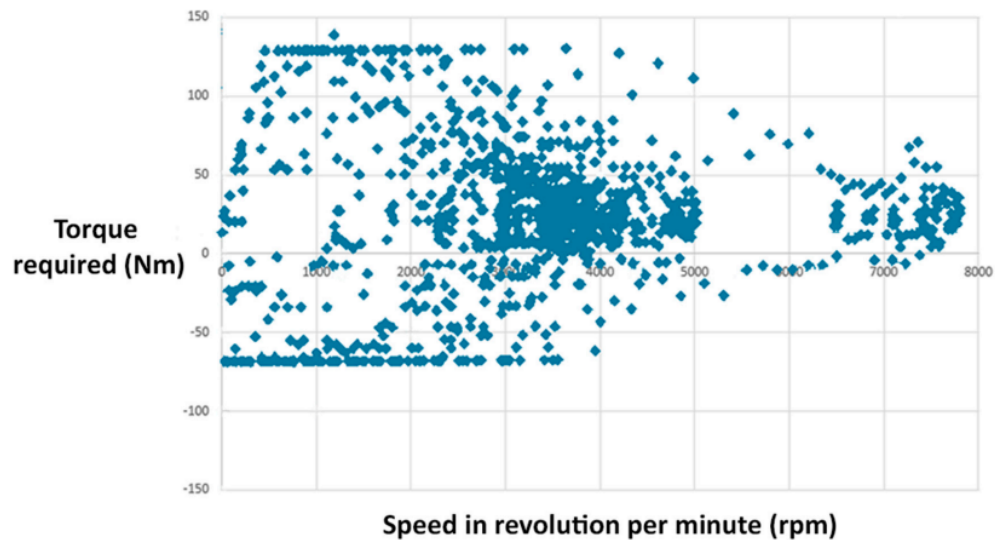


Figura 2.15: Requisitos de par-velocidad del Programa Federal de Conducción Urbana. La mayor parte de la conducción se realiza entre un rango de 2200 a 4800 rpm con una gran cantidad de par. Bajas rpms requieren gran cantidad de par, por ejemplo 125 Nm; los vehículos urbanos operan en esta región debido a la gran frecuencia de arranque-paradas. Tomado de [31].

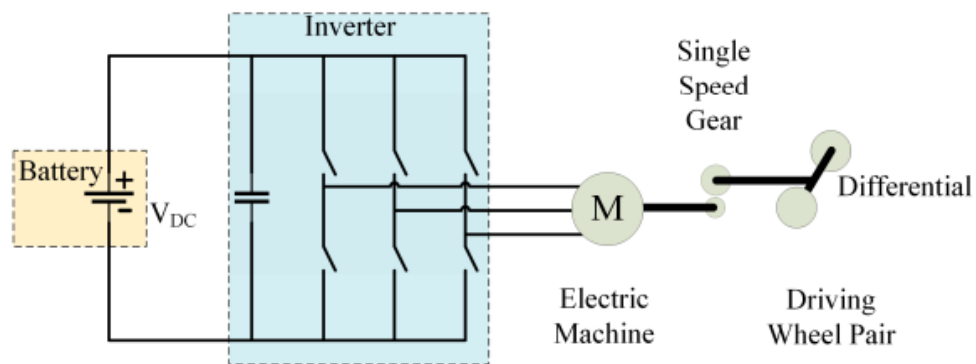


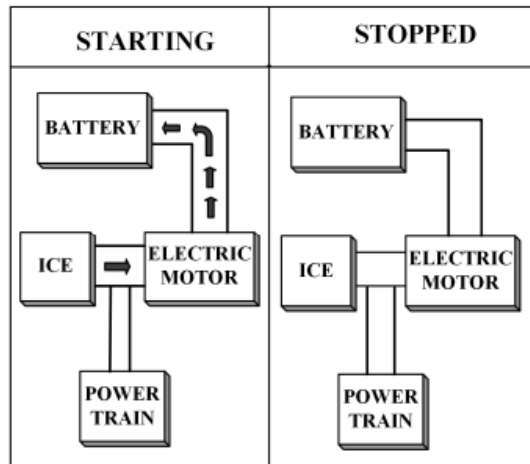
Figura 2.16: Configuración del BEV. La energía DC de la batería es convertida en AC por medio del inversor para alimentar al motor eléctrico. Tomado de [31].

2.4.1.2. Vehículo Eléctrico Híbrido (HEV)

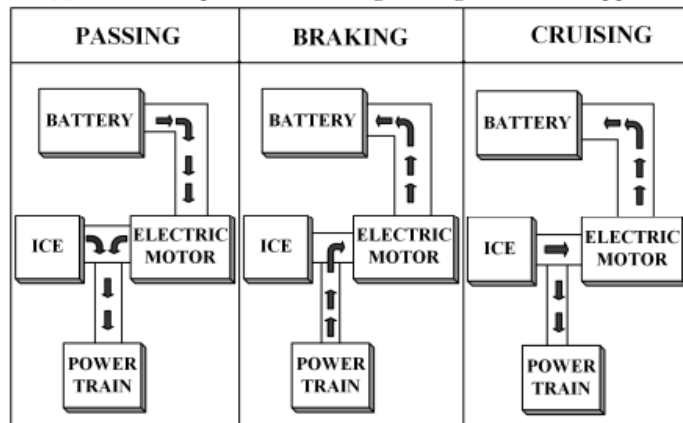
Este tipo de vehículo emplean conjuntamente dos tipos de energía para arrancar, tienen motor de combustión interna y motor eléctrico. Por lo general, usan la potencia eléctrica cuando la demanda de potencia es baja. Esto es deseable en zonas urbanas donde se da la condición de baja velocidad. Además, favorecen la reducción del consumo de combustible en atracones de tráfico donde el motor de combustión permanece apagado y se reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. Cuando se presenta un situación donde se requiere alta velocidades, el HEV cambia a modo de motor de combustión interna. También es posible un modo de operación donde las dos fuentes de potencia actúen, se da cuando se produce un cambio de marcha y se usa la potencia eléctrica para reducir el cambio abrupto de potencia hacia un comportamiento más continuo de valores que mejora el rendimiento del sistema.

En un HEV el motor de combustión interna puede cargar las baterías, lo que también permite que el sistema pueda recuperar parte de la energía mediante el frenado regenerativo. En general, los HEVs son vehículos que usan como fuente principal un accionamiento por combustión interna y que acoplan un tren de transmisión eléctrico para mejorar el kilometraje o mejorar el rendimiento.

Para observar el flujo de energía de un HEV en distintas etapas de funcionamiento refiérase a la figura 2.17, cuando el vehículo está siendo arrancado, el motor de combustión interna puede hacer funcionar el motor eléctrico como generador para producir energía y almacenarla en la batería. Para rebasar se necesita un rápido aumento de velocidad, esto se consigue con la operación conjunta de las dos fuentes entregando potencia a la transmisión. En el proceso de frenado se cambia el modo del motor eléctrico a generador para aprovechar la energía cinética de la transmisión y así cargar las batería por frenado regenerativo. Mientras se conduce, el motor de combustión interna entrega potencia a la transmisión y hace funcionar al motor eléctrico como generador, cargando las baterías. El flujo de potencia se detiene cuando el vehículo para.



(a) Direction of power flow during starting and when stopped.



(b) Direction of power flow during passing, braking and cruising.

Figura 2.17: Flujo de potencia entre los componentes básicos de un HEV durante varias etapas de un ciclo de manejo. Tomado de [31].

Los HEV cuentan con sistemas de gestión de energía cuyo fin es el de obtener la máxima eficiencia de combustible. Por ejemplo, el sistema mostrado en la figura 2.18 tiene como salida la potencia entregada a la transmisión, la cual se divide en potencia del ICE o potencia del EM; y como entrada los parámetros de velocidad, los comandos de manejo ingresados por el usuario, el nivel de carga de la batería SOC y la velocidad del motor eléctrico.

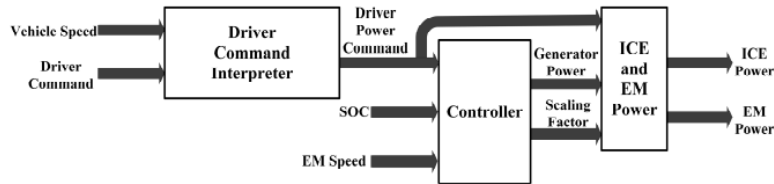


Figura 2.18: Ejemplo de una estrategia de gestión de energía usado en EHV. El controlador divide la potencia entre energía del ICE y EM considerando diferentes parámetros de entrada. Tomado de [31].

2.4.1.3. Vehículo Eléctrico Híbrido Plug-in (PHEV)

El concepto de PHEV surgió con la finalidad de extender la autonomía totalmente eléctrica de los HEVs. Al igual que los HEV usan motor de combustión interna y motor eléctrico con la diferencia de que en los PHEVs la principal fuente de potencia proviene de la energía eléctrica, esto hace que este tipo de vehículos requieran una batería con una capacidad más grande que en los HEVs.

Los PHEVs arrancan en modo completamente eléctrico, funciona con electricidad y cuando las baterías están con carga baja se activa el ICE para ingresar rápidamente par o para cargar el paquete de baterías. Entonces el motor de combustión interna es usado para extender la autonomía del HEV, otra diferencia fundamental con estos últimos es que los PHEVs tienen los elementos de carga que otorgan la capacidad para cargar las baterías directamente desde la red eléctrica.

La principal ventaja es que este tipo de vehículos consumen menos cantidad de combustible, reduciendo los costos asociados a esto y dejando un huella de carbono menor que las de los HEVs.

2.4.1.4. Vehículo Eléctrico con Celda de Combustible (FCEV)

Los FCEV que también son llamados vehículos de celda de combustible (FCV) funcionan mediante reacciones químicas que usan el combustible en las celdas para producir electricidad. Para llevar a cabo la reacción se utiliza el hidrógeno, por lo que también son llamados vehículos de celda de combustible de hidrógeno. Este tipo de vehículos contienen el hidrógeno en tanques presurizados especiales. Además, para la reacción es necesario el oxígeno, que es aspirado del ambiente [31].

La electricidad es generada en las celdas de combustible y es conducida hacia

UCUENCA

el motor eléctrico, y el excedente es almacenado en baterías o supercapacitores. El otro producto de esta reacción es agua, la cual es expulsada por los tubos de escape. Considere la figura 2.19 donde se observa la configuración de un FCEV.

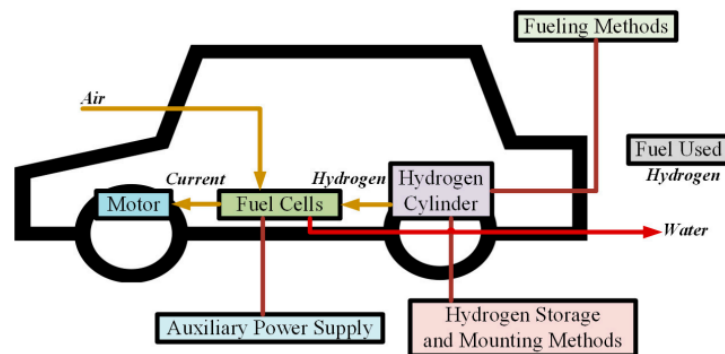


Figura 2.19: Configuración de un FCEV. El oxígeno del aire y el hidrógeno de los cilindros reaccionan en las celdas de combustible para producir la energía eléctrica que mueve al motor. Únicamente agua es producida como subproducto, la cual es expulsada al ambiente. Tomado de [31].

Los FCEV presentan dos grandes ventajas. La primera viene de la mano con el tipo de reacción utilizada, dado que da la posibilidad que el vehículo genere su propia electricidad sin emitir gases de efecto de invernadero, disminuyendo le huella de carbono. La otra ventaja es que gracias a la utilización de tanques de combustible, en este caso hidrógeno, requieren la misma cantidad de tiempo para recargarse que un vehículo a combustión interna. Si únicamente dependiera de estas dos situaciones, los FCEV se presentarían como el verdadero futuro de los automóviles. Sin embargo, esta tecnología presenta ciertas desventajas que aún generan problemas en su implementación. El primer inconveniente es la escasez de estaciones de recarga de hidrógeno que, al igual que las estaciones de carga para BEV o PHEV, dejarán de ser poco comunes. Otra desventaja, según el Departamento de Energía de los Estado Unidos, es que el costo de las celdas de combustible es muy alto, más de \$ 200 por kW, comparado con los motores de combustión interna, menor a \$ 50 por kW. La última desventaja y la más preocupante, en términos de

seguridad, es la posibilidad de fugas de hidrógeno de los tanques ya que es un gas inflamable.

2.4.2. Técnicas de conversión de energía

Las fuentes de los vehículos eléctricos almacenan energía DC que, por lo general, es obtenida de las líneas AC conectadas a la red. Para entregar energía al motor es necesario convertir esta energía nuevamente y para ellos es necesario utilizar convertidores de energía eléctrica DC-DC o DC-AC. Se puede observar el flujo de energía en la gráfica 2.20.

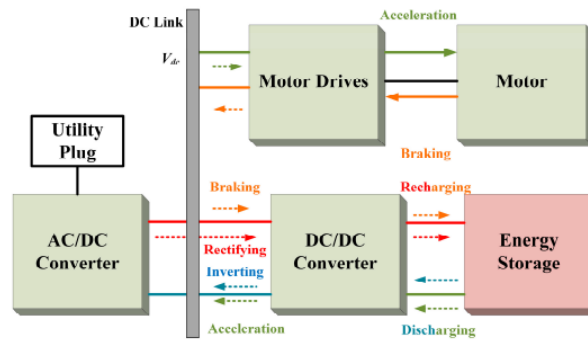


Figura 2.20: Ubicación típica de los diferentes convertidores en un EV. AC-DC transforma la energía de la red para ser almacenada a través de otro estado de conversión DC-DC. La energía es suministrada a la batería al motor desde el almacenamiento a través del convertidor DC-DC y el motor arranca. Tomado de [31].

Existe una gran variedad de convertidores de energía eléctrica y una detallada clasificación se puede observar en la figura 2.21. Para una vista más detallada de los motores generalmente más utilizados refiérase al Apéndice A, y en el caso de los inversores se puede ver en el Apéndice B.

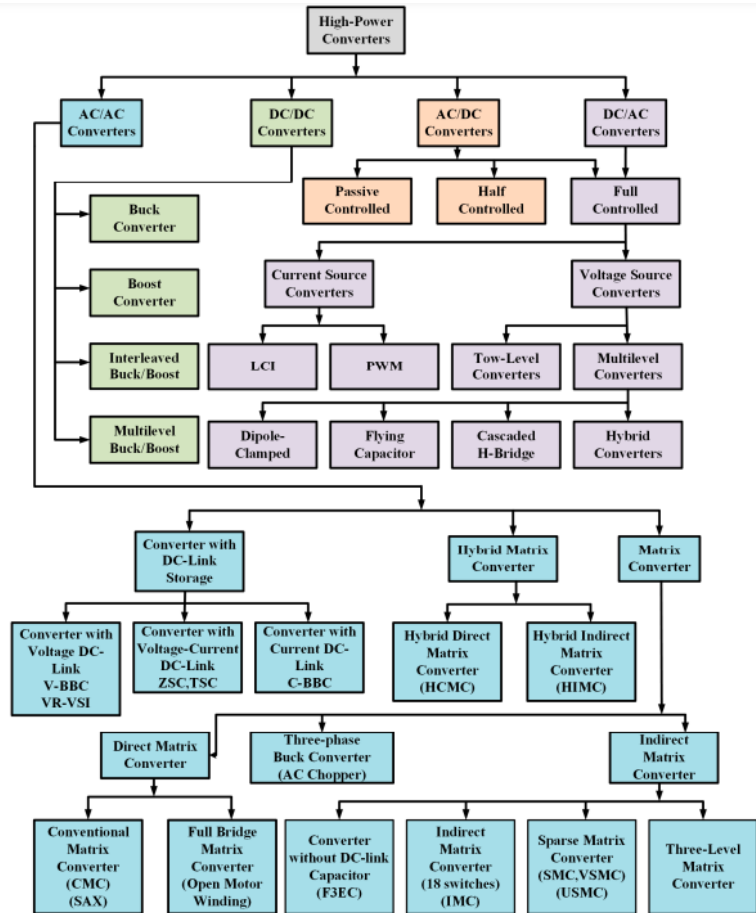


Figura 2.21: Detallada clasificación de convertidores de potencia. Tomado de [31].

2.4.3. Estaciones de Carga

Para la carga de vehículos eléctricos, pueden ser usados sistemas DC o AC. Hay diferentes configuraciones de corriente y voltaje para la carga, denominados como "niveles". El tiempo requerido para una carga completa depende del nivel que está siendo empleado. Los estándares que deben cumplir los cargadores son los siguientes:

SAE J2929: Estándar de seguridad del sistema de batería de propulsión de vehículos eléctricos e híbridos

ISO 26262: Seguridad Funcional-Vehículos rodantes

ISO 6469-3: Parte 3: Protección de las Personas Contra Riesgos Eléctricos- Especificaciones de Seguridad-Vehículos Rodantes Eléctricos
 ECE R100: Protección contra Descargas Eléctricas
 IEC 61000: Compatibilidad Electromagnética (EMC)
 IEC 61851-21: Parte 21: Requisitos de los Vehículos Eléctricos para la Conexión Conductiva para una Alimentación AC/DC-Sistemas de Carga Conductiva de Vehículos Eléctricos
 IEC 60950: Seguridad de los Equipos de Tecnología de la Información
 UL 2202: Equipamiento de los Sistemas de Carga de Vehículos Eléctricos
 FCC Parte 15 Clase B: El Código Federal de Regulación (CFR) FCC Parte 15 para Servicios de Medición de Emisiones de (EMC) para Equipos de Tecnología de la Información [31].
 IP6K9K, IP6K7 clases de protecciones
 -40°C a 105°C temperatura del aire ambiente

2.4.3.1. Carga AC

El sistema de carga AC provee una alimentación AC que es convertida en DC para la carga de baterías. Este sistema necesita un convertidor AC-DC. Considere el cuadro 2.2 que resume la clasificación dada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) para carga AC.

Cuadro 2.2: Características de los cargadores AC según SAE.

<i>Nivel</i>	<i>Voltaje</i>	<i>Imax</i>	<i>Valor de la protección</i>	<i>Potencia de salida</i>
1	120 V, monofásico	12 A	15 A	1.08 kW
	120 V, monofásico	16 A	20 A	1.44 kW
	208 a 240 V, monofásico	16 A	20 A	3.3 kW
2	208 a 240 V, monofásico	32 A	40 A	6.6 kW
	208 a 240 V, monofásico	<80 A	Por NEC 635	<14.4 kW
3	208/480/600 V	150-400 A	150 A	>14 kW

Tomado de [31].

Cargar un pequeño vehículo eléctrico usando un sistema de Nivel 1 puede tomar entre 0.5 y 12.5 horas. Esta situación provoca que el sistema sea ideal para carga nocturna [31]. Según [31] 'Cargadores rápidos' se considera a los sistemas que recargan un paquete de baterías de un vehículo eléctrico

UCUENCA

en promedio en no más de 30 minutos. Todos los cargadores rápidos AC son de nivel 3, sin embargo no todos los cargadores de nivel 3 pueden ser considerados como carga rápida.

2.4.3.2. Carga DC

Los sistemas DC requieren cableado dedicado e instalaciones y pueden ser montados en garages o estaciones de carga. Estos sistemas tienen mayor potencia que los sistemas AC y pueden cargar vehículos eléctricos más rápido. Como la salida es DC, el voltaje tiene que ser cambiado para diferentes vehículos para adaptarse a los paquetes de baterías, las estaciones modernas lo realizan automáticamente. Todos los sistemas de carga DC tienen un Equipo de Servicio de Vehículo Eléctrico (EVSE) permanentemente conectado que incorpora el cargador. La clasificación se realiza dependiendo de los niveles de potencia que suministran a la batería, considere el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3: Características de los cargadores DC según SAE.

<i>Nivel</i>	<i>Voltaje DC</i>	<i>Imax</i>	<i>Potencia de salida</i>
1	200-450 V	<80 A	<36 kW
2	200-450 V	<200 A	<90 kW
3	200-600 V	<400 A	<240 kW

Tomado de [31].

2.4.3.3. Carga Inalámbrica o Wireless

La carga inalámbrica o transferencia de potencia wireless (WPT) es un sistema que no requiere de cableado, haciendo al sistema más seguro frente a robos o problemas por conexiones sucias o mojadas que aún se encuentra en desarrollo [31].

2.5. EV a ser analizado

2.5.1. Antecedentes: BYD (Build Your Dreams)

Con el gran crecimiento de la economía de China y con la pujante clase media creciente en las recientes décadas, se han comenzado a apreciar los efectos negativos hacia el ambiente. Por este motivo las autoridades del gobierno y la comunidad internacional impulsan el cambio de matriz energética en este sector enfocado hacia vehículos eléctricos accionados por medio de

energía renovable por medio de políticas de incentivos y subsidios hacia este sector. Esto ha llevado que hasta el año 2015 se tenga un mercado de varias empresas enfocadas al desarrollo de modelos de vehículos eléctricos. Considere el siguiente cuadro [33].

Table 1
New energy vehicles makers in China.

Maker	Model	Battery type	Range (km/km/h)
BAIC (Beijing Auto)	ES 210	Lithium ion	175/130
	EV 200		200/125
	E150 EV		140/125
	C30 EV		200/160
BeiqiFoton	Midi EV	Lithium manganese	170/140
BMW Brilliance	Zinoro 1E	Lithium iron phosphate	150/130
	e5		220/160
BYD	e6	LiFePO ₄	330/160
	T3		220/160
BYD-Daimler	DENZA EV	LiFePO ₄	253/150
Changan	Benni EV	Lithium ion	150/120
	E30*		160/125
	Eado EV		160/140
Chery	eQ EV	Lithium ion	200/100
	Riich M1	LiFePO ₄	120/120
Dongfeng	E30L	Lithium ion	160/80
Dongfeng Nissan	Venucia E30	Lithium ion	160
FAW	Besturn B50 EV	Lithium ion	140/147
FAW Toyota	Ranz EV	Lithium ion	120
FAW Volkswagen	Carely	LiFePO ₄	110/145
Geely	EK-2	LiFePO ₄	180/150
Great Wall	Haval M3 EV	LiFePO ₄	160/130
GreenWheel EV	Jimma (Jammer)	Lithium ion	160/110
Hafei	Saibao EV	Lithium ion	180/130
Haima	Freema EV	LiFePO ₄	160/90
JAC	iEV	LiFePO ₄	160/95
Kandi EV	K11 (Panda EV)	LiFePO ₄	80/80
Lifan	320 EV	LiFePO ₄	130/120
	620 EV		200/120
SAIC (Shanghai Auto)	Maxus EV80	LiFePO ₄	170
	Roewe E50		180/130
Shanghai GM	Springo	LiFePO ₄	150/130
	ZotyeZhidou E20		120/80
Zotye	E200	Lithium ion	120/80
	E30		150/80
	Cloud 100 EV		150/85
	5008 (Nomad II) EV		200/100
	M300 EV		200/120

Source: Reproduced with some changes from China Auto Web (2015).
* 100 Changan E30 EVs started to serve as taxis in Beijing in February 2012.

Figura 2.22: Vehicles markers China. Tomado de [33].

BYD es la compañía más grande de China de manufacturación de vehículos eléctricos nacida en 1995 fabricando baterías para teléfonos móviles, y creció rápidamente mediante el apoyo de gobiernos locales y central de China hasta, donde a corte de 2015, la empresa tenía 190 mil empleados alrededor del mundo [33].

BYD Company Limited ha aplicado su estrategia denominada como "7+4 strategy", también conocida como Green Mobility Strategy, que consiste en electrificar todo el transporte que actualmente depende de los combustibles

UCUENCA

fósiles. El 7 hace referencia al transporte por carretera, como tránsito urbano, taxis, coches particulares, camiones de basura, logística de construcción urbana y mercancías. Y el 4 se refiere a entornos todoterreno, como puertos; almacenes; minería y aeropuertos [33].

2.5.2. Van BYD T3 Pasajeros

La van BYD T3 es un vehículos logístico puramente eléctrico con un bajo consumo y alto rendimiento. Tiene una transmisión puramente eléctrica, con un motor síncrono magnético AC con cambios automáticos que facilitan su operación y mantenimiento [34].

Está alimentada por la batería NCM de Lithium-ion con una capacidad de 50.3 kWh, con carga rápida, largo ciclo de vida y sostenibilidad.

El vehículo es silencioso en operación y produce cero emisiones y, en condiciones controladas, es capaz de recorrer 300 km con una sola carga [34].

El T3 cuenta con un combo de conectores de carga AC y DC según el estándar Europeo. El cargador AC de 6.6 kW permite maneras flexibles de conectar con diferentes facilidades de carga. El cargador DC de 40 kW, de carga rápida, permite un carga completa en aproximadamente 1.3 horas [34].

Tiene un espacio de carga de 3.8 metros cuadrados y 0.7 toneladas. Con una velocidad máxima de 100 km/h.



Figura 2.23: BYD T3. Tomado de [34].

2.6. Sistemas Fotovoltaicos

2.6.1. Resumen

El término fotovoltaico es una combinación de dos palabras griegas $\phi\acute{o}\varsigma$, $\phi\acute{o}\tau\acute{o}\varsigma$ (luz, de la luz), y el nombre del físico italiano Alessandro Volta (1745-1825). Él descubrió la primera batería electroquímica funcional, y la unidad de la electricidad, Voltio, lleva su nombre. Entonces, una traducción de la palabra fotovoltaico puede ser batería de luz o fuente de luz. De manera general, se entiende la palabra fotovoltaico como la conversión directa de la luz de sol en energía eléctrica [35].

El componente básico de todo sistema fotovoltaico es la celda solar. Esta consiste en la mayoría de los casos de silicio, un semiconductor que también es usado en diodos, transistores, y chips de computadora. Mediante el dopaje en ciertos materiales se puede crear una unión p-n que crea un campo eléctrico en el cristal. Si la luz incide en la celda solar, los portadores de carga son movidos por el campo eléctrico a los contactos. El resultado en los contactos de la celda solar es la creación de un voltaje aproximadamente 0.5 V. La corriente liberada varía dependiendo de la radiación solar y del área de la celda, y se encuentra entre 0 y 10 A [35].

La manera de lograr un voltaje aprovechable de 20-50 V es mediante la conexión de varias celdas en serie en un módulo solar. Además, la celda solar en los módulos debe estar mecánicamente protegidos de la influencia del ambiente, por ejemplo: humedad.

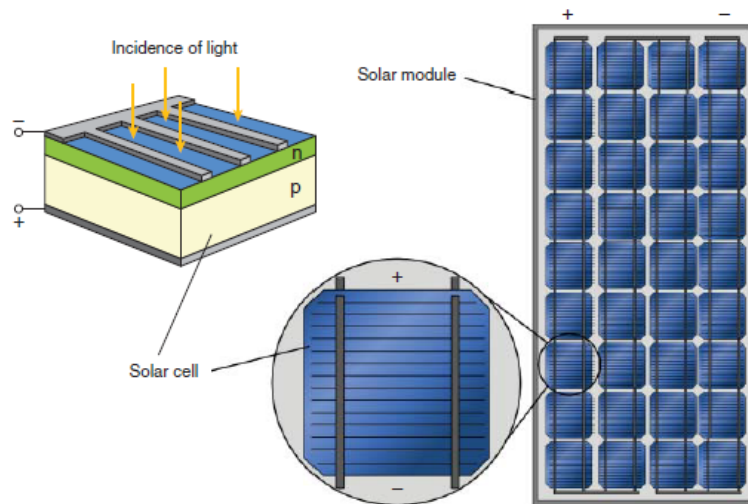


Figura 2.24: La celda solar y el módulo solar como componentes básicos de los sistemas fotovoltaicos Tomado de [35].

2.6.2. Historia

En el año de 1839, el científico francés Alexandre Edmond Becquerel descubrió el efecto fotoeléctrico cuando realizaba experimentos electroquímicos. El ubicó dos electrodos de platino revestidos en un contenedor con un electrolito y determinó que había corriente fluyendo entre ellos. Becquerel encontró que la fuerza de la corriente cambia cuando es expuesto a la luz. En este caso, esto se trataba del fotoefecto exterior en el cual los electrones se mueven fuera del cuerpo fijo cuando este es expuesto a la luz [35].

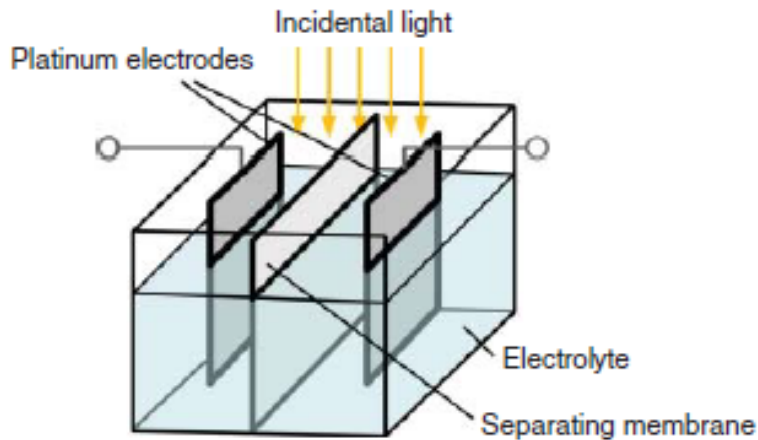


Figura 2.25: Fotoefecto. Tomado de [35].

En 1873, el ingeniero británico Willoughby Smith y su asistente Joseph May descubrieron que el semiconductor selenio cambia su resistencia cuando es expuesto a la luz. Ellos también observaron por primera vez el fotoefecto interno relevante para los sistemas fotovoltaicos en el cual los electrones en el semiconductor son arrancados de sus enlaces por la luz y, por lo tanto, están disponibles como portadores de carga libres en el cuerpo de estado sólido [35].

Tres años después, los ingleses William Adams y Richard Day descubrieron que una varilla de selenio provista de electrodos de platino puede producir energía eléctrica cuando es expuesta a la luz. Con esto, se probó por primera vez que un cuerpo sólido puede convertir directamente energía lumínica en energía eléctrica [35].

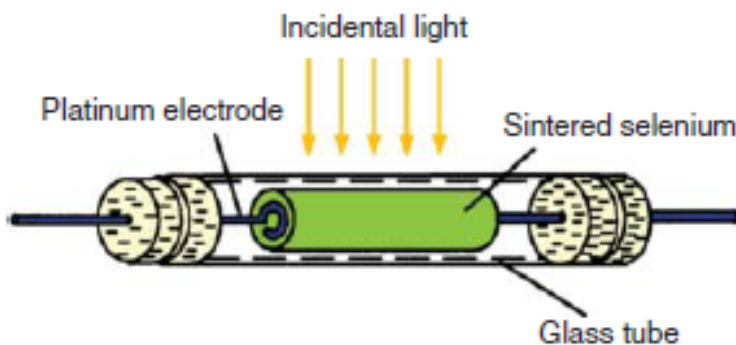


Figura 2.26: La primera celda solar por Adams y Day. Tomado de [35].

En 1883, el inventor neoyorquino Charles Fritts instruyó un pequeño "Módulo" de celdas de selenio con una área de aproximadamente 30cm² que tenía una eficiencia de alrededor 1 por ciento, donde él cubrió las celdas de selenio con un muy delgado electrodo de oro. Él envió un modulo a Werner von Siemens (Inventor y empresario alemán, 1816-1892) para su evaluación. Siemens notó la importancia del descubrimiento y declaró a la Real Academia de Prusia que con este "Se ha demostrado por primera vez la conversión directa de luz en electricidad". Como resultado, Siemens desarrolló un instrumento de medida de iluminación basado en selenio [35].

En los años siguientes, se profundizó la explicación física del efecto fotoeléctrico. Esto fue particularmente debido a Albert Einstein (1879-1955) quién presentó su teoría cuántica de la luz en 1905, por lo que fue ganador del Premio Nobel 16 años más tarde. Al mismo tiempo, hubo avances tecnológicos: En 1916, el químico polaco Jan Czochralski de AEG Company descubrió el proceso de crecimiento de cristales llamado como él. Con el proceso Czochralski, se hizo posible producir cristales semiconductores como monocristales de alta calidad [35].

En 1950, el coinventor del transistor, William B. Shockley (1910-1989) presentó una explicación del método de funcionamiento de la unión p-n y también sentó los fundamentos teóricos para las celdas solares usadas hoy en día. Sobre esta base. Daryl Chapin, Calvin Fuller, y Gerald Pearson en los Laboratorios Bell desarrollaron la primera celda solar con un área de 2cm² y una eficiencia de hasta 6 % y presentada al público el 25 de abril de 1954.

UCUENCA

El New York Times publicó esto en su portada el siguiente día y prometió a los lectores 'El cumplimiento de uno de los grandes deseos de la humanidad - el uso de la energía casi ilimitada del sol' [35].

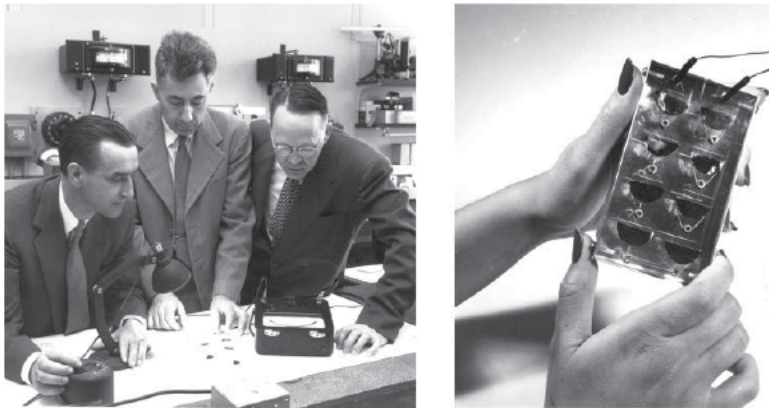


Figura 2.27: Los inventores de la primera celda solar real: Chapin, Fuller, y Pearson. La figura siguiente muestra el primer módulo solar en el mundo, un mini-módulo de ocho celdas solares. Tomado de [35].

La celda Bell combinó por primera vez el concepto de unión p-n con el fotoefecto interno. En este caso, la unión p-n sirve como un transportador que remueve los electrones liberados. Por lo tanto, este efecto puede ser descrito más precisamente como el fotoefecto de la capa de agotamiento o también como efecto fotovoltaico [35].

En los siguientes años, la eficiencia llegó a 10%. Debido a los altos precios de los módulos solares en esa época, estos estaban disponibles únicamente par aplicaciones especiales. El 17 de marzo de 1958, el primer satélite con celdas solares a bordo fue lanzado: El satélite americano Vanguard 1 con dos transmisores a bordo. El transmisor 1 contaba con baterías de mercurio y cesó su operación después de 20 días. El transmisor 2 obtenía su energía de seis celdas solares adheridas a la capa externa del satélite y operó hasta 1964. El éxito de este proyecto hizo que la energía fotovoltaica fuera usada como fuente de energía para satélites. Los desarrollos en 1960 fueron impulsados por los vuelos espaciales. Además de las celdas de silicio, fueron presentadas las primeras celdas solares de GaAs y otras alternativas de materiales [35]. En 2007 fue lanzada la nave espacial Dawn, que contaba con dos matrices solares de 5 kW cada una que lograban una eficiencia del 27.5% en el espacio debido a que en largas distancia disminuye la intensidad del sol. Esta sonda

UCUENCA

tenía la tarea de examinar el planeta enano Ceres, que se encuentra a 400 millones de kilómetros del Sol. En 2015 la sonda llegó al planeta y difundió fotos del cuerpo [35].

2.7. Evaluación Económica de proyectos

2.7.1. Valor del dinero en el tiempo (Descuento)

Los proyectos de suministro de electricidad tienen largos períodos de vida. Para los proyectos de generación la mayoría de los gastos vienen de forma de costos de operación (combustible, carbón, etc...) y suceden posterior a la puesta en marcha. Estos flujos financieros futuros ocurren en diferentes tiempos y circunstancias. De tal manera, estos flujos tienen distintos valores del dinero que si éstos ocurrieran en el tiempo de la evaluación del proyecto. Por lo tanto, el valor del dinero (descuento) y la elección de un adecuado factor de descuento son muy importantes para proyectos intensivos de capital a larga duración con costos operativos moderados o grandes, como lo es el suministro de electricidad [36].

2.7.2. Descuento

Generalmente, los flujos financieros (gastos e ingresos) de los proyectos no ocurren durante la evaluación del proyecto. Estos suceden frecuentemente después de varios años y en diferentes tiempos. Esta situación provoca que los flujos financieros no puedan ser añadidos o substraídos directamente (1 US\$ de 2022 no es igual a 1 US\$ de hace 20 años) por lo que los flujos financieros deben ser ajustados a un valor del dinero a determinada fecha, la cual es llamada fecha base o año base [36].

El valor del dinero puede cambiar por estas razones:

Los ingresos futuros se erosionan por la inflación; por lo tanto el poder adquisitivo de una unidad monetaria actual es mayor que una unidad en años futuros [36].

La existencia de riesgo: un ingreso o gasto que ocurre hoy en día es una cantidad segura. Los ingresos o gastos futuros pueden variar de los valores proyectados [36].

Necesidad de un retorno: al realizar inversiones y renunciar a gastos actuales, un inversor esperar ser recompensado con un retorno futuro [36].

De esta forma, un empresarios espera ganar un rendimiento o prima de su inversión considerando los tres factores: inflación, riesgo y expectativa de un

UCUENCA

retorno real. Esto es, recuperación de la inversión, mas un rendimiento que coincida con el mercado y la estimación de estos tres factores [36].

La estimación del valor presente (descuento) es la idea central del proceso de evaluación financiera y económica. Ya que la mayoría de los costos y beneficios de los proyectos ocurren en el futuro, es esencial que estos sean descontados de su valor presente (valor real) para su adecuada evaluación. La valoración presente será llevada a cabo a través de descuento del desembolso financiero del siguiente año (F_1) a su valor presente multiplicando por un factor de descuento. Este factor es función de la tasa de descuento (r), la cual es la recompensa que los inversores demandan por aceptar un pago retrasado. También se refieren a ella como la tasa de rendimiento o costo de oportunidad del capital, esto es

$$\text{valor presente } (P) = \text{factor de descuento} \times F_1 \quad (2.4)$$

donde

$$\text{factor de descuento} = \frac{1}{1+r} \quad (2.5)$$

El factor de descuento suele ser llamado el factor de valor presente. Este es definido como cuanto vale hoy una unidad monetaria en el futuro [36].

Si se toma una tasa de retorno constante se puede obtener el factor de descuento en n años, esto sería

$$\text{factor de descuento} = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (2.6)$$

y

$$\text{valor presente } (P) = \text{factor de descuento} \times F_n \quad (2.7)$$

El factor de descuento es universal, con n positivo ($+n$) es para los futuros y con negativo ($-n$) es para los años pasados, con $n=0$ para el año base. Es importante denotar que esta evaluación está basada en interés compuesto. Donde, el retorno esperado en el primer año es también añadido a la inversión inicial y esta suma es reinvertida a la misma tasa de interés. Diferenciándose de interés simple donde solo se paga interés sobre la inversión original [36].

Cuando el procedimiento de descuento o capitalización es aplicado únicamente al dinero, la tasa (r) es frecuentemente llamada como tasa de interés. Cuando el procedimiento es aplicado a recursos económicos en un sentido

UCUENCA

más general (la industria de suministro eléctrico), es usualmente llamada tasa de descuento. La tasa de descuento es, por lo tanto, una generalización del término tasa de interés. Esta toma en consideración factores como al costo de oportunidad, estructuración de capital y riesgo [36].

2.7.3. Flujos de caja descontados

Es mejor si la valoración neta presente es expresada en términos de flujos de caja descontados. Un flujo de cada puede ser definido como la diferencia entre el dinero recibido y el dinero pagado. Los flujos de caja futuros de cada año pueden ser descontado del valor presente dividiéndolos por el factor de descuento correspondiente para cada año [37].

Por lo tanto, la corriente de flujos $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ que ocurren en los años $0, 1, 2, \dots, n$ tiene un valor presente de

$$P = M_0 + \frac{A_1}{(1+r)} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n} = \sum_N \frac{A_n}{(1+r)^n} \quad (2.8)$$

En el caso especial de $A_0 = A_1 = A_2 = \dots = A_n = A$,

$$P = A \cdot \sum_N \frac{1}{(1+r)^n} \quad (2.9)$$

En la evaluación de proyectos, las corrientes financieras de los primeros años son las de mayor importancia y deben predecirse con precisión porque estos son los flujos financieros con mayor valor real e impacto. Una tasa de descuento baja ayuda a retener un valor significativo de los flujos monetarios futuros, mientras que una tasa alta hará que los flujos a largo plazo pierdan casi todo valor [37].

Considerando el caso anterior donde se presenta un pago regular de una cantidad de dinero cada año es posible reducir la ecuación de la sumatoria usando la siguiente expresión:

$$x \cdot \frac{1-x^n}{1-x} = x + x^2 + x^3 + \dots + x^n \quad (2.10)$$

Entonces la ecuación relacionada con el valor presente puede tener las siguientes formas:

$$P = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \right] \cdot A \quad (2.11)$$

UCUENCA

o

$$A = \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \cdot P \quad (2.12)$$

El factor $\frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$ es llamado como el factor de valor presente de series uniformes que se puede denotar como P/A . Por otro lado el factor $\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$ es llamado factor de recuperación de capital, A/P [37].

De igual manera es posible relacionar el valor futuro del dinero $F = P(1+r)^n$ con la ecuación 2.11 , donde se puede obtener las siguientes relaciones:

$$A = \left[\frac{r}{(1+r)^n - 1} \right] \cdot F \quad (2.13)$$

o

$$F = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \cdot A \quad (2.14)$$

Donde el factor de la ecuación 2.13 es llamado factor de fondo de amortización y el de la ecuación 2.14 es el factor de cantidad compuesta; denotados por A/F y F/A , respectivamente [37].

2.7.4. Análisis Económico

Se pueden usar tres métodos para la evaluación económica de un proyecto:

- Método del valor presente
- Método del costo anual
- Método de la tasa de retorno

2.7.4.1. Método del valor presente

En este método, todos los ingresos y egresos del flujo de caja de un proyecto son convertidos en valores presentes. El proyecto con un flujo presente neto (Net Present Worth, NPW) negativo es considerado viable. De dos proyectos viables, el que tenga el menor flujo neto es el mejor proyecto [37].

UCUENCA

2.7.4.2. Método del costo anual

En este método, todos los ingresos y egresos de los flujos de caja de un proyecto son convertidos a series de flujos de cada de ingreso o egreso uniformes anuales. Un proyecto con el egreso anual uniforme menor que su respectivo ingreso es considerado atractivo, el proyecto con el menor Costo Anual Uniforme Equivalente Neto (Net Equivalent Uniform Annual Cost, NEUAC) es considerado el más favorable [37]. Este método es especialmente atractivo si los tiempos de vida de los proyectos estudiados son diferentes.

2.7.4.3. Método del la tasa de retorno

Hay varios ingresos y egresos de los flujos de caja durante la vida de un proyecto. Si se considera una tasa de interés para la cual los flujos de caja netos son igual a cero. La tasa resultante es la Tasa de Retorno (Rate of Return, ROR). Este valor debe ser comparado con la Tasa de Retorno Atractiva Mínima (Minimum Attractive Rate of Return. MAROR). Si el ROR es mayor que la MAROR, el proyecto es atractivo. De varios proyectos atractivos, el que tenga el mayor ROR es el más favorable [37].

Capítulo 3

Medición y Análisis de Aplicación

3.1. Recorridos a aplicar, definición de criterios para la muestra

Para el estudio, buscando tener un alto grado de similitud a un recorrido habitual de un vehículo institucional de la Universidad de Cuenca por lo que se explicarán los criterios para la selección de los recorridos.

3.1.1. Criterios de selección

- **1er Recorrido** Para el primer recorrido, se busca tener una interconexión entre los diferentes campus de la Universidad, donde se represente principalmente una conducción cotidiana con tráfico y variaciones de altura no muy marcadas
- **2do Recorrido** A diferencia del primero, se desea proyectar el estudio a un punto fuera de la ciudad el cual cuente con una vía rápida y una distancia parecida al anterior. En esta se debe considerar la baja presencia de tráfico así como pequeñas variaciones de altura. Con ello se podrá lograr contrastar dos diferentes modos de conducción con una distancia parecida
- **3er Recorrido** En recorrido final se busca poner a prueba el vehículo EV bajo diferentes condiciones. Dentro de este se prevé tener un recorrido extenso así como grandes pendientes para poder constatar la respuesta del EV. Será el recorrido donde se puede probar varios elementos del vehículo, especialmente el freno regenerativo con el que cuenta.

Estas rutas fueron tomadas en base a recorridos comunes realizados tanto por funcionarios como estudiantes de la Universidad

UCUENCA

3.1.2. 1er Recorrido

En este caso se busco una circulación entre los diferentes campus que son los puntos de mayor interés de los posibles usuarios de un vehículo EV. El recorrido consiste en iniciar desde el laboratorio de la Micro red ubicado en el Campus Balzay. La siguiente parada se realiza en el Campus Central de la Universidad ubicado en la Avenida 12 de Abril. Después de esta punto, el cual es el eje principal ya que se ubica en el punto medio de la ciudad, se procedió a ir al Campus Yanuncay cerca de la autopista Cuenca-Azogues para posterior a ello realizar el recorrido más extenso hacia la Granja Irquis. Este se ubica en las afueras de la ciudad a aproximadamente 17 km en la vía a Girón. a la vuelta con un poco más de 50 km recorridos, se continua hacia en centro histórico de la ciudad donde se encuentra la Facultad de Hospitalidad. La ultima locación a visitar fue la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca. Este se encuentra junto al hospital regional Vicente Corral Moscoso y siendo este la ruta mas directa de las previamente visitadas para llegar nuevamente al Campus Balzay. En total, el kilometraje recorrido en este caso fue de 68 km

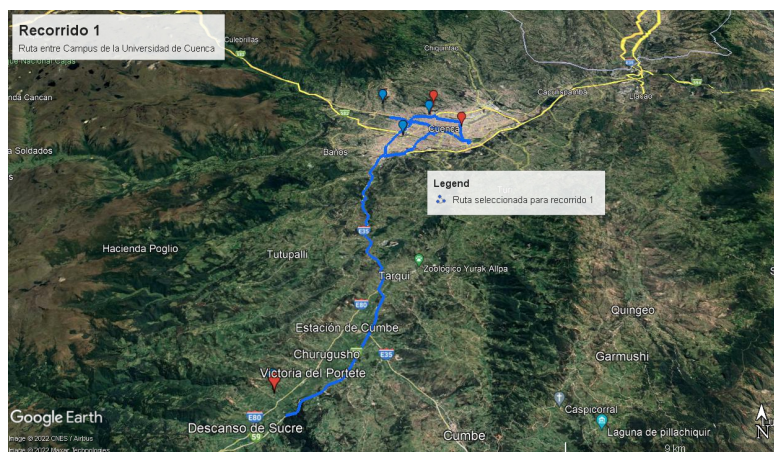


Figura 3.1: Primer recorrido realizado en el vehículo BYD

3.1.3. 2do Recorrido

Para la selección del siguiente recorrido, se buscó un punto de interés fuera de la ciudad pero que no supere los 30 km, con el fin de poder compararlo de manera más directa con el primer recorrido. Por ello, se decidió dirigirnos hacia la Central El Descanso. Este está aproximadamente a 26 km desde

UCUENCA

Campus Balzay y ha sido un lugar de interés para estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica. Esta ruta tiene un kilometraje menor al anterior pero la gran diferencia en este caso es el uso de una carretera de alta velocidad como lo es la Autopista Cuenca-Azogues, la cual permite un consumo más uniforme de la batería del vehículo ya que cuenta tanto con menor tráfico como menores obstáculos haciendo que la variación de la velocidad sea mínima.

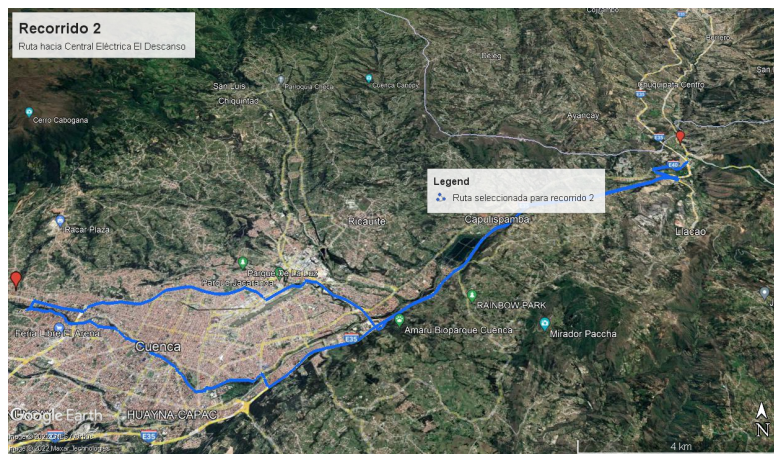


Figura 3.2: Segundo recorrido realizado en el vehículo BYD

3.1.4. 3er Recorrido

El último recorrido realizado por la VAN eléctrica fue el más extenso, por ende el más desafiante, enfocado al nuevo Proyecto Eólico Minas de Huasacacha, ubicado en Yuluc, provincia de Loja en el límite con Azuay. Este recorrido ha sido uno de los que más interés ha generado, especialmente en estudiantes de las diferentes ramas de la ingeniería. Por esto y principalmente por ser un gran desafío para el vehículo eléctrico, se designó este con el recorrido final. En total, la ruta consiste en alrededor de 185 km los cuales parten desde el Campus Balzay hasta este icónico sitio hasta volver al punto inicial. En este se cuenta con varios escenarios como lo son la presencia de grandes variaciones de altura que ponen a prueba las especificaciones brindadas por el fabricante y su rendimiento en una transición tanto de alturas sobre el nivel del mar como clima de la zona. El recorrido dura cerca de cuatro horas.

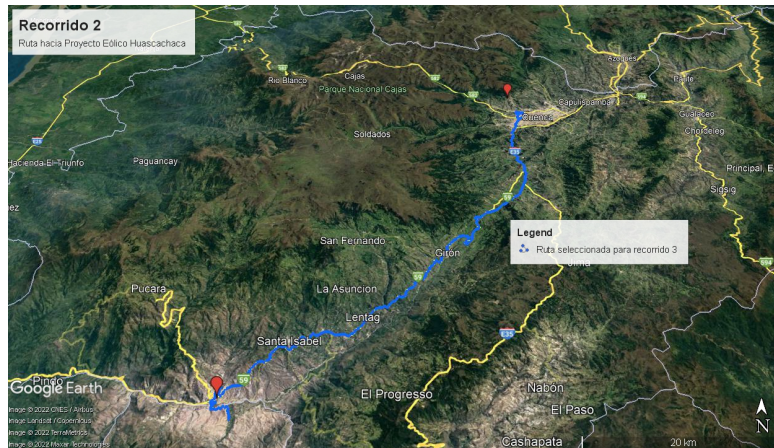


Figura 3.3: Tercer recorrido realizado en el vehículo BYD

3.2. Adquisición, procesamiento y modelación de curvas de carga en base a los datos recolectados en el laboratorio de la Micro red

El laboratorio de la Micro red de la Universidad de Cuenca cuenta con equipos con tecnología de punta y a su vez con un sistema centralizado SCADA.[43] Este cuenta con varios elementos que permiten monitorear los ejes principales en los que se basa el estudio, los cuales son tanto la carga de los vehículos EV y en la generación fotovoltaica.

Para poder tener un monitoreo en todas las variables, dividiremos los sistemas de interés.

3.2.1. Adquisición de datos de estación de carga

En este caso se tienen dos actores principales los cuales serán el sistema SCADA y el tablero principal de conexión. El proceso principalmente se basa en TC's y TP's dentro del tablero los cuales envían la señal directamente al sistema SCADA cada 15 segundos y en programa interpola los datos obtenidos para el intervalo deseado. Esto se puede explicar de mejor manera con el esquema de conexión

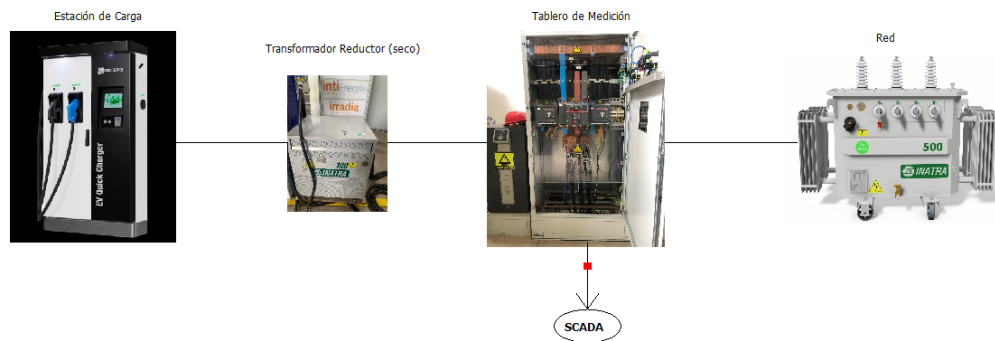


Figura 3.4: Esquema gráfico de conexión de la estación de carga y el sistema SCADA

[43]

3.2.2. Adquisición de datos de sistema fotovoltaico

En los sistemas fotovoltaicos, las variables a ser monitoreadas son dos, tanto la radiación presente durante el día como lo es la potencia que genera el panel a tiempo real. Estos se encuentran en sistemas aislados ya que la radiación pertenece al grupo de la Estación meteorológica y la potencia del panel están en el sistema FV. Para la radiación solar, un piranómetro está ubicado en la terraza el cual envía directamente los datos al centro SCADA. En el caso de los paneles, tiene un funcionamiento similar al de la estación de carga, ya que toda la generación se entrega en un punto común donde con la ayuda de TC's y TP's se logra medir la potencia que estos entregan.

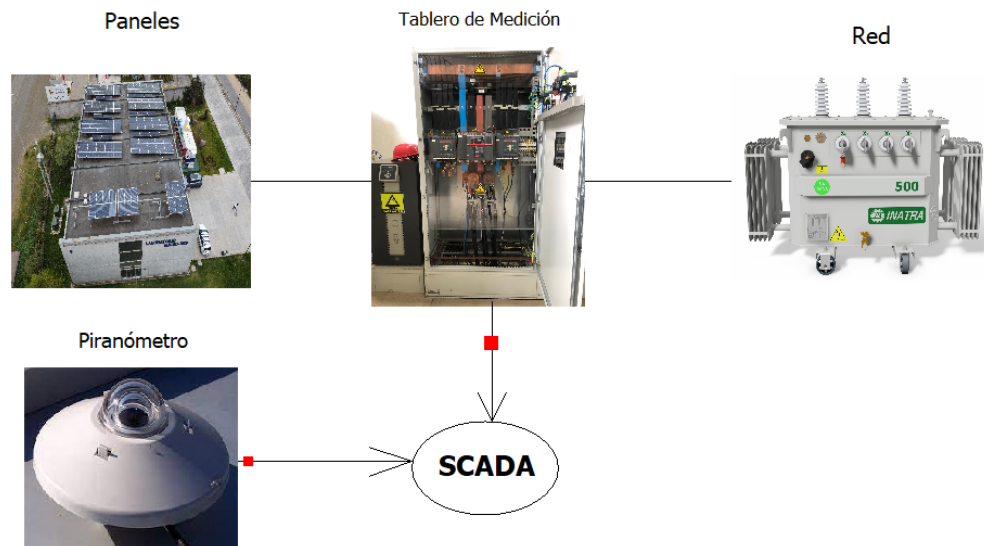


Figura 3.5: Esquema gráfico de conexión del Sistema Fotovoltaico al SCADA

[43]

3.2.3. Procesamiento de datos y generación de curvas

A partir de la explicación previa de como los datos son obtenidos, se definió los periodos de medición tanto del sistema EV como del fotovoltaico.

3.2.3.1. Sistema de carga EV

Para poder recolectar los datos de interés, tomamos como punto de partida el periodo de uso exclusivo del vehículo para este proyecto el cual inicia el día Lunes 5 de septiembre hasta el día 9 del mismo mes. Dentro de este se lograron generar las curvas para todas las rutas previstas en un inicio, tanto de carga rápida como lenta. Esto se pudo realizar gracias al sistema SCADA con el que cuenta la Micro red de la Universidad de Cuenca.

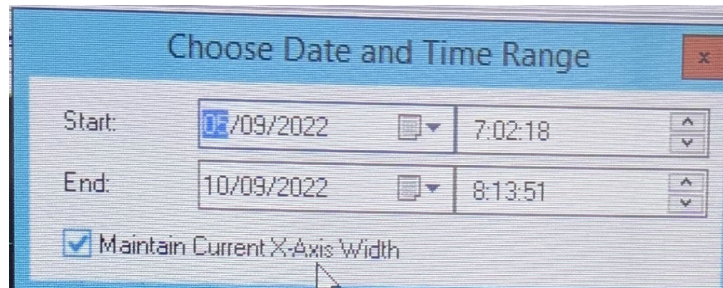


Figura 3.6: Periodo de datos tomados de estación de carga

En la siguiente figura se ven todos los procesos de carga del vehículo y a su vez se puede evidenciar la gran cantidad de pérdidas que presenta el sistema de la Micro red.

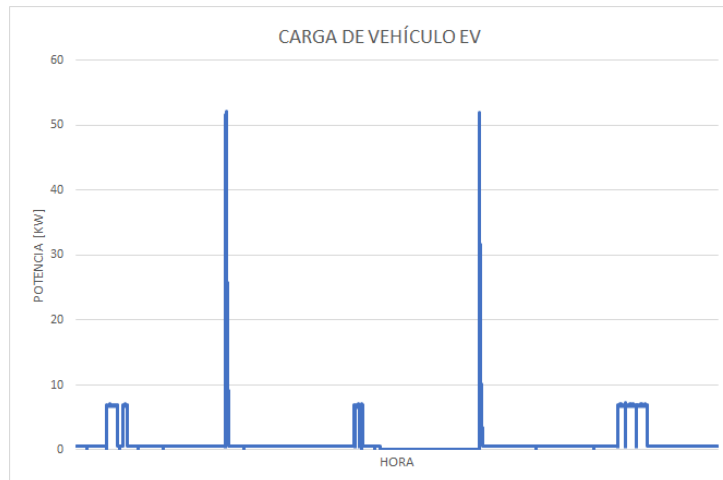


Figura 3.7: Carga generada en el periodo establecido

Como se puede evidenciar, las cargas se diferencian tanto por su potencia pico como por su duración. Esta es la forma más sencilla de diferenciar los dos tipos de cargar, donde las que se producen en largos periodos de tiempo, con una potencia pico baja y de manera más regular son las de carga lenta. Una particularidad dentro del sistema de carga lenta usado en el laboratorio de la Micro red es que usa una salida de 50 KW en AC pero la razón por la que no puede entregar esa potencia es la capacidad del inversor con el que cuenta el vehículo. Este es un gran limitante ya que debe regirse a su capacidad

máxima volviendo una salida de alta potencia en AC a un equivalente de carga en poca potencia

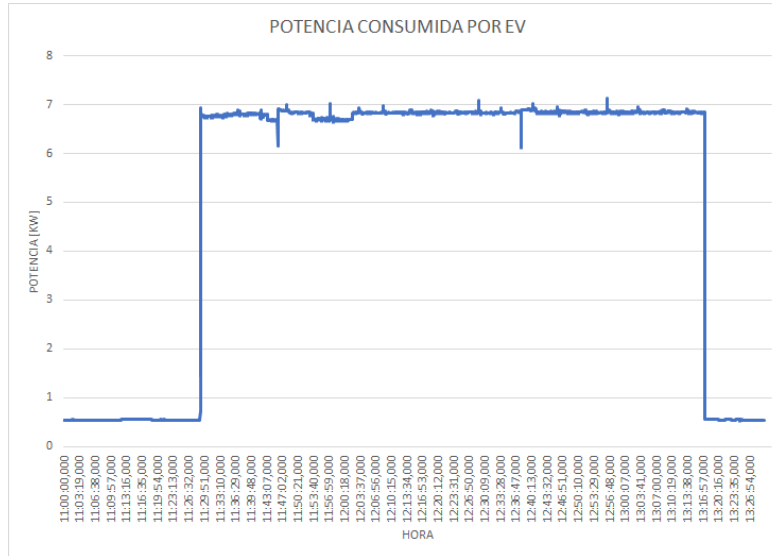


Figura 3.8: Potencia por segundo consumida en una carga lenta.

En el caso de la carga rápida, existe un fenómeno curioso que sucede y el cual es observado en la medición de la misma. Este fenómeno hace referencia a la potencia que es entregada al vehículo ya que esta se va reduciendo conforme la batería del EV se carga. Esto hace referencia a los sistemas de protección con los que cuenta tanto el vehículo como la estación de carga para prevenir y permitir perdurar el estado de la batería.

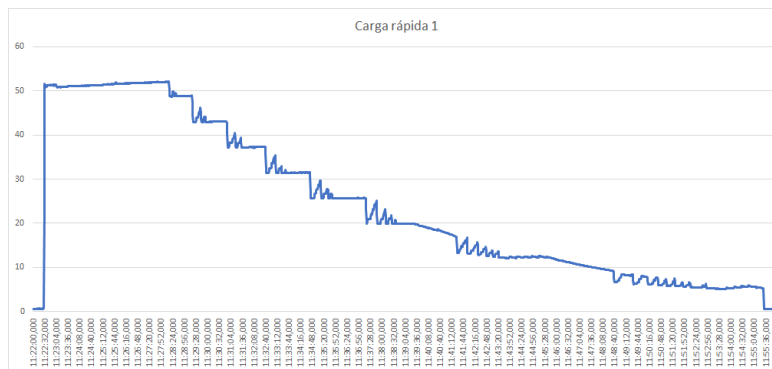


Figura 3.9: Potencia por segundo consumida en una carga rápida.

UCUENCA

3.2.3.2. Sistema Fotovoltaico

Al ser un sistema que necesita un periodo de medición más extenso para poder brindar una idea general de la capacidad de generación, los periodos de medición se dieron durante aproximadamente dos semanas. En este periodo se realizó el censo de dos factores en específico, la potencia que genera todo el conjunto de paneles solares así como la radiación presente en la zona. Esto nos dará una idea clara para una futura proyección del sistema fotovoltaico del laboratorio. El periodo en el que se tomaron los datos fue desde el día 5 de septiembre hasta el 18 del mismo mes.

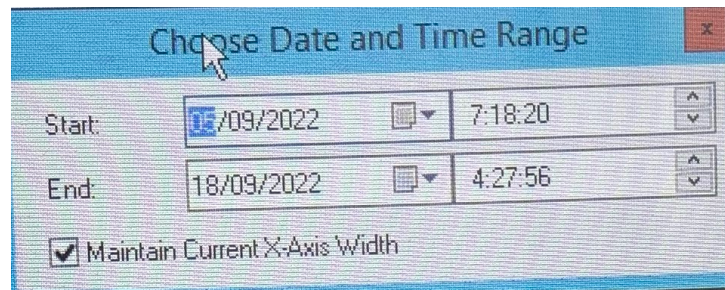


Figura 3.10: Periodo de datos tomados de sistema solar Fotovoltaico

Los datos son muy extensos y la gráfica general del sistema se presenta con gran cantidad de irregularidades como se muestra en la figura 3.11

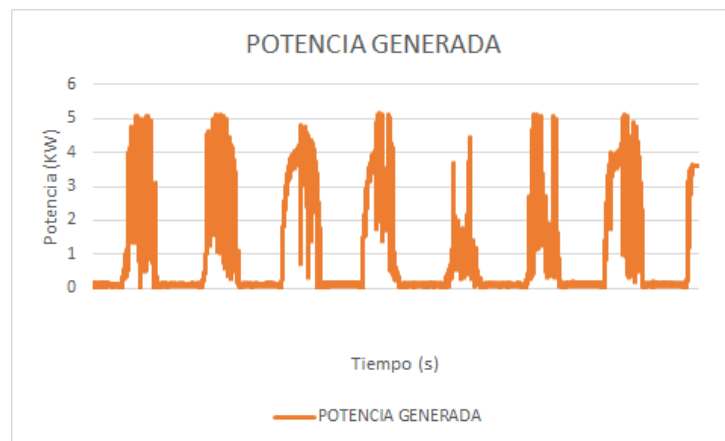


Figura 3.11: Potencia generada por el sistema solar Fotovoltaico

UCUENCA

Al tener gran cantidad de datos, para lograr reflejar una idea más clara y verídica de la generación en el laboratorio, se promediaron todos los datos presentes para poder obtener una gráfica real que presente la generación promedio

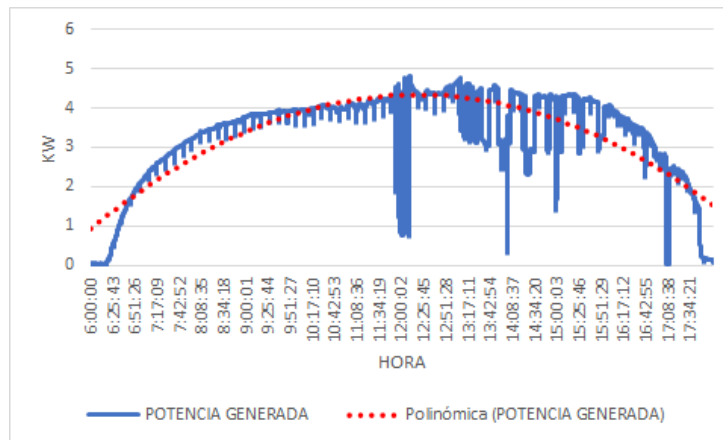


Figura 3.12: Potencia promedio generada por el sistema solar Fotovoltaico

Otra variable fundamental en este estudio es la de radiación promedio en el lugar de estudio, el cual puede asumirse como la radiación sobre la ciudad de Cuenca. Esta se tomó gracias a un piranómetro ubicado en la parte superior del laboratorio junto a los paneles instalados. Los valores se tomarán en el mismo periodo que la potencia generada por los paneles.

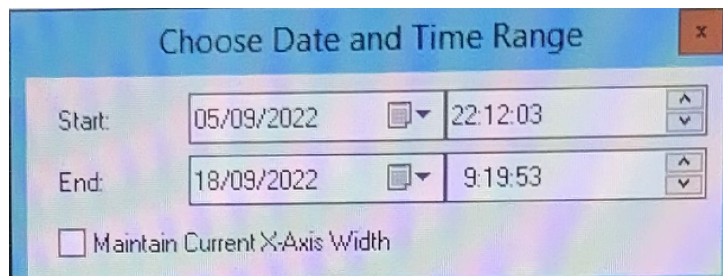


Figura 3.13: Periodo de datos tomados de radiación solar

Las gráficas generadas durante todo este periodo muestran el comportamiento de la radiación sobre la ciudad existiendo en ciertos casos caídas debido a la presencia de nubes

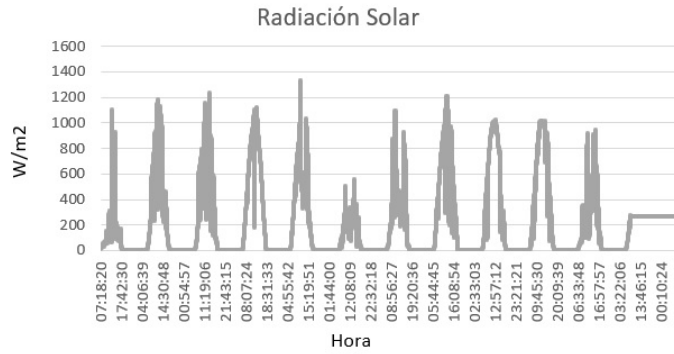


Figura 3.14: Radiación solar medida en el periodo establecido

Como en los casos previos, se toma un valor promedio de la radiación y se define una radiación promedio

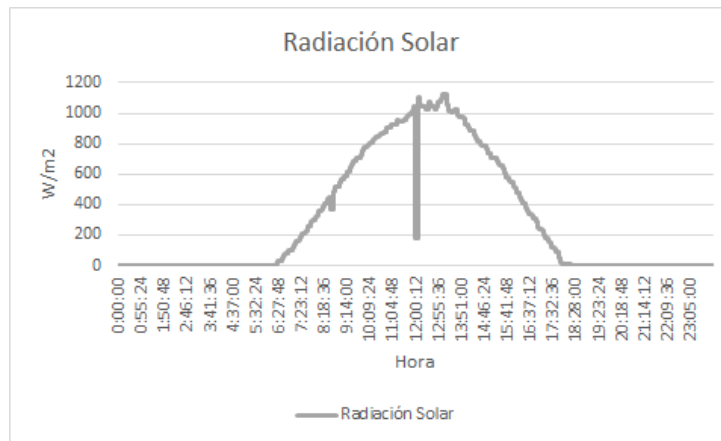


Figura 3.15: Radiación solar promedio medida en el periodo establecido

3.3. Comparación de datos reales vs especificaciones técnicas

Uno de los aspectos fundamentales dentro del estudio era comprobar que tan cercanos a la realidad son los datos entregados por los fabricantes. Por esta razón, primero se encontrará la eficiencia teórica y se procederá a contrastar con los valores obtenidos en cada recorrido.

En base al catalogo entregado por la compañía BYD, fabricante del vehículo propiedad de la Universidad de Cuenca, entrega una autonomía de 300 km gracias a su almacenamiento de 50.3 kWh. Con estos dos valores podremos encontrar el rendimiento por kilómetro teórico del vehículo

$$Rendimiento = \frac{Almacenamiento}{Kilometraje} \quad (3.1)$$

$$Rendimiento = \frac{50,3 \text{ kWh}}{300 \text{ km}} \quad (3.2)$$

$$Rendimiento = 0,1676 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \quad (3.3)$$



Estos valores muestran un resultado promedio donde no se especifica el tipo de conducción ni el terreno donde se lo obtuvo por lo que lo tomaremos como punto de referencia tanto para un recorrido cotidiano como para conducción en carretera. Otro dato no menor es el hecho de la carga, donde en el caso de la rápida a 40 kW nos daría una carga 0-100 % de 1.3h y en lenta de 6.6kW a 7.3h

Tomando en cuenta los tres tipos de recorridos considerados en este estudio, se usó dichos datos para obtener la autonomía en estos casos. Para ello, se tomó como referencia los valores iniciales y finales tanto de la carga de la batería como el kilometraje

- 1er Recorrido

Para el primer recorrido, el cual cubrió los diferentes Campus con los que cuenta la Universidad, se pudieron recolectar los siguientes datos

Cuadro 3.1: Datos tomados del primer recorrido

Punto de Recorrido	Kilometraje	Batería	Registro Fotográfico
Inicio	232 km	100 %	
Final	300 km	79 %	

Un evento muy importante dentro de esto, son las curvas de carga de la estación. En este caso, se realizó el recorrido en dos oportunidades para comparar el caso de la carga lenta como de la carga rápida. En primera instancia, la carga lenta es una recta constante en potencia en un periodo más largo de tiempo. El tiempo que tardó en cargar el vehículo fue de 2 horas específicamente, lo cual se puede observar en la gráfica correspondiente

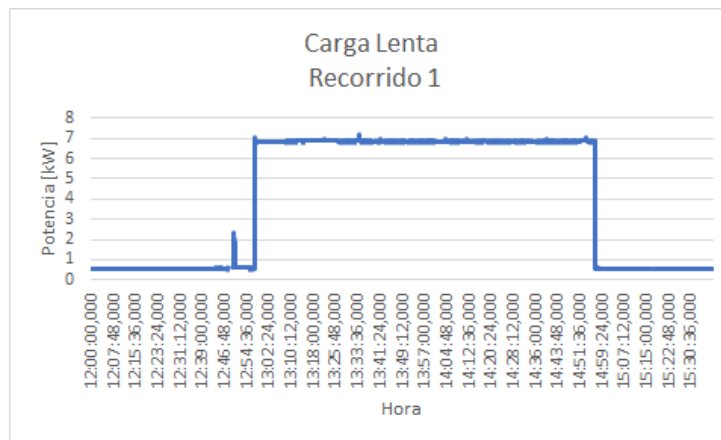


Figura 3.16: Curva de carga lenta para el recorrido 1

En el caso de la carga rápida, esta se tardó 0.55h lo que representa alrededor de 30 minutos. Esto se puede ver dentro de la gráfica, donde como peculiaridad la carga a 50 kW dura hasta llegar al 88 % de la batería y de ahí comienza a decaer progresivamente hasta llegar al valor de 6 kW

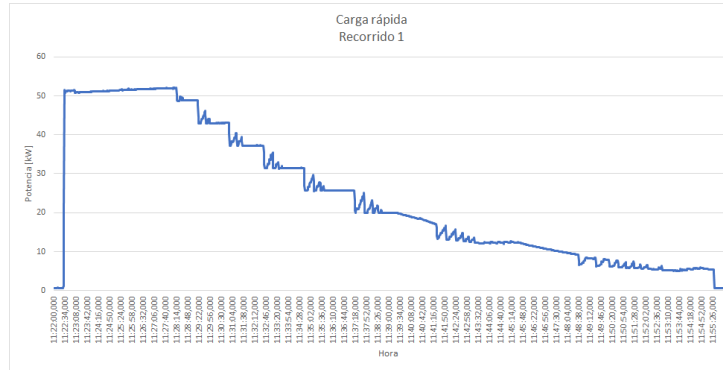


Figura 3.17: Curva de carga rápida para el recorrido 1

Mediante estos valores y las gráficas de carga podemos encontrar la eficiencia que presenta el vehículo en este recorrido, por ello primero debemos encontrar la energía consumida dentro de este recorrido. Mediante las curvas de potencia en el momento de la carga se podrá evidenciar tanto las pérdidas que presenta el sistema como la eficiencia real dentro del primer recorrido. Teóricamente, la energía que el vehículo debió consumir la podemos encontrar con los valores del manual y el consumo que tuvo la batería. En base a los datos brindados por SCADA la potencia entregada era de 6,854 kW pero dentro del vehículo se evidencio el uso de 5,2kW para su carga por ello podemos estimar las perdidas presentes en el sistema 3.4

$$Pérdidas = 6,854 \text{ kW} - 5,2 \text{ kW} = 1,654 \text{ kW} \quad (3.4)$$

Dentro de esto, podemos encontrar el factor de pérdidas, el cual se debe al efecto Joule, con valores de corriente del sistema SCADA

$$Pérdidas = 1,654 \text{ kW} = 3 \cdot I^2 R \quad (3.5)$$

Los valores de corriente serán encontrados en base a la potencia y el voltaje medido

$$Potencia Activa = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (3.6)$$

$$6,84 \text{ kW} = \sqrt{3} \cdot 128,76 \cdot I \quad (3.7)$$

$$I = 35,697 \text{ A} \quad (3.8)$$

Por ello el sistema de pérdidas se puede representar mediante una resistencia en serie con los valores obtenidos

$$1,654 \text{ kW} = 3 \cdot 35,689^2 \cdot R \quad (3.9)$$

$$R = 0,4328 \ \Omega \quad (3.10)$$

Basándonos en los valores previamente mostrados, la energía total medida es de 13,654 kWh pero dentro de este las pérdidas representan un valor muy elevado, el cual es alrededor de 24,5 %, lo que dejaría con un valor práctico de 10,269 kWh.

Con ello, ahora se puede encontrar el rendimiento real del vehículo en este recorrido



$$\text{Rendimiento} = \frac{10,269 \text{ kWh}}{68 \text{ km}} \quad (3.11)$$

$$\text{Rendimiento} = 0,1510 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \quad (3.12)$$

- 2do Recorrido

En el caso del segundo recorrido, el cual consistía en visitar un lugar de interés como lo es una central generadora, más específicamente la Central El Descanso, se pudieron recolectar los siguientes datos

Cuadro 3.2: Datos tomados del segundo recorrido

Punto de Recorrido	Kilometraje	Batería	Registro Fotográfico
Inicio	300 km	100 %	
Final	354 km	82 %	

Dentro de este, también se realizó dos veces el recorrido para poder contrastar la carga lenta y rápida. En este caso el tiempo que tardó en

cargar el vehículo fue de 1,8 horas, específicamente una hora con 48 minutos, lo cual se puede observar en la gráfica correspondiente

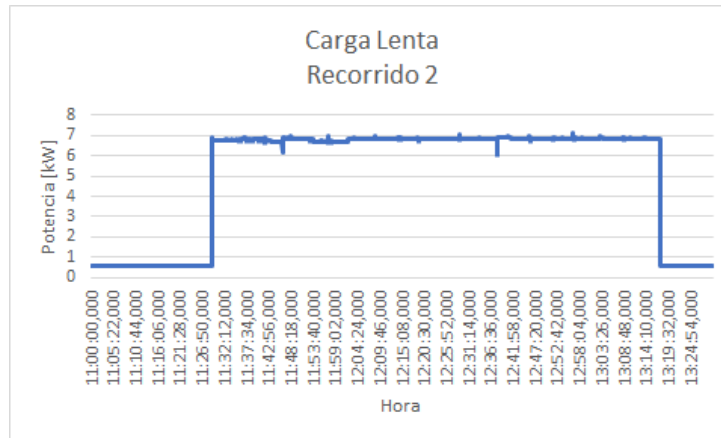


Figura 3.18: Curva de carga lenta para el recorrido 2

En el caso de la carga rápida, esta se tardó 0.56h lo que representa alrededor de 30 minutos. Esto se puede ver dentro de la gráfica. Aquí, así como para en la carga rápida del primer recorrido, la carga a 50 kW dura hasta llegar al 88 % de la batería y de ahí comienza a decaer progresivamente hasta llegar al valor de 6 kW



Figura 3.19: Curva de carga rápida para el recorrido 2

UCUENCA

En base a los cálculos realizados para el primer recorrido y las pérdidas, podemos encontrar los diferentes valores para este recorrido. En total, la energía que se utilizó en este recorrido es de 12,303 kWh pero dentro de este las pérdidas representan un valor muy elevado, el cual es alrededor de 24,9 %, lo que nos dejaría con un valor práctico de 9,229 kWh.

Con ello, ahora podemos encontrar el rendimiento real del vehículo en este recorrido



$$Rendimiento = \frac{9,229 \text{ kWh}}{54 \text{ km}} \quad (3.13)$$

$$Rendimiento = 0,1709 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \quad (3.14)$$

■ 3er Recorrido

Con el tercer recorrido, donde se decidió visitar un proyecto localizado a una gran distancia ya que es de interés común como puede ser el proyecto Eólico Minas de Huascachaca, se pudieron recolectar los siguientes datos

Cuadro 3.3: Datos tomados del tercer recorrido

Punto de Recorrido	Kilometraje	Batería	Registro Fotográfico
Inicio	403 km	100 %	
Final	562 km	42 %	

Este se considera un recorrido de alta exigencia no solo por la distancia, sino también por la variación en la altura.

Dentro de este, solo se consideró una carga lenta para observar el comportamiento completo del EV en una carga larga, la cual es muy común en un uso residencial. El tiempo que tardó en completar la carga fue de 5,65h lo cual es 5 horas con 40 minutos. Esto da una idea clara de

como se podría ver una carga en una residencia

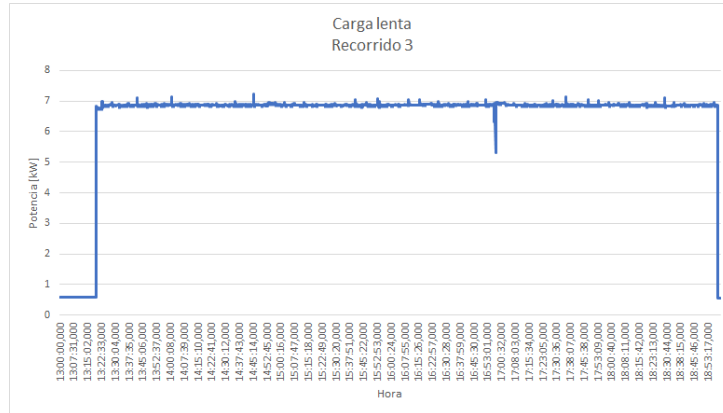


Figura 3.20: Curva de carga lenta para el recorrido 3

En total, la energía que se utilizó en este recorrido es de 38,80 kWh pero dentro de este las pérdidas tienen un valor bastante representativo, el cual es alrededor de 24,74 %, lo que dejaría con un valor práctico de 29,199 kWh.

Con ello, ahora podemos encontrar la rendimiento real del vehículo en este recorrido

$$Rendimiento = \frac{29,199 \text{ kWh}}{159 \text{ km}} \quad (3.15)$$

$$Rendimiento = 0,1836 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \quad (3.16)$$

Dentro de este, existe un análisis más específico con puntos de interés donde se van a diferenciar diferentes zonas ya sea por clima o altitud

Cuadro 3.4: Recorrido 3

Hora	Muestra 1		
	Punto de control	Carga	Kilometraje
09:21	Campus Balzay	100 %	403 km
09:24	General Escandón	99 %	406 km
09:42	Quebrada Cusqui	97 %	410 km
10:03	Portete de Tarqui	90 %	433 km
10:15	Girón	91 %	444 km
10:29	Gran Roca	92 %	449 km
10:49	Santa Isabel	88 %	473 km
11:00	Huascachaca	87 %	481 km
11:21	Y de La Unión	80 %	495 km
12:08	Girón	64 %	518 km
12:24	Portete de Tarqui	52 %	530 km
12:46	Quebrada de Cusqui	46 %	553 km
13:15	Campus Balzay	42 %	562 km

Todos los valores se resumen en el siguiente cuadro, donde se puede ver la comparativa. Para los tiempos de carga en AC, la potencia base dada en el manual corresponde a una potencia de 6,6 kW por lo que se lo tuvo que transformar a una potencia de 5,6 kW para poder tener un valor real

Cuadro 3.5: Cuadro resumen con datos tomados del recorrido y comparación con especificaciones del fabricante

Cuadro Comparativo	Datos Recorrido		Realidad		Manual	
	Kilometraje Consumido	Batería Consumido	Rendimiento	Tiempo de Carga	Rendimiento	Tiempo de Carga
Recorrido 1	68 km	21 %	0,1510 kWh/km	AC 2h	0,1677 kWh/km	AC 1,73h
				DC 0,55h		DC 0,21h
Recorrido 2	54 km	18 %	0,1709 kWh/km	AC 1,8h	0,1677 kWh/km	AC 1,5h
				DC 0,58h		DC 0,18h
Recorrido 3	159 km	58 %	0,1836 kWh/km	AC 5,65h	0,1677 kWh/km	AC 4,8h

Con esto podemos encontrar un valor promedio de los datos reales que han sido tomados y por medio de esto encontrar un error respecto al dato brindado por el fabricante. El primer dato, y uno de los más relevantes es el

rendimiento del vehículo

$$Rendimiento\ promedio = \frac{\sum_{i=1}^n (Rendimiento\ recorrido)_i}{n} \quad (3.17)$$

$$Rendimiento\ promedio = \frac{0,1510 + 0,1709 + 0,1836\ kWh}{3\ km} \quad (3.18)$$

$$Rendimiento\ promedio = 0,1685\ \frac{kWh}{km} \quad (3.19)$$

En el caso del tiempo de carga, se hará una estimación del tiempo de carga completa es decir, de 0-100 %.

Para la carga lenta, el cálculo se facilita debido a que su potencia es constante durante todo el proceso de carga. Por ello, tomaremos el valor de la carga más larga, el cual corresponde al tercer recorrido

$$Carga\ 0 - 100\ \% = \frac{100\ \% \cdot 5,65h}{58\ \%} \quad (3.20)$$

$$Carga\ 0 - 100\ \% = 9,74h \quad (3.21)$$

Para la carga rápida, esta será dividida en dos secciones. La primera va a ser la carga a 47,1 kW, el cual es el valor que se indica en el tablero al momento de la carga, ya que esta llega hasta el 88 % y la caída de potencia hasta un nivel cercano al de carga lenta. Se inicia por la segunda parte, ya que es igual en todos los casos ya que es una carga de decaimiento de potencia a partir de 88 % de la carga. Esta, sacando el dato de las curvas de carga es 1918 segundos lo cual es 0,51 horas. Para la primera parte de la curva de carga, emula un rectángulo parecido al de la carga lenta por lo que haremos el cálculo con el primer recorrido. Se tomará el tiempo que duró la carga en DC y se le restará el valor de la curva de decaimiento dejando un valor de 0,049h para cargar un 6 %. Con esto, podemos ver el valor al cargar 88 %

$$Carga\ 0 - 88\ \% = \frac{88\ \% \cdot 0,049h}{6\ \%} \quad (3.22)$$

$$Carga\ 0 - 88\ \% = 0,7211h \quad (3.23)$$

Para poder compararlo, se transformará a un equivalente de carga a 50 kW

$$Tiempo\ a\ 50\ kW = \frac{0,7211\ h \cdot 47,1\ kW}{50\ kW} = 0,6792\ h \quad (3.24)$$

UCUENCA

Con esto, se podrá saber la carga de 0-100 % con 50kW

$$Carga\ 0 - 100\% = 0,6792h + 0,51h = 1,189h \quad (3.25)$$

Dado esto, se podrá ver la diferencia entre valores del fabricante y los valores reales

Cuadro 3.6: Comparación entre datos tomados en campo y especificaciones del fabricante

Rendimiento			Carga de Batería		
Manual Fabricante	Pruebas en Campo	Error	Manual Fabricante	Pruebas en Campo	Error
0,1677 kWh/km	0,1685 kWh/km	0,477 %	AC 8,96 h	AC 9,74 h	8,7 %
			DC 1 h	DC 1,189 h	18 %

Capítulo 4

Análisis Técnico-Normativo

4.1. Definición de Normativas para la implementación de un sistema EV

4.1.1. Normativas ecuatorianas para implementación de estaciones de carga

En Ecuador, la implementación de vehículos eléctricos ha sido ampliamente tratado y se lo puede dividir en dos ramas principales como lo son la instalación y la comercialización y consumo.

En el caso de la instalación, actualmente existen varios estudios sobre esto pero no hay una normativa establecida para la instalación de estaciones de carga por lo que en Ecuador se adoptan normativas internacionales como

- **UNE-EN IEC 61851-1:2020**

Esta normativa trata aplicación al sistema de alimentación de VE para carga de vehículos de carretera eléctricos, ”con una tensión de alimentación asignada de hasta 1 000 V de c.a. o hasta 1 500 V de c.c. y una tensión de salida asignada de hasta 1 000 V de c.a. o de hasta 1 500 V de c.c ” [23]. Esta cubre tres aspectos fundamentales que son las características y funcionamiento de la alimentación a un EV, las conexiones entre la alimentación el vehículo eléctrico y los sistemas de seguridad con los que estos debe contar.

- **NTC 2050 sección 625**

Esta normativa tiene gran similitud con la planteada en el instituto ecuatoriano de normalización y habla sobre los ”los conductores y equipos eléctricos externos a los vehículos eléctricos y que sirven para conectarlos a una fuente de alimentación por medios conductivos o inductivos y a la instalación de los equipos y dispositivos para la carga de vehículos eléctricos” [24]

UCUENCA

- **IEC 62196**

La IEC 62196 cuenta con varias partes pero nos enfocaremos en las tres primeras ya que todas estas hacen referencia a los conectores necesarios dentro de una estación de carga

- **IEC 62196-1**

Estas son de manera principal, los requisitos generales que se presentan en la " aplicación a las clavijas, tomas de corriente, conectores, entradas y cables de carga para vehículos eléctricos, en adelante denominados como "accesorios", destinados al uso en sistemas de carga conductiva que incorporen medios de control, con una tensión de funcionamiento asignada que no exceda de 690 V en c.a. de 50 Hz a 60 Hz, con una corriente asignada no superior a 250 A 1500 V en c.c. con una corriente asignada no superior a 400" [25]

- **IEC 62196-2**

Básicamente en esta sección se especifica el trabajo con elementos en corriente alterna donde estos no podrán superar los 63A en el caso de ser trifásica o 70A para conexiones monofásicas [26]

- **IEC 62196-3**

Por consiguiente, en este caso se hace énfasis en la utilización de la corriente continua y la corriente alterna/continua con voltajes de hasta 1500V en c.c. y 250A como tope. [27]

- **UNE-HD 60364-7-722**

En este caso, se tratan los principales métodos de protección para los sistemas como podrían ser las protecciones contra perturbaciones o las mediciones para identificación de fallas [28]

La característica principal, y la fundamentación de la mayoría de estas normas es que se basan en la instalación impuesta en la norma IEC 61851. Esto es de suma importancia ya que todas las normas están relacionadas de alguna forma sobre una misma plataforma dando un camino claro de como proceder tanto para la instalación como la protección de las estaciones de carga

UCUENCA

En el caso de la comercialización y consumo, dentro de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables se han implementado ciertas regulaciones para el uso de vehículos eléctricos

■ Pliego Tarifario 2022

Carga Lenta

Dentro del Pliego Tarifario, se especifica donde pertenece las estaciones de carga lenta. Esta esta referenciada en la sección 4.3.4.6 donde nos indican los valores que el consumidor deberá pagar

1. ” Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
2. Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable (indicada en el numeral 4.6.4.1) como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGDVE) señalado en el numeral 4.6.5.3.
3. Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de punta de 18:00 hasta las 22:00 horas, de lunes a domingo.
4. Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el periodo de demanda media de 08:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a viernes; equivalente al 80 % del cargo en el periodo de punta (literal 3).
5. Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el periodo de demanda de base de 22:00-08:00 horas de lunes a domingo y 08:00-18:00 horas, sábado y domingo; equivalente al 50 % del cargo en el periodo de punta (literal 3) ”

[30]

Todas las tarifas se resumen en el siguiente cuadro

Cuadro 4.1: Tarifas dentro del Pliego Tarifario 2022 para clientes de bajo voltaje. Tomado de [30]

Rango de Consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,08	1,414
L-D 18:00 hasta 22:00 horas		0,1	
L-D 22:00 hasta 08:00 horas		0,05	
S-D 08:00 hasta 18:00 horas			

Esto se realiza mediante la instalación de un medidor con registrador de demanda horaria que permita identificar los consumos de energía y potencia exclusivo del vehículo eléctrico. Esto se puede entender de mejor manera mediante un diagrama.

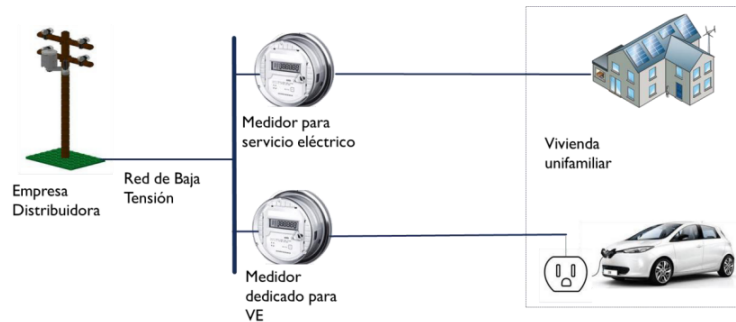


Figura 4.1: Esquema de conexión de medidor con registro horario para consumidores de bajo voltaje. Tomado de [29].

Carga Rápida

Dentro del pliego tarifario, en el inciso 4.4.5 "Tarifa General con demanda horaria para las Estaciones de carga rápida de Vehículos Eléctricos" donde se especifica la pertenencia al grupo de los consumidores de medio voltaje, por la potencia necesaria. En este se necesita tener un medidor específico para este, el cual cuente con registro de demanda horaria. En este caso, los valores que tiene que cancelar el usuario son:

UCUENCA

1. "Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
2. Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable (indicada en el numeral 4.6.4.1) como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGDVE) señalado en el numeral 4.6.5.3.
3. Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de punta de 18:00 hasta las 22:00 horas, de lunes a domingo.
4. Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el periodo de demanda media de 08:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a viernes; equivalente al 80 % del cargo en el periodo de punta (literal 3).
5. Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el periodo de demanda de base de 22:00-08:00 horas de lunes a domingo y 08:00-18:00 horas, sábado y domingo; equivalente al 50 % del cargo en el periodo de punta (literal 3)"

[30]

Como se puede observar, los valores ha cobrar son los mismos en tanto en la carga rápida como lenta pero los valores tarifarios de la energía cuentan con ciertas variaciones, más no el valor de comercialización y la demanda pico

Cuadro 4.2: Tarifas dentro del Pliego Tarifario 2022 para clientes de medio voltaje. Tomado de [30]

Rango de Consumo	Demanda (USD/kW-mes)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
L-V 08:00 hasta 18:00 horas	4,050	0,069	1,414
L-D 18:00 hasta 22:00 horas		0,086	
L-D 22:00 hasta 08:00 horas		0,043	
S-D 08:00 hasta 18:00 horas			

UCUENCA

El esquema de conexión también se representa a continuación con la diferencia de que en este se requieren más elementos como una estación de transformación

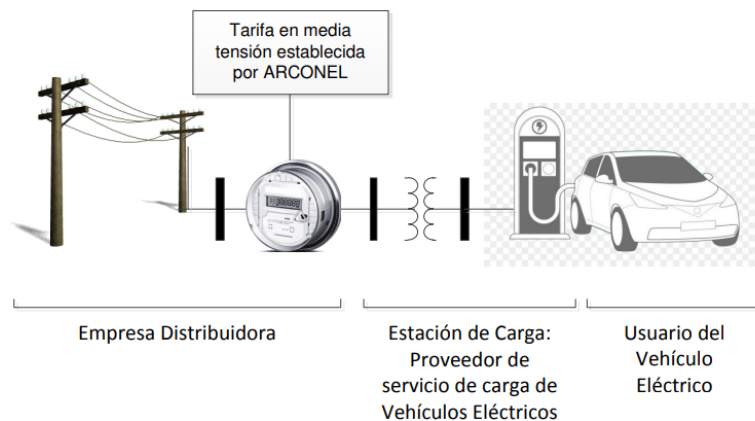


Figura 4.2: Esquema de conexión de medidor con registro horario para consumidores de medio y alto voltaje. Tomado de [29].

4.1.2. Normativa ecuatoriana para la implementación de sistemas fotovoltaicos

4.1.2.1. Regulación No. ARCERNNR 001/2021: Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica

Base normativa: En sus considerandos se establecen antecedentes regulatorios encaminados hacia la modernización de las redes eléctricas y la necesidad de la generación distribuida para una matriz diversificada, robusta y limpia. Por ejemplo:

- El artículo 15 de la Constitución de la República preceptúa que el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.
- El artículo 26 de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) establece que el Ministerio Rector promoverá el

UCUENCA

uso de tecnologías limpias y energía alternativas, sustentado en el aprovechamiento de recursos renovables; y, que la electricidad producida por este tipo de energías contarán con condiciones preferentes.

Objetivo: Establecer las disposiciones para el proceso de habilitación, conexión, instalación y operación de sistemas de generación distribuida basadas en fuentes de energía renovable para el autoabastecimiento de consumidores regulados.

Ámbito: Es aplicable para los consumidores regulados que instalen y operen Sistemas de Generación Distribuida para su Autoabastecimiento (SGDA), sincronizadas a la red de distribución y para las Empresas Eléctricas Distribuidoras.

Caracterización de la generación distribuida para autoabastecimiento: Un SGDA es aquel que se encuentra situado dentro de la misma área de servicio, área geográfica en la cual una empresa eléctrica presta servicio público de distribución y comercialización de energía y el servicio de alumbrado público, en la que se encuentra el consumidor, cuya demanda está asociada a un número de cuenta contrato y cumple las siguientes condiciones:

- Es aquel que tiene una potencia nominal menor a 1 MW.
- Se conecta en sincronía a las redes del sistema de distribución, o a través de las instalaciones internas del consumidor.
- Permite el aprovechamiento de recursos energéticos renovable que se encuentren disponible en al área de servicio de la distribuidora.
- Utiliza cualquier tecnología de generación de energía eléctrica con o sin almacenamiento de energía.

Balance de energía: La energía producida por un SDGA tiene como principal objetivo al autoabastecimietno de la demanda de energía eléctrica asociada a una cuenta contrato del consumidor. Si por condiciones operativas del SDGA o por variación del consumo se presentan eventuales excedentes de energía, estos se **inyectarán** a la red de distribución y su tratamiento por parte de la distribuidora se sujetará a las siguientes disposiciones:

- **Consumidores con tarifa residencial y general sin demanda:**
Para un consumidor que tenga asignada una tarifa sin demanda de

UCUENCA

acuerdo al pliego tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica (SPEE) vigente, se considerará lo siguiente:

La Distribuidora determinará el balance de energía neto mensualmente, entre la energía consumida desde la red de distribución y la energía eléctrica inyectada por el SGDA y calculará la energía neta $ENET_i$:

$$ENET_i = ERED_i - EINY_i \quad (4.1)$$

Donde:

$ENET_i$: Energía neta en el período mensual de consumo i (kWh)

$ERED_i$: Energía consumida desde la red de distribución en el período mensual de consumo i (kWh)

$EINY_i$: Energía inyectada por el SGDA en el período mensual de consumo i (kWh)

a) Si $ENET_i \leq 0$, la distribuidora facturará al consumidor por concepto de energía consumida, con valor cero; $EF = 0$, además:

$$CEM_i = |ENET_i| \quad (4.2)$$

Donde:

CEM_i : Crédito de Energía a favor del consumidor obtenido en el mes i (kWh)

b) Si $ENET_i > 0$, entonces $CEM_i = 0$. Y la empresa distribuidora verificará si el consumidor dispone de un saldo total acumulado de energía a su favor en el mes anterior $SEA_{(i-1)}$; si es así, se debitará parte o totalidad del $SEA_{(i-1)}$ para cubrir el $|ENET_i|$ del mes i .

Si con el $SEA_{(i-1)}$ disponible se logra cubrir la totalidad del $|ENET_i|$, en el mes de consumo i , $EF = 0$, caso contrario se le facturará el saldo de energía restante aplicando la **tarifa correspondiente** del Pliego Tarifario del SPEE. Donde:

$SEA_{(i-1)}$: Saldo total acumulado de energía disponible del consumidor en el mes anterior $i - 1$ (kWh). $SEA_{(0)} = 0$.

$EF_{(i)}$: Energía Facturable correspondiente al mes i .

Se actualizará el $SEA_{(i)}$ mensualmente sobre la base de los créditos generados y valores devengados para cubrir el $|ENET_i|$, para considerarlo en el cálculo de la energía facturable del mes siguiente.

UCUENCA

A partir del inicio de la operación del SGDA, **cada 24 meses** el $SEA_{(i)}$ se **reseteará** a cero, sin que la distribuidora tenga derecho a otorgar una compensación económica por dicha energía.

El consumidor que cuente con un SGDA cancelará mensualmente el **cargo de comercialización**, sobre la base de lo establecido en el pliego tarifario vigente.

La factura mensual que emita la distribuidora deberá adjuntar un cuadro en el que conste los valores: $ERED_i$, $EINY_i$, $ENET_i$, CEM_i , y $SEA_{(i)}$, correspondientes a los doce períodos de consumo anteriores.

- **Consumidores con tarifa general con demanda:** Para un consumidor que tenga asignada una tarifa con demanda de acuerdo al pliego tarifario del SPEE vigente, se considerará:

El cálculo de la energía facturable se realizará conforme al apartado anterior.

Además, **independiente** del valor mensual por energía que le sea facturado al consumidor, la distribuidora le facturará mensualmente un **cargo por demanda** y el **cargo por comercialización**, sobre la base del pliego tarifario del SPEE vigente.

A partir del inicio de operación del SGDA, la demanda facturable mensual corresponderá a la **demanda máxima** registrada en el mes de consumo por el respectivo medidor de demanda y corresponderá a aquella que fue requerida por el consumidor de la red de distribución.

- **Consumidores con tarifa general con demanda horaria:** Para un consumidor que tenga asignada un tarifa con demanda horaria, de acuerdo al pliego tarifario del SPEE vigente, se debe tomar las siguientes consideraciones:

La distribuidora por medio del sistema de medición respectivo, determinará el balance **neto** de energía mensualmente, entre la energía mensual consumida desde la red de distribución y la energía inyectada por el SGDA, en cada uno de los períodos de demanda horario aplicable al consumidor, según el pliego tarifario del SPEE vigente.

Sobre la base de la energía consumida de la red e inyectada por el SGDA en el mes i , en cada período de demanda, la distribuidora calculará la Energía Equivalente Inyectada por el SGDA y la Energía Consumida de la red por el consumidos aplicando las siguientes ecuaciones:

$$EEINY_i = \frac{1}{Tm_i} \sum_{k=1}^n (EINY_k \cdot T_k) \quad (4.3)$$

$$EERED_i = \frac{1}{Tm_i} \sum_{k=1}^n (ERED_k \cdot T_k) \quad (4.4)$$

$$ENETE_i = EERED_i - EEINY_i \quad (4.5)$$

Donde:

$EEINY_i$: Energía Equivalente Inyectada por el SGDA en el mes i (kWh)

$EERED_i$: Energía Equivalente Consumida de la red en el mes i (kWh)

Tm_i : Mayor de los cargos tarifarios horarios de los períodos de demanda aplicables al consumidor en el mes i (USD/kWh)

T_k : Cargo tarifario por energía del período de demanda k (USD/kWh)

$EINY_k$: Energía inyectada por el SGDA en el mes en análisis, en los períodos de demanda en que aplica el cargo tarifario por energía T_k (kWh)

$ERED_k$: Energía consumida en el mes en análisis, en los períodos de demanda en que aplica el cargo tarifario por energía T_k (kWh)

n : Número de cargos tarifarios por energía aplicables a la tarifa a la que corresponde el consumidor

$ENETE_i$: Energía neta equivalente en el período mensual de consumo i (kWh)

a) Si $ENETE_i \leq 0$, la distribuidora facturará al consumidor por concepto de energía consumida, con valor cero; $EF = 0$, además:

$$CEEM_i = |ENETE_i| \quad (4.6)$$

Donde:

$CEEM_i$: Crédito de Energía Equivalente a favor del consumidor obtenido en el mes i (kWh)

UCUENCA

b) Si $ENETE_i > 0$, entonces $CEEM_i = 0$. Y la empresa distribuidora verificará si el consumidor dispone de un saldo total acumulado de energía equivalente a su favor en el mes anterior $SEEA_{(i-1)}$; si es así, se debitará parte o totalidad del $SEEA_{(i-1)}$ para cubrir el $|ENETE_i|$ del mes i .

$SEEA_{(i-1)}$: Saldo total acumulado de energía equivalente disponible del consumidor en el mes anterior $i - 1$ (kWh). $SEEA_{(0)} = 0$.

$EF_{(i)}$: Energía Facturable correspondiente al mes i .

Si con el $SEEA_{(i-1)}$ disponible se logra cubrir la totalidad del $|ENETE_i|$, en el mes de consumo i , $EF = 0$, caso contrario se le facturará el saldo de energía restante aplicando el **mayor** de los cargos tarifarios (Tm_i).

Donde:

Se actualizará el $SEEA_{(i)}$ mensualmente sobre la base de los créditos generados y valores devengados para cubrir el $|ENETE_i|$, para considerarlo en el cálculo de la energía facturable del mes siguiente.

A partir del inicio de la operación del SGDA, **cada 24 meses** el $SEEA_{(i)}$ se **reseteará** a cero, sin que la distribuidora tenga derecho a otorgar una compensación económica por dicha energía.

Además, independientemente del valor mensual de energía que sea facturado al consumidor, la distribuidora le facturará mensualmente el **cargo por demanda** y el **cargo de comercialización**, sobre la base de lo establecido en el pliego tarifario del SPEE vigente.

A partir del inicio de operación del SGDA, la **demanda facturable** corresponderá a la demanda máxima registrada en el mes de consumo por el respectivo medidor de demanda horaria y corresponderá a aquella que fue requerida por el consumidor de la red de distribución.

La factura mensual que emita la distribuidora deberá adjuntar un tabla en la que conste los valores: $EREED_i$, $EEINY_i$, $ENETE_i$, $CEEM_i$, y $SEEA_{(i)}$, correspondientes a los doce períodos de consumo anteriores.

Medición de Energía Eléctrica: Para un SGDA ubicado en el mismo inmueble o predio del consumidor, la empresa distribuidora instalará en el

UCUENCA

punto de entrega un **medidor bidireccional** que permita registrar el consumo neto de energía por parte del consumidor.

La distribuidora será la encargada de la **adquisición, calibración** inicial e **instalación** del equipo de medición bidireccional. El consumidor deberá **cancelar la diferencia** del costo del equipo de medición en relación al equipo al que la distribuidora instalaría a un usuario de la **misma** categoría sin un SGDA. Este valor será cancelado en la primera planilla de consumo. En caso de darse de baja del suministro, el medidor pasa a propiedad de la distribuidora.

4.2. Modelo de estación de carga de EV

Dentro de lo que engloba un sistema de una matriz de movilidad completamente eléctrica, el corazón de esta es su electrolinera. Existe una gran cantidad de formas de implementarlas y cada una presenta variaciones, como fueron descritas en el capítulo 2, sin embargo existen dos variables fundamentales que pueden definir estos sistemas: el tipo de estación de carga y los sistemas de generación de energía renovable.

4.2.1. Estación de carga

Cuando se habla del tipo de estación de carga principalmente se tiene dos grandes grupos: estación de carga rápida y estación de carga lenta. El parámetro eléctrico que permite distinguir entre estos dos tipos es la potencia, siendo valores por encima de 20kW considerados, para este estudio, como carga rápida. El enfoque de la estación de carga lenta es hacia una utilización donde el vehículo pasa un prolongado tiempo estacionado y siendo encendido en momentos puntuales muy distantes entre sí, además de no tener requerimientos especiales en el suministro eléctrico, como lo puede ser el uso residencial.

Por otro lado, cuando se tiene presente la carga rápida se plantea situaciones donde el uso de los automóviles eléctricos es exhaustivo, donde se usa gran parte de la batería y no se da gran margen de tiempo hasta el siguiente viaje, dejando como única solución el uso de sistemas donde sea posible transferir grandes cantidades de potencia. Esto provoca que este tipo de carga necesite sistemas especializados en manejar estas altas cantidades de potencia, que suelen ser de corriente continua, así como un enlace a la red o acometida en media tensión. Este tipo de estaciones suelen recargar alrededor del 80 % la

UCUENCA

batería en aproximadamente 30 minutos.

4.2.2. Energía renovable (Generación y almacenamiento)

La incorporación de vehículos eléctricos parte de un objetivo principal relacionado con la reducción de emisiones de GEI para reducir el daño al ambiente y, así mismo, siguiendo esta idea es fundamental el conocimiento del tipo de combustible usado en las plantas generadoras que suministran la energía eléctrica. Es decir, para llevar una coherencia con esta tecnología es normal pensar en la incorporación de los sistemas de generación de energía eléctrica de fuentes renovables en las electrolinerías.

Es importante tener en cuenta que la generación de energía eléctrica por fuentes renovables es mucho menos contaminante si es a pequeña escala y es susceptible a variaciones de disponibilidad del recurso, por ello, se puede esperar que la fuente no sea capaz de suministrar la potencia o la energía requerida en un momento específico y sea necesario el uso de sistemas de almacenamiento o de fuentes de respaldo, siendo éstas el sistema de distribución o generadores de motores a combustión de emergencia.

Considerando el caso específico del Ecuador, donde más del 90% de electricidad generada proviene de plantas hidroeléctricas, fuente parcialmente renovable donde la energía eléctrica generada es mucho menos contaminante que si se generara en su totalidad con generadores térmicos, se puede pensar en usar al propio SEP como sistema de almacenamiento por medio de contadores de energía bidireccionales y usando el sistema de generación renovable como una fuente distribuida. Con esto se lograría que cuando el recurso esté disponible, la energía eléctrica generada por el mismo se venda al sistema o se aplique un esquema de créditos de energía y cuando sea necesario la actuación de los cargadores de la electrolinería, la energía suministrada al vehículo eléctrico sea descontada de estos créditos, reduciendo así la complejidad, en estudio, de este sistema al aislar la estación del carga del suministro renovable y siendo más eficiente al evitar emisiones por sistemas externos de respaldo por motores de combustión interna y reduciendo costos al no incorporar sistema de almacenamiento por baterías o celdas de hidrógeno.

Cuando se habla de sistemas de generación de energía de fuentes renovables se tiene un gran cantidad de tecnologías disponibles como lo son: generadores fotovoltaicos, generadores eólicos, generadores hidroeléctricos a

UCUENCA

pequeña escala, generadores de biomasa, generación con biodigestor, etc.

4.2.2.1. Delimitación de tecnologías por localidad y aplicación

Primeramente considerando el contexto económico del Ecuador, como país agro-exportador y rico en recursos naturales, se esperaría que cualquiera de las tecnologías antes mencionadas pueda ser aplicada. Sin embargo, hay que considerar que se espera incorporar esta tecnología EV para la movilización entre los campus de la Universidad de Cuenca, donde la mayoría se encuentra en el casco urbano, haciendo más complicado la incorporación de tecnologías por biomasa y con biodigestor debido a la cantidad de complejidad que éstas representan tanto en coordinación de empresas públicas, para la gestión de residuos, y requerimientos especiales relacionados con la contaminación por partículas.

La Ciudad de Cuenca es un valle bañado por cuatro ríos, situado a 2560 m.s.n.m, lo que la hace idónea para la incorporación de sistemas hidroeléctricos a pequeña escala, eólicos y fotovoltaicos.

Debido a la gran inercia institucional, ordenanzas y regulaciones, se hace compleja la incorporación de sistemas mini-hidro en los ríos, por que se decarta esta tecnología.

De esta manera, se ha considerado que el sistema de generación más conveniente para este estudio es el sistema fotovoltaico. El uso de arreglos de células fotovoltaicas podrá instalarse en la parte superior del sitio que acoja la estación y su orientación será fija debido a la ubicación geográfica del país.

UCUENCA



Figura 4.3: Sistema Fotovoltaico Ubicado en la parte superior de una estructura

4.2.3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

4.2.3.1. Delimitación del área disponible

Para un primer acercamiento hacia este nuevo paradigma de transporte y con el fin de la utilización de los recursos e infraestructura ya disponibles, se propone la instalación del sistema encima del propio techo donde se ubicará la estación o estaciones de carga; este lugar es en el estacionamiento de la entrada hacia la facultad de Arquitectura del Campus Central de la Universidad de Cuenca. Estos parques o lugares de estacionamiento cuentan con dimensiones aproximadas de 2 metros por 4 metros de largo contenidos en una hilera de 2 parques contiguos.

Considerando la alta demanda de esta zona de parqueaderos, debido al estatus del Campus Central como administración general, se espera lograr la implementación de este sistema con la menor interferencia posible y reduciendo al mínimo los lugares de parques destinados a cambiarse a espacio de electrolinera.

4.2.3.2. Selección del panel solar

Una vez considerado el área disponible, se puede optimizar el uso de este espacio usando paneles solares cuya dimensión sea capaz de adaptarse efecti-

vamente de manera discreta a una unidad de parqueo (2 metros por 4 metros) y siendo ubicados por una estructura o techo encima de la estación. Tomando en cuenta valores referenciales en el mercado entre potencia y dimensiones, los elementos que cumplen esta característica son los paneles solares cuya potencia es de alrededor 400 W, los cuales tienen dimensiones aproximadas de 1 metro x 2 metros. Siendo ideales para su ubicación en una unidad de estacionamiento.

De esta forma se utilizará para el estudio el panel solar LG400N2W-V5, que presenta las siguientes características.

Cuadro 4.3: Especificaciones Técnicas: Datos generales

<i>LG400N2W-V5 General Data</i>	
<i>Característica</i>	<i>Descripción</i>
Material	Monocristalino N-Type
Marca	LG
Configuración	72 células (6x12)
Número de buses	1 2EA
Dimensiones	2024mmx1024mmx40mm
Peso	20.3 kg
Material	Vidrio templado AR Coating
Parte posterior	Blanca
Escuadra	Aluminio anodizado
Protección	IP 68
Cable	1200m x 2EA
Conector	MC4/MC

Cuadro 4.4: Especificaciones Técnicas: Datos eléctricos

<i>LG400NWW-V5 Propiedades Eléctricas</i>	
<i>Característica</i>	<i>Descripción</i>
Potencia Máxima	400 W
Voltaje MPP	40.6 V
Corriente MPP	9.86 A
Voc	49.3 V
Isc	10.47 A
Eficiencia del módulo	19.3 %
Tolerancia de potencia	3 %

4.2.3.3. Determinación del número de paneles solares

Como se mencionó previamente se espera una menor interferencia de la electrolinea en el estacionamiento del campus y dado que, hasta la fecha, solo que cuenta con dos vehículos utilitarios eléctricos. Solo se puede llegar a un máximo de demanda de dos vehículos conectados al mismo tiempo, entonces se analizará según la energía generada y la irradiancia de la zona y si dispone a destinar a la electrolinea uno o dos espacios de 4 x 2 metros.

Para una correcta determinación del número de paneles se usará el programa Sunny Design, el cual usa una gran cantidad de datos históricos, para una mejor estimación de la energía que sería generada por el sistema fotovoltaico por año en función de la cantidad de paneles ubicados, la configuración utilizada y la localización.

Para este estudio se usó las siguientes configuraciones:

- **Lugar del edificio**

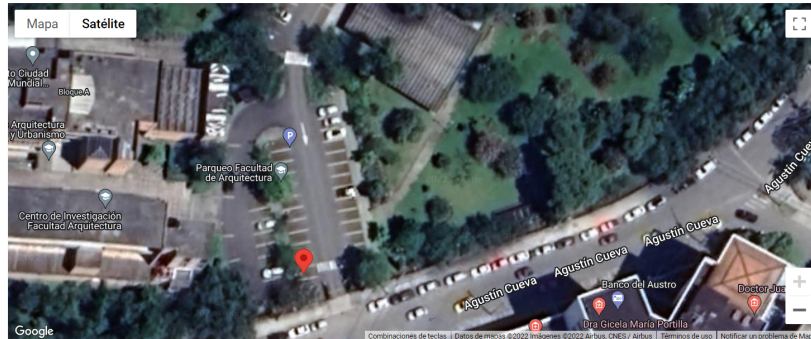


Figura 4.4: Lugar del edificio

■ Niveles de tensión

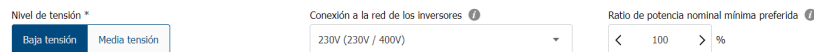


Figura 4.5: Nivel de tensión

■ Configuración del edificio



Figura 4.6: Configuración del edificio

■ Restricciones y objetos de edificio

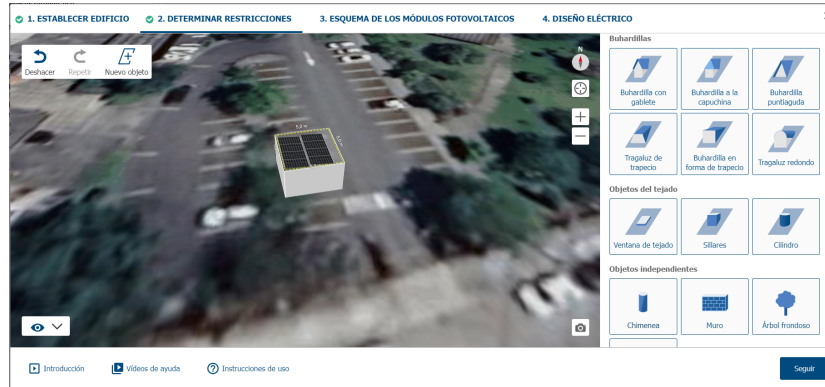


Figura 4.7: Restricciones y objetos del edificio

■ Esquema de módulos fotovoltaicos

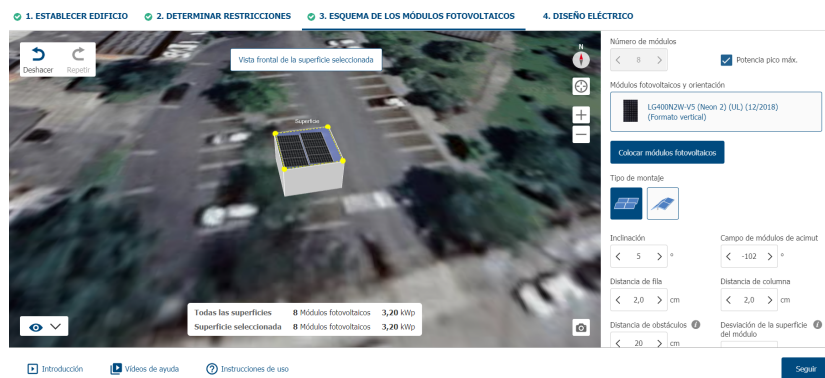


Figura 4.8: Esquema de conexión

■ Arreglos e inversor

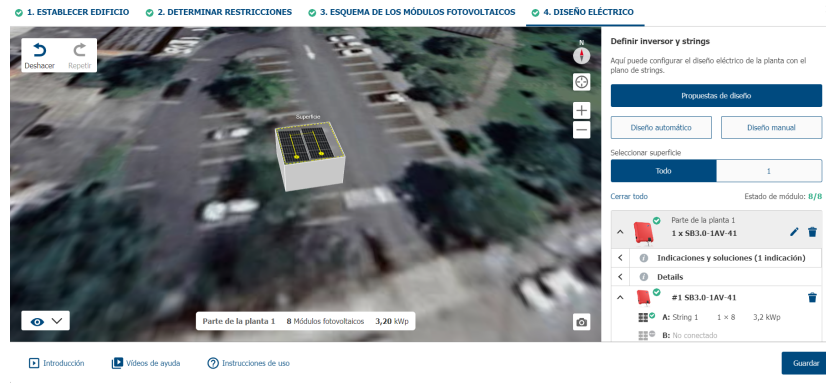


Figura 4.9: Inversor

■ Rendimiento y resultados

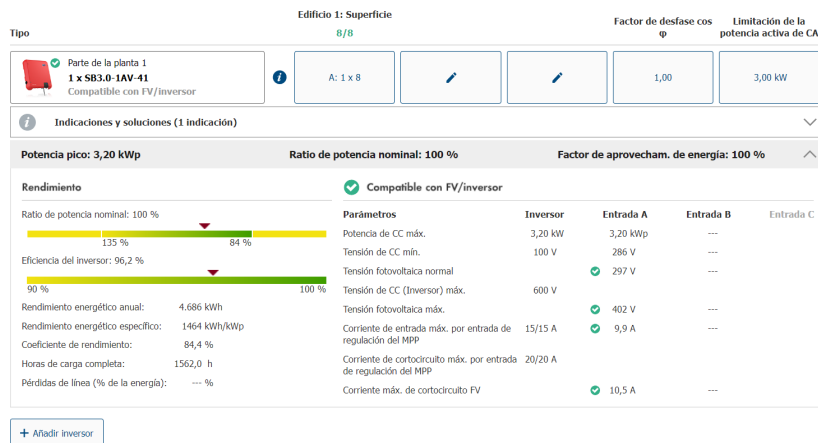


Figura 4.10: Rendimiento y resultados

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos por medio de la simulación en Sunny Design para paneles solares ubicados en uno y dos espacio, que corresponde a 4 y 8 paneles de 400 W.

Cuadro 4.5: Propuestas de generación fotovoltaica

Descripción	Opción A	Opción B
<i>N° estacionamientos</i>	1	2
<i>Área</i>	8 m ²	16 m ²
<i>N° paneles</i>	4	8
<i>Potencia paneles</i>	400 W	400 W
<i>Arreglo</i>	1x4	1x8
<i>Inversor</i>	1.6 kW	3.2 kW
<i>Eficiencia inversor</i>	95.6 %	96.2 %
<i>Rendimiento energético</i>	2315 kWh/año	4686 kWh/año

Como se puede apreciar por la simulación, efectivamente al ocupar dos estacionamientos en lugar de uno se duplica la potencia generada, siendo una relación lineal en este espacio y justificando el uso de la opción B. Por tal motivo para maximizar la energía generada en usando todo el espacio disponible del techo de las estaciones de carga se procede a usar como modelo para la estación de carga la opción B que cuenta con el uso de 8 paneles de 400 W cada uno.

4.2.4. Modelos propuestos para estudio

Una vez consideradas las variables previas se puede generar los modelos deseados para el análisis, donde la estructura base corresponde a una electro-linera centralizada conectada al sistema de distribución eléctrica. Entonces las variantes de la estructura base corresponden a la aplicación de la carga lenta o rápida y a la incorporación o no de un sistema de generación fotovoltaico con medidores bidireccionales usando al SNI como almacenamiento de energía. De esta manera se tomará como modelo 1 a aquel que corresponde como estructura base con carga rápida e incorporación de un sistema de generación fotovoltaico con medidor bidireccional; como modelo 2 a la estructura base con carga rápida; al modelo 3 a la estructura base con carga lenta e incorporación de un sistema de generación fotovoltaico con medidor bidireccional; y, finalmente, al modelo 4 a la estructura base con carga lenta.

4.2.4.1. Modelo 1

En este modelo se espera considerar el uso de estaciones de carga rápida, con el objetivo de esta tecnología sea recargar de una manera veloz la batería al 100 % en tiempos inferiores a una hora. Entonces si se considera el caso en que es requerido que toda la flota esté lista para su uso en un momento específico, se puede tener menor número de estaciones de carga que de

UCUENCA

vehículos dada su rapidez en recargar cada uno y ubicar.

Adicional a este, se prevé colocar un sistema fotovoltaico para poder mitigar el costo de la energía

4.2.4.2. Modelo 2

Para el Modelo 2, se considera únicamente el cargador rápido, sin tener en cuenta el Sistema Fotovoltaico con el fin de encontrar el valor diferencial

4.2.4.3. Modelo 3

En este modelo se plantea únicamente la incorporación de la carga lenta la cual se alimenta del sistema de distribución y maneja bajas cantidades de potencia por lo que podría funcionar en una acometida de baja tensión. Sin embargo, si se da un caso especial en el que se desea que toda un flota esté lista para su utilización en un determinado instante poco común por lo menos el número de estaciones de carga lenta debería ser igual al número de vehículos que se posee.

El factor de coincidencia en este estudio se presentará con el valor de 1 dado que este tipo de vehículos utilitarios presentan una gestión uniforme en su uso y horarios de servicio, por lo que al final del día se esperaría poner en carga los vehículos simultáneamente para su posterior uso al día siguiente.

Así como en el Modelo 1, se incorporan a este, un adicional de un sistema fotovoltaico para compensar la energía consumida

4.2.4.4. Modelo 4

Este modelo es idéntico que el modelo anterior, solo que con la diferencia de que este no cuenta con un sistema fotovoltaico

4.3. Diseño eléctrico y generación de planos CAD de los modelos propuestos

Como punto de partida para el diseño de la estación de carga y todo lo que engloba, lo primero que se debe hacer es definir las redes existentes de Media Tensión en la zona. Esto se realiza mediante la herramienta Geovisor Público de la Centrosur

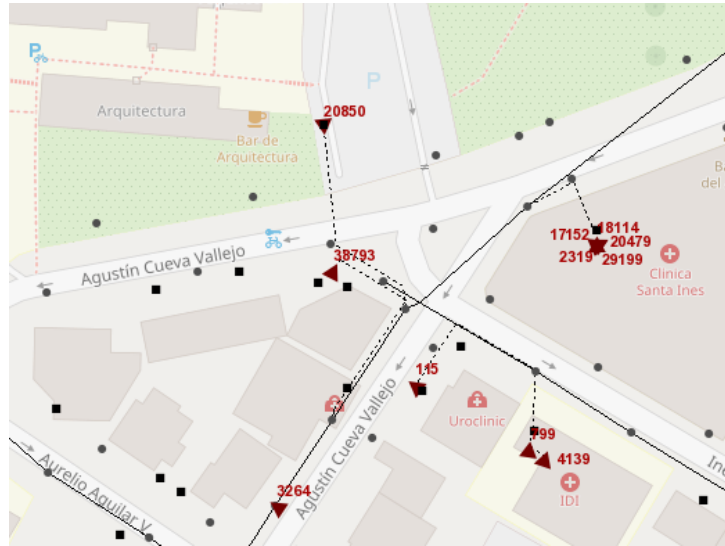


Figura 4.11: Red de MV existente vista por el Geovisor Público

A continuación, se procede a definir la ubicación de la estación de transformación así como el recorrido que tendrá la acometida de MV, tomando en cuenta la existencia de pozos en la zona. Para la acometida, se tomará en cuenta los ductos soterrados existentes



Figura 4.12: Recorrido de la acometida subterránea de MV

UCUENCA

Se prevé que arranque desde el poste #2030 pasando por tres pozos de revisión OPB existentes que cumplen la normativa requerida, donde solo se necesitará un pozo para el último giro así como la excavación para interconectar este con el transformador y el pozo previo. Junto a esto, se debe considerar el número de ductos a posicionar, los que serán 6 PVC de 110mm naranja en configuración 2 filas por 3 columnas. La bajante del transformador se divide tanto en el caso de una acometida trifásica como monofásica. En el caso de la acometida trifásica, se necesita una cruceta de 2,4m donde se sostenga el pararrayos y el seccionador y una cruceta de 2m para el soporta cables. Adicional a esto se debe considerar la tierra bajante del poste y su conexión.

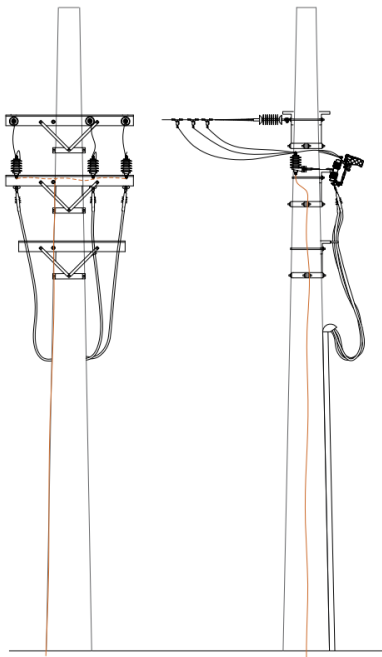


Figura 4.13: Bajante trifásica de red de MV aérea a subterránea

En el caso de la transición monofásica, se reemplazarán las crucetas por dos de 1,5m y se reducirá el número de pararrayos como de seccionadores a 1

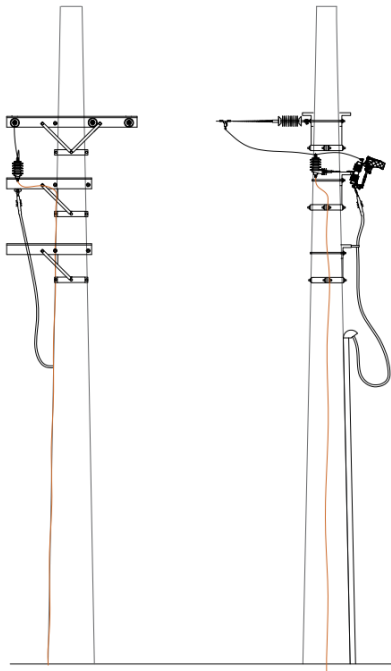


Figura 4.14: Bajante monofásica de red de MV aérea a subterránea

Adicional a esto, con el fin de brindar tanto protección contra el sol así como un soporte para el sistema de generación fotovoltaica, se diseñó una estructura tipo pérgola la cual brindará estas facilidades. Sobre esta se encontrará un arreglo de 2x4 paneles solares con una dimensión de 2x1m cada uno

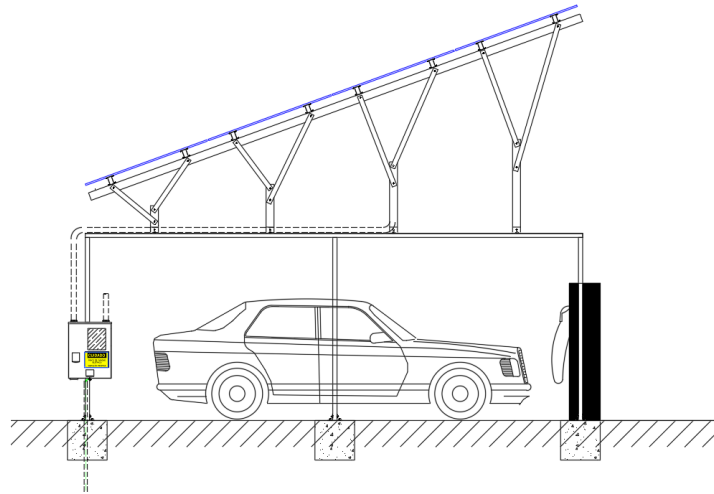


Figura 4.15: Vista lateral de pérgola en estación de carga

El diseño completo se lo puede observar en el Apéndice C. De forma resumida, se presenta el esquema de conexión del sistema completo, donde se reflejarán todos los elementos y las cargas. En el caso de la estación de carga rápida, se incluye el sistema fotovoltaico pero en caso de ser el que no cuenta con este, tendrá un punto de desconexión

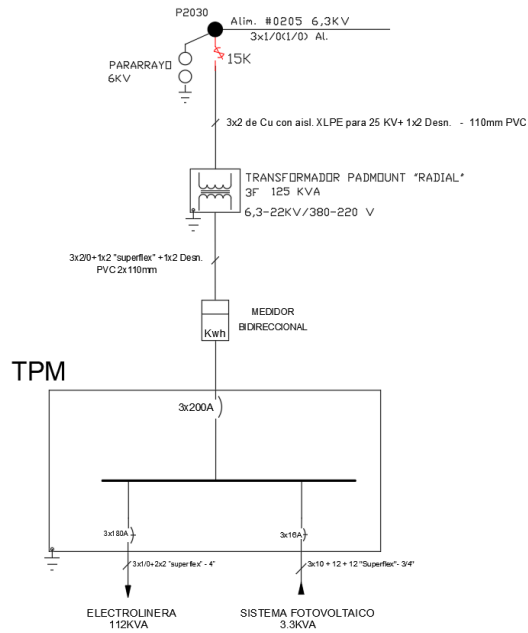


Figura 4.16: Diagrama Unifilar de estación de carga rápida

De la misma forma, en la carga lenta se prevé el mismo concepto

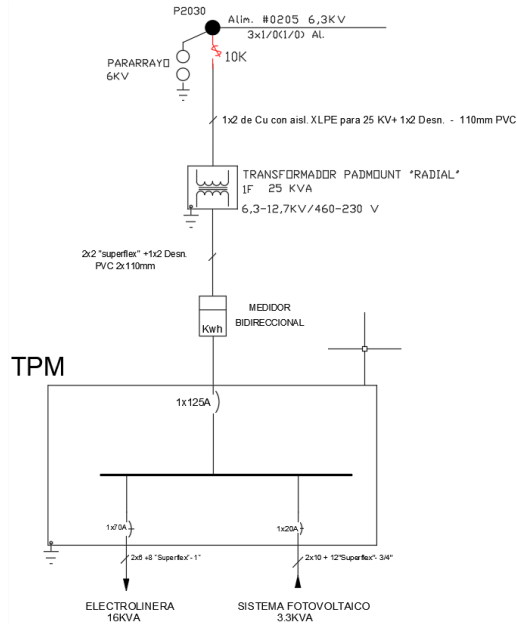


Figura 4.17: Diagrama Unifilar de estación de carga lenta

Capítulo 5

Análisis Económico

Dentro de un proyecto de implementación de equipos EV, uno de los campos más relevantes es el económico. En este, se hará énfasis en la comparativa entre el costo de un sistema EV y una matriz en base a combustibles fósiles. En el caso de los costos de la matriz institucional actual, se han solicitado los datos al Departamento de Movilidad de la Universidad de Cuenca y se tomarán como punto de partida esos datos. Actualmente, la Universidad de Cuenca cuenta con una flota en base a motores de combustión interna de

- 17 Vehículos a gasolina
- 14 Vehículos a diésel
- 7 motos
- 3 Buses

De todo el patio automotor, el campo de interés serán los vehículos a Diesel.

5.1. Adquisición de datos de departamento de movilidad

La Universidad de Cuenca, al ser una institución de gran prestigio y amplia infraestructura, cuenta con una flota de vehículos los cuales son usados por sus funcionarios para movilizarse entre campus o para cumplir diversos compromisos. En base a estos criterios, y en comparación al vehículo que se va a utilizar, se seleccionaron dos vehículos con características similares. Estos son dos furgonetas de marca TOYOTA modelo AA HIACE DESEL PAS del año 2008 y se especificarán sus características en el siguiente cuadro.

Cuadro 5.1: Especificaciones Técnicas

Características	AAA-833	AAA-857
Marca	TOYOTA	TOYOTA
Modelo	AA HIACE DESEL PAS	AA HIACE DESEL PAS
Año	2008	2008
Cilindraje	3000	3000

Con la ayuda de los datos recopilados en los periodos de 2019 y 2020 de los siguientes parámetros.

- Kilómetros recorridos
- Galones Consumidos
- Costo de mantenimiento de las furgonetas
- kilómetros recorridos por galón consumido
- Dólar gastado por kilómetro recorrido

Después de procesar los datos obtenidos se obtiene como resultado las siguientes gráficas, estas han sido divididas en los dos periodos en los cuales se tiene la información y los dos vehículos. Primero se revisarán los datos del año 2019

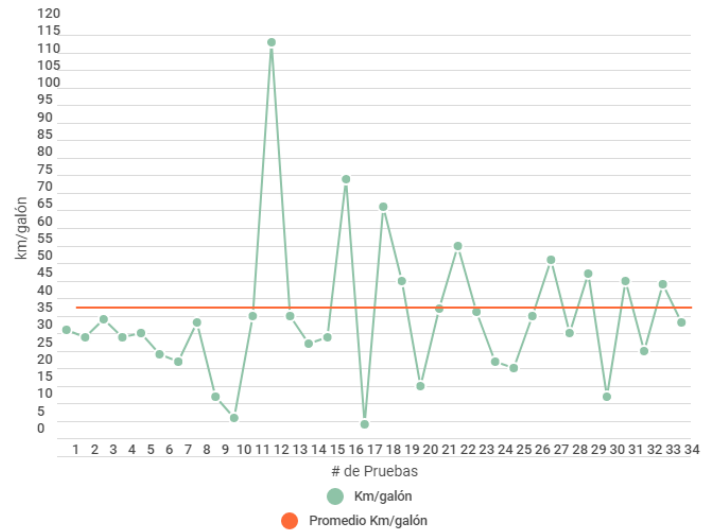


Figura 5.1: Datos de los valores de km/galón obtenidos del departamento de movilidad y con su valor promedio para el vehículo AEA-857 en el año 2019

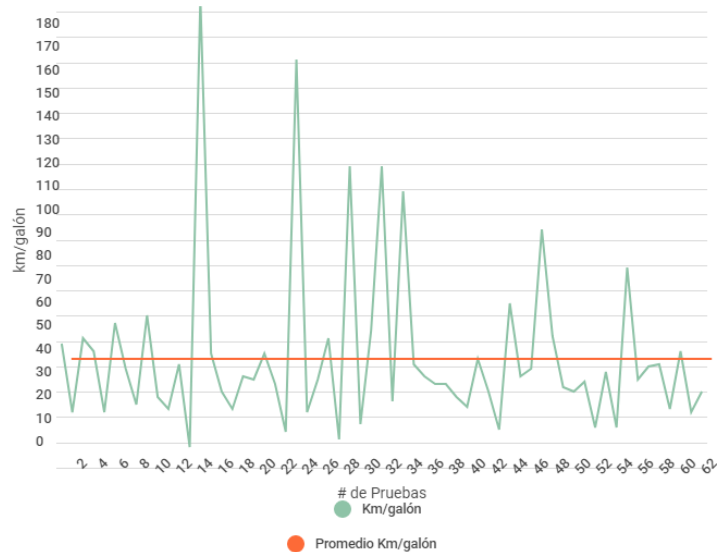


Figura 5.2: Datos de los valores de km/galón obtenidos del departamento de movilidad y con su valor promedio para el vehículo AEA-883 en el año 2019

Ahora en el año 2020

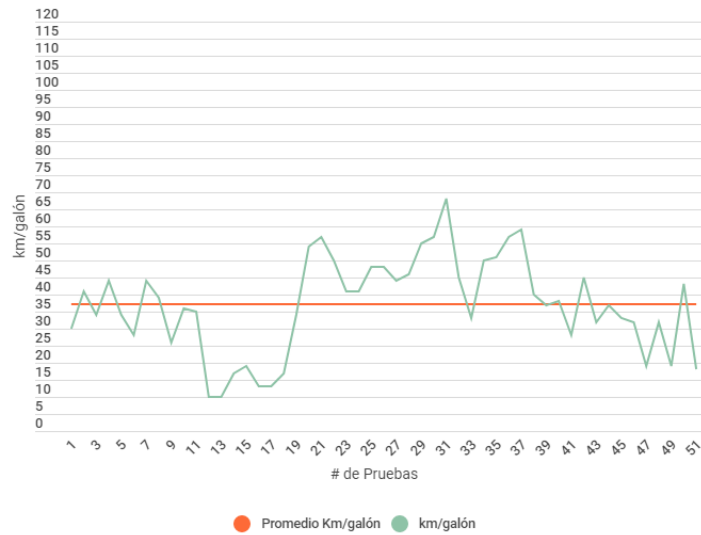


Figura 5.3: Datos de los valores de km/galón obtenidos del departamento de movilidad y con su valor promedio para el vehículo AEA-857 en el año 2020

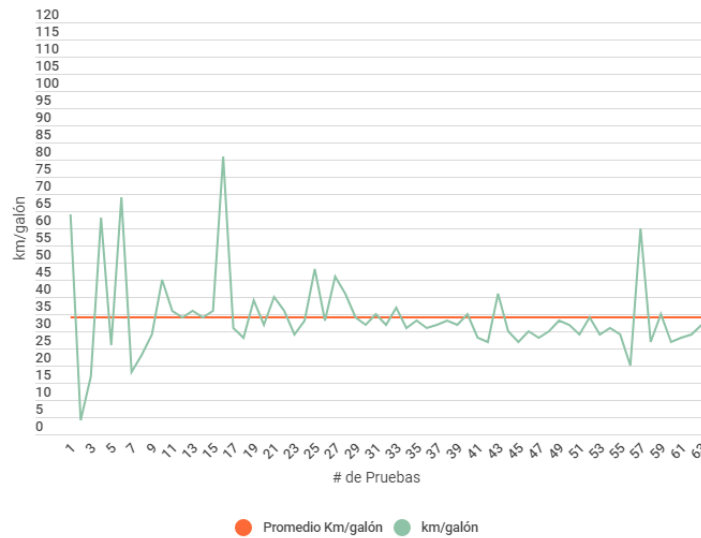


Figura 5.4: Datos de los valores de km/galón obtenidos del departamento de movilidad y con su valor promedio para el vehículo AEA-883 en el año 2020

UCUENCA

Aparte de esto, un dato de alta relevancia para el estudio es el costo anual que presentan los vehículos, el cual es similar para los dos.

Cuadro 5.2: Costo anual por vehículo

Costo Anual	Mantenimiento	Combustible
Un Vehículo	\$834,69	\$396,41

Un gran porcentaje de este es el costo de mantenimiento.

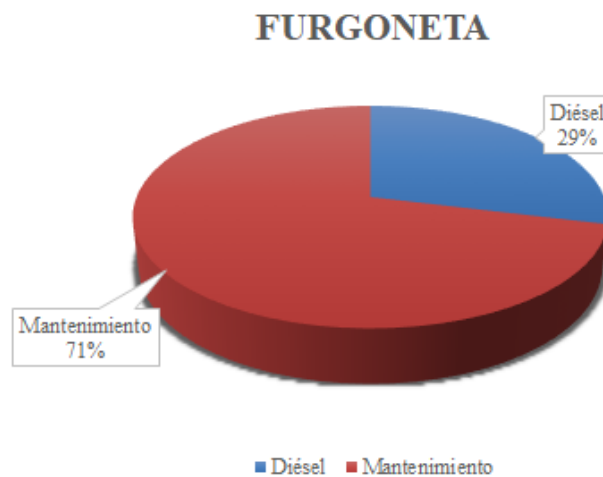


Figura 5.5: Porcentaje Total de costos anuales de furgoneta institucional

En base a estos, junto con otro datos entregados, se procederá a realizar el análisis y posterior comparación entre las tecnologías

5.2. Estimación de costos de sistemas EV en todas sus modalidades

En base a los datos obtenidos en el capítulo tres, la estimación del sistema EV se realizará no solo para el costo de la energía a consumir, sino también el costo de montar la infraestructura y valores adicionales que se pueden presentar.

5.2.1. Costo de Operación

Dentro de este, lo que se analizará es el costo referente a la energía necesaria para su operación, la cual deberíamos cancelar a la empresa de distribución, en este caso CENTROSUR. Todo esto tomado se tomo en base al Pliego Tarifario del año 2022.

5.2.1.1. Carga lenta

En base a los criterios dados en 4.1.1 y la tarifa horaria del cuadro 4.1 podemos calcular el valor a pagar cada mes

$$\text{Consumo a Pagar} = \text{Carga Comercialización} + DF \cdot FGDVE + \text{Energía Consumida} \quad (5.1)$$

El DF hace referencia a la demanda máxima que se ha registrado en el mes, la cual no puede ser inferior al 60 % del valor máximo registrado en los últimos 6 meses

$$DF = \begin{cases} 60\% \cdot DM_{max12} & \text{si } DM < 60\% \cdot DM_{max12} \\ DM & \text{si } DM \geq 60\% \cdot DM_{max12} \end{cases}$$

Por el lado del factor de gestión de la demanda (FGDVE) también presenta un factor en función al registro horario de la demanda

$$FGDVE = \begin{cases} 0,6 & \text{si } DM \text{ se registra en los periodos de demanda media o base} \\ 1 & \text{si } DM \text{ se registra en los periodos de demanda punta} \end{cases}$$

[30]

Para poder realizar una comparación bajo los mismos parámetros, se va a tomar el kilometraje de dos vehículos institucionales, lo cual será equivalente al número de cargas que se deben realizar por mes por medio de la electroli-nera

Dentro de dos años, los vehículos institucionales con motor Diesel recorrieron 99981 km, por lo que se puede decir que cada uno recorrió 49990,5 km. En un año cada vehículo recorrió 24995,25 km. Esto se ve comparado con los datos obtenidos en el capítulo 3 donde se puede observar que con un rendimiento de 0,1685 kWh/km, la autonomía con la que cuenta el vehículo es de 298,51 km.

Para poder equipararlo a un valor de cargas por mes, primero debemos definir el valor mínimo de carga del vehículo que será de 15 % , lo cual nos

UCUENCA

deja 253,74 km útiles. Para estimar el valor debemos ver cuantos kilómetros recorrió el vehículo a diésel, únicamente se realiza con el valor anual para los 12 meses, da como resultado 2082,9 km. Con esto, el número de cargas que se debe realizar son

$$\text{Número de Cargas} = \frac{2082,9 \text{ km}}{253,74 \text{ km}} \quad (5.2)$$

$$\text{Número de Cargas} = 8,2089 \approx 9 \quad (5.3)$$

En términos de energía, esto representa

$$\text{Energía} = 9 \cdot 8,27h \cdot 5,6 \text{ kW} \quad (5.4)$$

$$\text{Energía} = 416,808 \text{ kWh por mes} \quad (5.5)$$

Junto al valor de la energía mensual necesaria, debemos agregar un factor de pérdidas como se encontró en el Capítulo 3. Si bien, se logró observar que las pérdidas dentro del sistema de la Micro red oscilan el 24 %, se tomarán pérdidas del 12 % llevando a entandares normalizados en la industria. En base al cálculo realizado para un vehículo, se lo puede interpolar para dos, por lo que la energía sería el doble y el pico de potencia sería dos veces la potencia instantánea necesaria para la carga. Para ello podemos realizar el cálculo del costo mensual.

Para el DF, el valor pico se mantendrá constante durante todos los meses al ser un rectángulo en la carga, por lo que para dos vehículos, se utilizará 11,2 kW

En el FGDVE, al ser una carga enfocada para largos periodos de tiempo, se prevé que se realice en periodos de demanda media o base por lo que se utilizará el valor de 0,6

$$\begin{aligned} \text{Consumo a Pagar} &= 1,414 + 4,05 \cdot 11,2 \cdot 0,6 \\ &+ 0,05 \cdot 833,616 \cdot 1,12 \quad (5.6) \end{aligned}$$

$$\text{Consumo a Pagar} = \$ 75,312 \quad (5.7)$$

5.2.1.2. Carga Rápida

Así como en el caso anterior de carga lenta, los criterios son dados en 4.1.1 y la tarifa horaria del cuadro 4.2. De manera similar se hace referencia

UCUENCA

a la ecuación 5.1 junto con el cálculo de DF y FGDVE.

Para el análisis de ciclos de carga, se tomará el cálculo realizado en la ecuación 5.2 donde se puede ver que se necesitan los 9 ciclos de carga

En el caso de la carga rápida, se realizará en base a la energía calculada en la ecuación 5.5 en base al uso de la electrolinera 9 veces por mes. Esto nos da 416,808 kWh por mes por cada vehículo, lo que significa que para los dos vehículos será 833,616 kWh. Pero no se debe olvidar el factor de 12 % en las pérdidas. Como particularidad en este caso, al ser un cliente en medio voltaje, la empresa de distribución considera dentro del consumo las pérdidas del transformador. Esto es posible de dos maneras, la primera se realiza en base a un algoritmo que toma los valores de las pruebas realizadas en el laboratorio con el equipo pero el segundo método es tomar el valor total de la energía y agregarle un 2 %. Para simplicidad del análisis tomará el segundo método

$$\begin{aligned} \text{Consumo a Pagar} &= \text{Cargo Comercialización} \\ &+ DF \cdot FGDVE + \text{Energía Consumida} \quad (5.8) \end{aligned}$$

Para el DF, el valor pico se hará presente en la primera parte de la curva de carga, donde se tomará el valor de 50 kW, para dos vehículos 100 kW, los cuales se mantendrán constantes hasta llegar al 88 % de la carga de batería. En el FGDVE, al ser una carga enfocada para cortos periodos de tiempo, se prevé que se realice en periodos de demanda media como puede ser el medio día por lo que se utilizará el valor de 0,6

$$\begin{aligned} \text{Consumo a Pagar} &= 1,414 + 4,05 \cdot 100 \cdot 0,6 \\ &+ 0,069 \cdot 833,616 \cdot 1,12 \cdot 1,02 \quad (5.9) \end{aligned}$$

$$\text{Consumo a Pagar} = \$ 310,124 \quad (5.10)$$

5.2.1.3. Generación solar

Considerando al diseño de sistema de generación distribuida fotovoltaico que resultó más óptimo para la implementación en los diseños de las propuestas de electrolinera, estudiado en el anterior capítulo, se resume un sistema capaz de generar aproximadamente 4686 kWh anuales por medio de 8 paneles solares de 400W ubicados en dos lugares de estacionamiento.

Se esperaría que en conjunto con un medidor bidireccional la energía entregada al sistema público y la energía consumida a lo largo de un mes se resten

UCUENCA

dando como resultado el valor a pagar en la planilla. Sin embargo, se debe considerar que se está tratando de un cargo de energía por demanda horaria y que la misma también es cambiada los fines de semana dando como resultado distintos valores de energía es decir el kWh "efectivo". De esta manera, se procede a calcular los valores de energía que se harán efectivos una vez que se considera la regulación actual para la facturación en un mes.

Desde un inicio, se debe considerar que esta cuenta con tarifa horaria para su facturación por ello se usarán diferentes valores para el cálculo. Debido a su propio funcionamiento un sistema fotovoltaico entrega la mayor parte de su energía entre las 06:00 y 12:00, se puede apreciar según los cuadros 4.1,4.2 que se tienen tarifas distintas según la hora y el tipo de voltaje, baja o media tensión.

En **bajo voltaje** se tiene por un lado una tarifa de días hábiles, lunes a viernes, donde la energía entregada por el SFV entre las 06:00 y 08:00 tiene un valor de 0.05 USD/kWh y entre las 08:00 y 18:00 la energía vale 0.08 USD/kWh. Por el otro lado una tarifa para fin de semana donde la energía entregada por el SFV entre las 06:00 y 18:00 vale 0.05 USD/kWh.

En **medio voltaje** se tiene por un lado una tarifa de días hábiles, lunes a viernes, donde la energía entregada por el SFV entre las 06:00 y 08:00 tiene un valor de 0.043 USD/kWh y entre las 08:00 y 18:00 la energía vale 0.069 USD/kWh. Por el otro lado una tarifa para fin de semana donde la energía entregada por el SFV entre las 06:00 y 18:00 vale 0.043 USD/kWh.

De esta manera se puede observar que es necesaria la estimación de la proporción de energía del total generada por el SFV que corresponde a aquella suministrada a la red pública entre las 06:00 y 08:00, ya que la misma se cobra en tarifa de diferente valor y que la curva de irradiancia solar no es lineal por el propio comportamiento del fenómeno. Entonces por medio de la ayuda de los datos obtenidos en la micro red de Balzay es posible la generación de una curva promedio para su posterior integración discreta y obtención de dicho porcentaje.

$$El_{06:00-08:00} = \sum_{k=06:00}^{08:00} I_k \cdot T_k \quad (5.11)$$

$$El_{Total} = \sum_{k=06:00}^{18:00} I_k \cdot T_k \quad (5.12)$$

$$p_{06:00-08:00} = 100 \cdot \frac{El_{06:00-08:00}}{El_{Total}} \quad (5.13)$$

Donde:

I_k es la curva de irradiación generada (W/m^2)

T_k intervalo de tiempo para la sumatoria (s)

$El_{06:00-08:00}$ energía recibida por el sol entre las 06:00 y 08:00 ($W * s/m^2$)

El_{Total} energía recibida total ($W * s/m^2$)

$p_{06:00-08:00}$ porcentaje de energía que corresponde desde las 06:00 a 08:00 del total ($W * s/m^2$)

Una vez realizado este proceso se pudo determinar que el porcentaje con el menor intervalo de tiempo (desde las 06:00 a 08:00) correspondía al 3.5% de la energía generada diariamente. Y ahora es posible la estimación en USD del ahorro generado anualmente por el sistema fotovoltaico para bajo y medio voltaje.

Para **bajo voltaje** se tiene:

$$D = \left[\frac{5}{7} (0,035 \cdot 0,05 \text{ USD/kWh} + 0,965 \cdot 0,08 \text{ USD/kWh}) + \frac{2}{7} (0,05 \text{ USD/kWh}) \right] \cdot 4686 \text{ kWh/año} \quad (5.14)$$

$$\text{Descuento} = 331,2 \text{ USD/año} \quad (5.15)$$

Para **medio voltaje** se tiene:

$$D = \left[\frac{5}{7} (0,035 \cdot 0,043 \text{ USD/kWh} + 0,965 \cdot 0,069 \text{ USD/kWh}) + \frac{2}{7} (0,043 \text{ USD/kWh}) \right] \cdot 4686 \text{ kWh/año} \quad (5.16)$$

$$\text{Descuento} = 285,48 \text{ USD/año} \quad (5.17)$$

5.2.2. Costo de Construcción y Equipos

Este se puede tomar como la inversión inicial la cual necesita el proyecto, donde se toma en cuenta tanto los equipos necesarios como son la estación de

UCUENCA

carga, la acometida y otros equipos para el inicio de operación. Se procederá a describir tanto los materiales necesarios como su costo con el fin de encontrar un valor correspondiente a cada tecnología.

5.2.2.1. Acometida

Independientemente del tipo de carga prevista, un rubro necesario e indispensable para esto es una acometida soterrada desde la línea aérea hacia el transformador a usar. En un inicio, desglosaremos los materiales a usar en el poste donde se encuentra la bajante ubicado en el poste #2030. Los materiales necesarios en este caso se desglosarán junto con su precio

Cuadro 5.3: Desglose de materiales para acometida de MV

Material	Unidad	Cantidad		Precio Unitario	Total	
		Carga Rápida	Carga Lenta		Carga Rápida	Carga Lenta
Abrazadera de hierro en U de 5/8" x 50cm	U	2	2	\$3,16	\$6,32	\$6,32
Abrazadera pletina galv. simple di. 160-190 mm	U	2	2	\$7,56	\$15,12	\$15,12
Cinta eriband de 3/4", con hebilla	U	4	4	\$5,02	\$28,08	\$28,08
Codo metálico, para tubo EMT de 4" de diam.	U	1	1	\$21	\$21	\$21
Conductor de Copperweld, cableado, desnudo # 1/0 AWG., 7 H	m	12	12	\$5,3	\$63,6	\$63,6
Cable de cobre con aislamiento tipo XLPE para 25 KV, calibre # 2 AWG.	m	240	80	\$10,41	\$2498,4	\$832,8
Conductor de Cu, cableado, desnudo # 2 AWG, 7 H	m	80	80	\$6,56	\$524,8	\$528,4
Conector de línea energizada	U	3	1	\$8,24	\$24,75	\$8,24
Conector P.H. Cu-Al No. 1/0 AWG	U	3	1	\$16,09	\$48,27	\$16,09
Cruceta de hierro, perforada de 2 m	U	1	0	\$55,64	\$55,64	-
Cruceta de hierro, perforada de 2,4 m	U	1	0	\$63,47	\$63,47	-
Cruceta de hierro, perforada de 1,5 m	U	0	2	\$25	-	\$50
Kit de soldadura cadweld cable-varilla + Varilla copperweld de 5/8" x 1.8 m	U	2	2	\$20	\$40	\$40
Material para sujeción de tubo EMT de 4.º losa	gl.	1	1	\$10	\$10	\$10
Pararrayo para 6 KV, tipo polimero	U	3	1	\$46,02	\$138,06	\$46,02
Pie amigo ángulo hierro galv. de 1.1/2" x 3/16" 0,7 m	U	4	2	\$5,92	\$23,68	\$11,84
Puntas de caucho para 25 KV, tipo exterior, para cable # 2	U	3	1	\$65	\$195	\$65
Reversible para tubo EMT de 4" de diam	U	1	1	\$23	\$23	\$23
Seccionador fusible tipo abierto 27 KV, 100A	U	3	1	\$69	\$207	\$69
Tubo metálico de H.G. tipo EMT de 4" x 3m	U	2	2	\$39,47	\$78,94	\$78,94
Tubo rígido de PVC de 6mx110mm de diam.	U	12	12	\$19,5	\$234	\$234
Unión metálica para tubo EMT de 4" de diam.	U	2	2	\$5,7	\$11,4	\$11,4
Elementos adicionales (Cable, herramientas, etc)	U	1	1	\$500	\$500	\$500
TOTAL					\$4810,53	\$2658,85

UCUENCA

5.2.2.2. Transformador

Este será parte fundamental en la electrolinera, ya que será el encargado de proveer el voltaje al que trabaja, así como brindar estabilidad y seguridad al sistema. Este va a variar en la potencia nominal debido a los picos de potencia que presentan los equipos.

Para la carga rápida, la cual estaba previsto para dos surtidores de 50kW, lo que se necesita será un transformador PadMounted de 125kVA, el cual podrá soportar el pico de 100kW. Al tener que trabajar con una tensión de 400V +/- 10 %, se necesita un transformador fabricado especial. Este tiene un costo de \$15.000

Dentro de la carga lenta, la denominación del transformador será mucho menor por lo que los costos se verán drásticamente reducidos. El transformador seleccionado será uno de 25kVA, el cual está sobredimensionado pero es el de menor denominación en el mercado. Así como en el caso de la carga rápida, este deberá trabajar a un voltaje especial, pero con un voltaje de 230V +/- 10 % por lo que deberá ser fabricado. Este tiene un costo de \$6.500. Junto a esto, debemos agregar un costo de obras civiles, el cual se verá reflejado en los valores reflejados

Cuadro 5.4: Desglose de costos de transformador

Rubro	Precio	Tecnología
Transformador Trifásico 125 KVA 6,3-22KV/380-220V Conmutable	\$15000	Carga Rápida
Transformador Monofásico 25 KVA 6,3-12,7KV/460-230V Conmutable	\$6500	Carga Lenta
Obra Civil (Base, etc)	\$700	Ambas

5.2.2.3. Estación de Carga

La estación de carga es el corazón del proyecto por lo que será necesario una correcta selección del equipo. Así como en el caso de los transformadores, estos equipos presentarán grandes variaciones en sus costos.

En el caso de la carga rápida, el equipo que será tomado en cuenta será el mismo del laboratorio de la Micro red. Esta es la Raption 50, perteneciente a la marca CIRCONTROL. El costo aproximado de este equipo oscila los \$350000

UCUENCA



Figura 5.6: Estación de carga rápida Raption 50, de la marca CIRCONTROL

El equipo de carga lenta será una torre eVolve Smart Modelo S perteneciente a la marca CIRCONTROL. Esta cuenta con las características necesarias y tiene un costo de \$2000



Figura 5.7: Estación de carga lenta eVolve Smart Modelo S, de la marca CIRCONTROL

Los valores, así como en los rubros previos, se presentan en un cuadro señalando su precio y la tecnología a la que corresponde

Cuadro 5.5: Desglose de precios de estación de carga

Rubro	Precio	Tecnología
Raption 50 marca CIRCONTROL	\$35000	Carga Rápida
eVolve Smart Modelo S marca CIRCONTROL	\$2000	Carga Lenta

5.2.2.4. Sistema Fotovoltaico

Junto con la estación de carga, se prevé colocar una estructura tipo pérgola, la cual tendrá dos funciones primordiales. Estas son la de proteger contra los rayos solares a la estación y los vehículos, así como sostener los módulos solares en el techo de este. En base a los datos técnicos y el espacio con el que se cuenta, se prevé usar ocho paneles solares de 400W. Junto a esta, se necesita un inversor el cual sea capaz de abastecer la capacidad de generación así como tener las especificaciones necesarias para la interconexión a la red. Esta última, hará que sea necesario un inversor diferente para la estación de carga rápida y carga lenta. Los costos aproximados se verán reflejados en un cuadro, donde se tomarán en cuenta los costos previamente mostrados.

Cuadro 5.6: Desglose de precios de equipos para SF

Rubro	Precio Unitario	Precio
Panel (x8)	\$250	\$2000
Inversor (x2)	\$1000	\$2000
Obra Civil (Pérgola, etc)	\$2500	\$2500

5.3. Comparación entre diferentes tecnologías

Para poder iniciar con una comparación justa, se definirá que engloba cada una de estas. Para iniciar se tomarán los 17 vehículos a diésel de propiedad de la Universidad junto con los datos de distancia recorrida, el costo del mantenimiento y combustible. Por ello en este simplemente se cuenta con el costo de operación (combustible y mantenimiento) necesario para realizar los recorridos de una manera normal.

Sin embargo, dentro de la tecnología EV, la Universidad debe, desde un inicio, acondicionar su infraestructura para que este sea viable. Por ello el primer costo a tener en cuenta es aquel de la inversión en la infraestructura necesaria para poder contar con estaciones de carga (acometida, equipos, etc.). Otro

UCUENCA

rubro no menor es aquel relacionado al costo operacional, lo que equivale al costo energético mensual del vehículo.

Como punto de partida, se realizará una comparativa entre los 4 modelos planteados en la sección 4.2.4. Con ello, se presentará un cuadro comparativo de los precios de cada uno de ellos. En el caso de la tarifa de CENTROSUR, se restará del valor encontrado en 5.2.1 del beneficio entregado por el sistema fotovoltaico encontrado en 5.2.1.3. Dentro de esto, el valor del mantenimiento fue tomado de la misma fuente pero para el caso del vehículo eléctrico, se consultó directamente en la casa comercializadora de este. En promedio, después de varias pruebas, el valor del mantenimiento es de \$0,013 por cada kilómetro. Este valor, reflejado en forma anual con el kilometraje previsto a recorrer será de \$324,95

Cuadro 5.7: Resumen de precios contemplados en cada modelo

		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
		Carga Rápida		Carga Lenta	
		Con S/F	Sin S/F	Con S/F	Sin S/F
INVERSION INICIAL EN PRESENTE	Acometida	\$4810,85		\$2658,85	
	Transformador	\$15000		\$6500	
	Estación de Carga	\$35000		\$2000	
	Sistema Fotovoltaico	\$4000	\$0	\$4000	\$0
	Obra Civil (Pérgola, Pozos, Base de transformador, etc)	\$3100	\$700	\$3100	\$700
TOTAL VALOR PRESENTE		\$61910,85	\$55510,85	\$18258,85	\$11858,85
COSTO DE OPERACIÓN	Valor CENTROSUR	\$3436,04	\$3721,49	\$572,55	\$903,75
	Mantenimiento del Vehículo	\$324,95			
TOTAL VALOR ANUAL		\$3760,99	\$4046,44	\$897,450	\$1228,69

Para poder reflejar todas las variables y poder tener una comparación más justa, se hará un análisis económico con una proyección de un proyecto a 10 años en el tiempo presente. Para ello se hará un cuadro comparativo relacionando los valores en presente para poderlos medir bajo los mismos criterios. Ahora usaremos la ecuación 2.12 para poder representar el valor presente

que representan estas dos tecnologías. El interés usado es el establecido por el Banco Central del Ecuador para inversiones publicas, correspondiente al 8,76 %

Cuadro 5.8: Valores presentes de cada modelo

Rubro	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Inversión Inicial	\$61910,85	\$55510,85	\$18258,85	\$11858,85
Costo de Operación	\$24458,775	\$26315,13	\$5839,69	\$7990,578
TOTAL	\$86369,625	\$81825,98	\$24098,54	\$19849,428

Partiendo de la presentación de los costos de los diferentes modelos, podemos ver que en el caso de la carga lenta sin Sistema Fotovoltaico es más económica debido a varios factores como puede ser el pico de potencia que aumenta de manera radical el costo de operación y la negativa de usar un SF por el elevado costo de inversión y el bajo beneficio que este presenta. Por ello, la comparación principal se realizará entre el sistema de CI y el Modelo 4, que incluye la carga lenta sin un sistema fotovoltaico. Así mismo, se hará un análisis en valor presente como en el caso anterior. Todos los valores referentes al costo de operación, son tomados de los datos obtenidos del Departamento de movilidad.

Cuadro 5.9: Comparación CI vs. EV

Rubro	Sistema Combustión Interna	Modelo 4
Inversión Inicial	N/A	\$11858,85
Costo de Operación	\$14468,155	\$7990,578
TOTAL	\$14468,155	\$19849,428

Como se puede observar, en una proyección a 10 años, el costo del sistema de combustión interna todavía sigue siendo más económico que el EV. Esto cuenta con una explicación tan simple como compleja, la cual es el costo de la inversión inicial. En el caso de EV, se debe tomar en consideración tanto el costo de los equipos como la estación de carga o de transformación y el

UCUENCA

acondicionamiento físico necesario. Por otro lado se puede ver que el costo de operación del sistema de CI es mayor en un 50 % al EV. Esto es un factor determinante ya que si bien para un periodo de 10 años, la inversión en EV es mayor se podría estimar que para una proyección a más cantidad de años, se volvería rentable. El análisis previamente realizado solo tomo en cuenta una pequeña parte de la flota pero ahora se expandirá al número total de vehículos a diésel y su transición a un EV. En el caso de los automotores de combustión interna, se mantendrá el promedio de 2048 km de manera mensual por lo que únicamente se magnificará el valor previamente obtenido en el cuadro 5.2

El análisis para los vehículos EV será un poco más complicado ya que dentro de este se analizará una optimización de estaciones de carga con el fin de no sobredimensionar el sistema. Tomando en cuenta que la transición deberá ser de 14 vehículos, y siguiente el parámetro de 2048 km por mes, cada vehículo tendrá previsto recorrer un aproximado de 70 km por día. Siguiendo el estimado de cargas por mes de la ecuación 5.2. Para saber el número de vehículos a cargar por día se debe relacionar la cantidad total de automotores con las cargas por mes

$$\begin{aligned} \text{Intervalo de cargas} &= \frac{30 \text{ días por mes}}{9 \text{ cargas por EV}} = 3,33 \\ &\approx \text{Cada 3 días} \end{aligned} \tag{5.18}$$

Junto con ello, se puede saber la cantidad de vehículos a cargar por día

$$\text{Vehículos por día} = \frac{14 \text{ vehículos}}{3 \text{ días}} = 4,667 \approx 5 \text{ vehículos} \tag{5.19}$$

Para ello debemos dimensionar los rubros como estaciones de carga o transformador

5.3.0.1. Inversión Inicial de Flota

Al saber que solo se cargarán 5 vehículos por día, el número de estaciones de carga será de 5 con un surtidor cada uno.

Al tener una potencia de 5,6 kW cada surtidor, la denominación del transformador aumentará significativamente a 37,5kVA.

Dentro de la acometida, el valor se mantendrá. Los valores se reflejan en el siguiente cuadro

Cuadro 5.10: Inversión inicial flota EV

Rubros	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Estación de carga eVolve Smart Modelo S marca CIRCONTROL (un surtidor)	5	\$1000	\$5000
Transformador Monofásico 37,5 KVA 6,3-12,7KV/460-230V Conmutable	1	\$8000	\$8000
Acometida	1	\$2658,85	\$2658,85
TOTAL			\$15658,85

5.3.0.2. Costo de Operación Anual de Flota

Para poder analizar el costo de operación, el cual será el mantenimiento anual del vehículo como el la energía consumida, se realizará con la encontrada en la ecuación 5.5.

$$\text{Energía Total} = 416,808 \text{ kWh} \cdot 14 = 5835,312 \text{ kWh} \quad (5.20)$$

Al ser un sistema idéntico, el valor de energía únicamente será reemplazado en la ecuación 5.21

$$\begin{aligned} \text{Consumo a Pagar} &= 1,414 + 4,05 \cdot 28 \cdot 0,6 \\ &+ 0,05 \cdot 5835,312 \cdot 1,12 \quad (5.21) \end{aligned}$$

$$\text{Consumo a Pagar por mes} = \$ 396,231 \quad (5.22)$$

El valor anual será de

$$\text{Consumo a Pagar por año} = \$ 396,231 \cdot 12 = \$ 4754,777 \quad (5.23)$$

Para el costo del mantenimiento, el valor por km es de \$0,013, por ello el mantenimiento será de

$$\begin{aligned} \text{Mantenimiento} &= 24995,25 \text{ km} \cdot 14 \text{ vehiculos} \cdot 0,013 \\ &= \$4549,135 \quad (5.24) \end{aligned}$$

Todos los valores se ven reflejados a continuación

Cuadro 5.11: Valores presentes en transición a flota EV

	Rubros	Precio
Inversión Inicial	Estación de Carga	\$5000
	Transformador	\$8000
	Acometida	\$2658,85
	Obra civil	\$700
Costo de Operación	Combustible (energía)	\$4754,777
	Mantenimiento	\$4549,135

Para contrastar esto, lo compararemos con el equivalente en vehículos a combustión interna con los datos de la Universidad

Cuadro 5.12: Costos presentes en flota a Diésel

	Rubro	Precio
Inversión Inicial	N/A	N/A
Costo de Operación	Combustible	\$5549,74
	Mantenimiento	\$11685,66

Con estos datos, podemos hacer un análisis anual, para poder ver evidenciar el beneficio a través de los años. Para ello, se convertirá a valor anual la inversión inicial de EV con la ecuación 2.11 a un interés del 8,7%.

$$A = \left[\frac{0,087(1 + 0,087)^{10}}{(1 + 0,087)^{10} - 1} \right] 15658,82 = \$2407,83 \text{ por año} \quad (5.25)$$

Esto se verá resumido en el siguiente cuadro, con los valores anuales

Cuadro 5.13: Valores Anuales

	Rubro	Flota Diesel	Flota EV
Inversión Inicial	N/A	N/A	\$2407,84
Costo de Operación	Combustible	\$5549,74	\$4754,777
	Mantenimiento	\$11685,66	\$4549,135
TOTAL		\$17235,4	\$11711,752

De manera gráfica se puede observar como anualmente la inversión en vehículos eléctricos es menor desde el primer año a comparación que los matriz de diésel y al analizar más cantidad de años se presenta una tendencia de aumento en esta brecha. Todo esto se observa el la figura 5.8

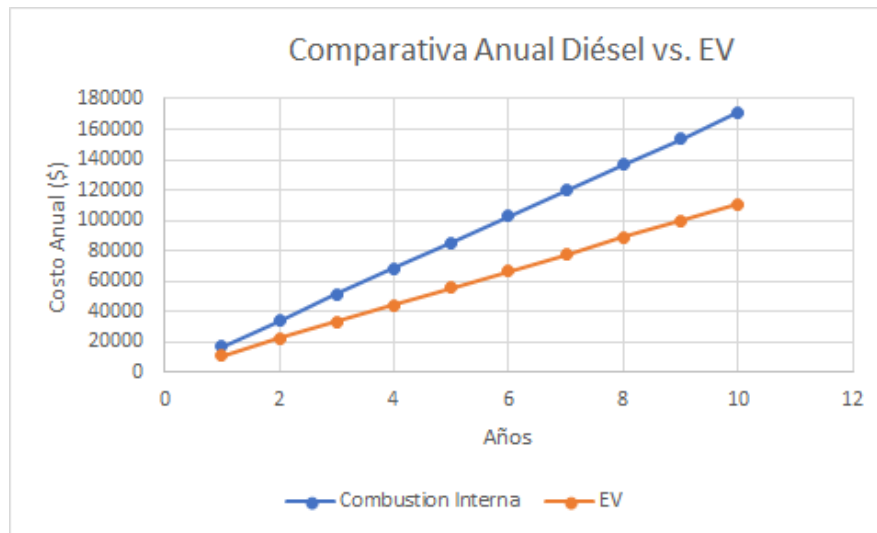


Figura 5.8: Comparación anual entre la Flota a Diésel contra EV

En base a los análisis previos y a la magnitud del patio automotor, es de suma importancia realizar un pequeño desglose del impacto ambiental que estos generan y el cambio que existiría con la transición a EV.

Capítulo 6

Análisis Ambiental

Las externalidades se pueden considerar como los costos asociados a los impactos negativos indirectos producidos en humanos, flora y fauna causados por cierto fenómeno vinculado a la emisión de un contaminante. Este capítulo se centrará en la obtención de los valores monetarios aproximados por las externalidades debido a las emisiones de CO₂ debido al uso de vehículos a diésel y de vehículos eléctricos.

6.1. Estimación de emisiones de la matriz actual de movilidad institucional (diésel)

En la matriz de vehículos a combustión interna, en este caso a diésel, la producción de emisiones de gases de efecto invernadero se producen mayoritariamente en las etapas de producción de combustible y de operación del automotor.

6.1.1. Estimación de emisiones debidas a producción de diésel

En la aproximación de emisiones por la producción de diésel se contempla principalmente la cantidad de CO₂ generadas debido al proceso de destilación del petróleo. Aquí se tienen presente la siguiente consideración:

- El lugar donde se generan las emisiones no es relevante dado que los efectos provocados por emisiones de GEI, como lo es el Calentamiento Global, son de alcance generalizado.

De esta forma, no es importante considerar el porcentaje de diésel importado por el Ecuador para el presente análisis.

Según datos obtenidos de refinerías Europeas por Alexandre Szklo y Roberto Scheffer [45], aquellas consideradas como de *alta capacidad de conversión* en sus diversos procesos se representan entre 200 y 300 $ktCO_2/Mt$ de crudo; por otro lado, en refinerías de *baja capacidad de conversión* el valor es 250 y 550 $ktCO_2/Mt$. Para este estudio, se tomará como referencia el valor de 550 $ktCO_2/Mt$ o 550 gCO_2/kg de crudo considerando la falta de datos

UCUENCA

históricos por las empresas ecuatorianas y asimilando un caso pesimista. Además es importante considerar que del total del petróleo refinado a diésel mundialmente, considerando eficiencia, representa el 21 % [46].

En base en los datos presentados previamente es posible aproximar un valor que represente la cantidad de emisiones de CO₂ por unidad de cantidad de diésel generado.

$$Factor_{emision} = \frac{550 \text{ g } CO_2}{\text{kg crudo}} \cdot 21 \% \text{ crudo convertido diesel} \quad (6.1)$$

$$Factor_{emision} = \frac{115,5 \text{ g } CO_2}{\text{kg diesel}} \quad (6.2)$$

Por medio de los datos obtenidos del departamento de movilidad se puede estimar un rendimiento de $102,9 \text{ ml diesel/km}$. De esta manera es posible obtener el valor de emisiones en kg de CO₂ por kilómetro recorrido. Presentando el siguiente valor:

$$Factor_{emision \text{ producción}} = \frac{10,57 \text{ g } CO_2}{\text{km recorrido diesel}} \quad (6.3)$$

6.1.2. Estimación de emisiones en fase de operación del vehículo a diésel

El factor de emisión puede aproximarse a un valor de unidad de peso por unidad de distancia recorrida, según el tipo de motor del vehículo y su potencia.

Para el procesos de estimación de gases de efecto invernadero (GEI) generada por la matriz actual de diésel se utilizará los resultados obtenidos por [39] a marzo de 2019 en Ecuador donde se encontraron los factores de emisión para un vehículo con un motor 2,5L Turbo Diesel CRDI. Los valores considerados se encuentra en el cuadro 6.1

Cuadro 6.1: Autonomía en Recorridos

Table Tipo de Combustible	Factor de emisión		
	<i>CO2 g/km</i>	<i>FHC g/km</i>	<i>FNOx g/km</i>
Diésel	2.06	0.464	2.140
Biodiesel supercrítico 10 % + diésel 90 %	1.588	0.420	1.871
Dióxido de Cerio 250ppm + diésel	2.188	0.335	1.158
Biodiesel supercrítico 10 % + diésel 90 % + dióxido de Cerio 250ppm	1.981	0.361	1.092

Tomado de [39].

De esta manera, el factor de emisión considerado para la fase de operación será:

$$Factor_{emision\ operación} = \frac{2,06\ g\ CO_2}{km\ recorrido\ diesel} \quad (6.4)$$

También es posible obtener la cantidad de emisiones generadas por los vehículos utilitarios de la matriz actual a diésel entre los años 2019 y 2020.

Cuadro 6.2: Emisiones

Table Vehículo	Cantidad de emisiones				
	<i>Año</i>	<i>km</i>	<i>CO2 kg</i>	<i>FHC kg</i>	<i>FNOx kg</i>
AEA857	2019	15002	30.904	6.960	32.104
	2020	24894	60.998	13.739	63.367
AEA883	2019	29611	51.281	11.550	52.273
	2020	30474	62.776	14.140	65.214
	Total	99981	205.96	46.391	213.96

Una vez que se ha obtenido la cantidad de emisiones totales de dos vehículos de uso institucional por el lapso de dos años se puede obtener que las cantidades de emisiones promedio por vehículo utilitario de diésel por año, estos valores son:

Cuadro 6.3: Especificaciones Técnicas

Cantidad de emisiones de un vehículo por año		
<i>CO2 kg</i>	<i>FHC kg</i>	<i>FNOx kg</i>
51.4902	11.597	53.489

Factor de emisión de matriz de diésel : Finalmente, considerando las dos fases en las que se presenta la mayor parte de las emisiones relacionados con los vehículos a combustión accionados por diésel, el factor de emisión será la suma de ambos:

$$Factor_{emision\ diesel} = \frac{12,63\ g\ CO_2}{km\ recorrido\ diesel} \quad (6.5)$$

6.2. Estimación de emisiones asociadas a una matriz con EV

Para el análisis de las emisiones de un EV se debe tener en cuenta que un BEV no tiene emisiones en fase de operación, sin embargo, en la fase de carga hay el caso en que incluso el total de la energía sea de fuente contaminante. Como las estaciones de cargas consideradas están directamente conectadas a la red eléctrica se puede aproximar las emisiones de carga del EV como las propias emisiones del SNI, es decir, estimar el factor de emisión a un corto plazo y usar dicho valor como el factor de emisión del EV.

Considerando el último informe emitido hasta la fecha por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador llamado FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR se puede observar en la siguiente gráfica la evolución de la cantidad de emisiones del SNI a lo largo de 7 años.

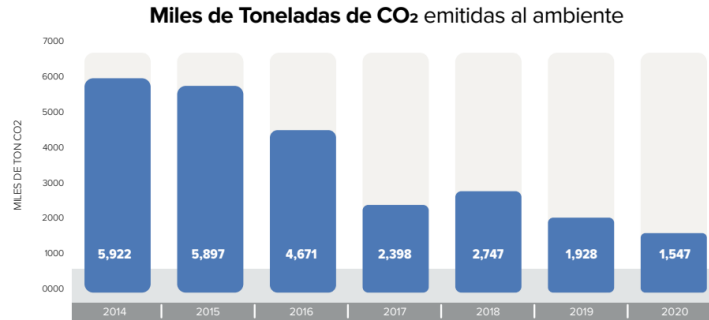


Figura 6.1: Evolución de la cantidad de emisiones de CO₂ por el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. Tomado de [40].

Obteniendo los datos del informe anual generado por el Operador Nacional de Electricidad del Ecuador, CENACE, se puede obtener la curva de generación bruta anual del sistema. Considere la figura.

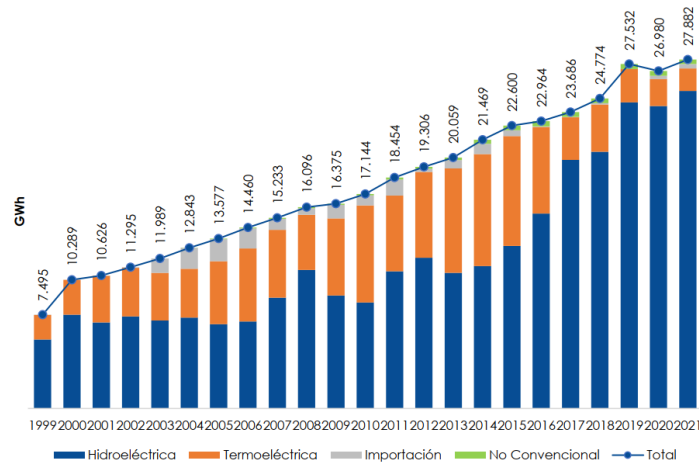


Figura 6.2: Evolución de la cantidad de energía generada por el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador. Tomado de [41].

Además, considerando la gráfica 6.3 se puede extraer la evolución de la proporción de generación de térmica a lo largo de 22 años en el Ecuador.

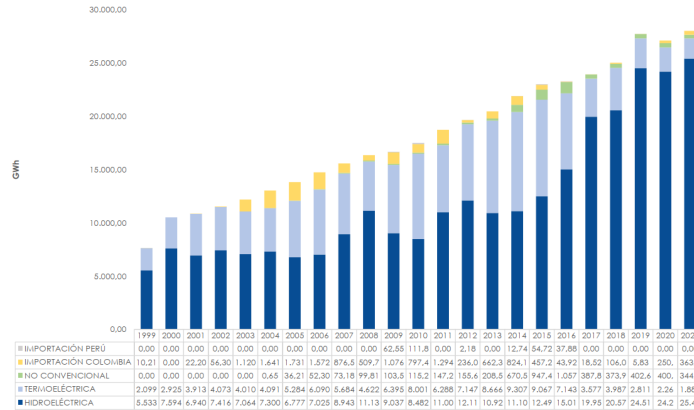


Figura 6.3: Producción bruta de energía en GWh 1999-2021. Tomado de [41].

Considerando la información presentada previamente se puede ver que la tendencia de la participación de centrales térmicas en el sistema eléctrico del Ecuador tiende a disminuir, figura 6.4.

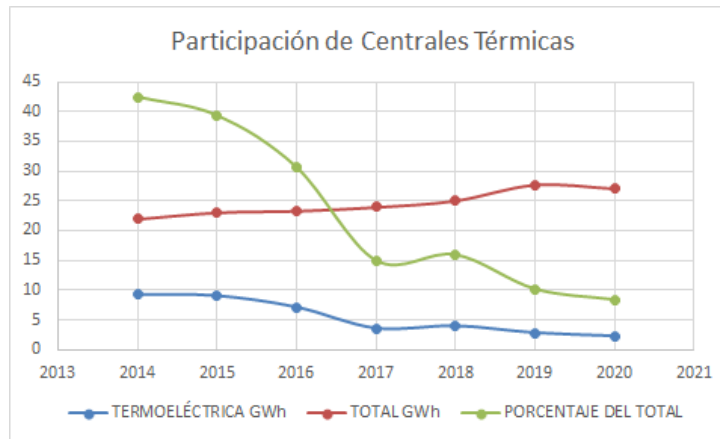


Figura 6.4: Participación de Centrales Térmicas 2014-2020

En la gráfica 6.5 constan las curvas de la generación térmica y la cantidad de emisiones debido a la operación termoeléctrica por el Sistema Nacional Interconectado entre 2014-2020. Se puede observar que hay una relación directa entre estas dos variables. Sin embargo, es importante notar que esta relación de proporción directa no es lineal a través de tiempo. Con el propósito de mostrar esta no linealidad se presenta la gráfica 6.6 donde

UCUENCA

se puede ver la evolución del factor de relación entre la cantidad de emisiones expulsadas y la cantidad de energía de eléctrica generada por centrales termoeléctricas.

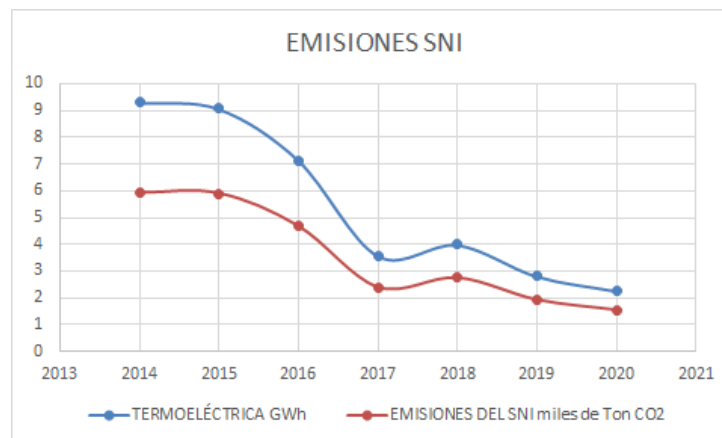


Figura 6.5: Emisiones del SNI 2014-2020

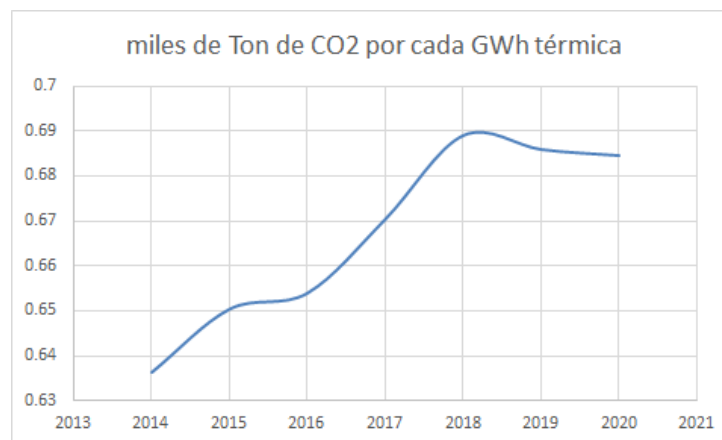


Figura 6.6: Relación entre emisiones del SNI y generación por Termoeléctricas 2014-2020

Hay que tener en cuenta que el factor de emisiones por cantidad de energía ha ido disminuyendo desde el año 2018 con una tendencia a equilibrarse en

UCUENCA

un valor menor a 0.685 miles de Ton de CO₂ por GWh térmico, esto se puede deber al continuo mantenimiento y actualización de componentes de las centrales térmicas que las hace más eficientes y menos contaminantes.

Una vez realizado el análisis previo se puede plantear el siguiente escenario para la estimación de las emisiones:

- El porcentaje de participación de centrales térmicas se mantiene en un valor inferior al 8.5, usando un valor de 0.085 GWh térmico / GWh total SNI para el cálculo.
- El factor de emisiones por cantidad de energía eléctrica de fuentes térmicas se mantiene en un valor inferior a 0.685 miles de Ton de CO₂ por cada GWh térmico.

Usando estos datos se puede obtener un **factor de emisión del SNI**, en un caso pesimista donde no se mejora la tecnología ni se reduce la participación de centrales térmicas, de 0.058225 miles de Ton de CO₂ por cada GWh generado, mismo valor que se puede convertir a 0.058225 g de CO₂ por cada kWh.

También se debe tener en cuenta que se tiene modelos con y sin incorporación de sistema de generación fotovoltaica.

Para los modelos **sin generación fotovoltaica** se usa directamente el valor del rendimiento obtenido en la sección 3.3 del presente trabajo para la transformación de g de CO₂/kWh a g de CO₂/km. Es decir se utiliza el valor de 0.1685 kWh/km en conjunto con 0.058225 g de CO₂/kWh, dando como resultado un **factor de emisión** de 0.0098 g de CO₂/km.

En el caso de los modelos donde se **incluye la generación fotovoltaica**, el rendimiento del vehículo visto desde perspectiva de análisis ambiental disminuye dado que al generar energía y enviarla al sistema público se está evitando la generación de la misma por el SNI y por consiguiente emisiones por esta generación. Esto quiere decir que se puede calcular un nuevo rendimiento” de los modelos con generación solar, tomando en cuenta la generación evitada por el SNI al tener generación renovable distribuida, esto sería de la siguiente manera:

UCUENCA

Se sabe del capítulo 3 que los dos vehículos recorren en promedio 50 mil kilómetros entre los dos y que tiene un rendimiento medio de 0.1685 kWh. Además, por la sección 4.2.3.3 se sabe que el sistema fotovoltaico elegido generaría 4686 kWh al año, siendo estas las emisiones evitadas al año. Entonces,

$$Rendimiento_{ambiental} = \frac{(0,1685 \text{ kWh/km} \cdot 50000 \text{ km}) - 4686 \text{ kWh}}{50000 \text{ km}} \quad (6.6)$$

$$Rendimiento_{ambiental} = 0,07478 \text{ kWh/km} \quad (6.7)$$

Con este valor es posible realizar la obtención del **factor de emisión** por medio del producto de 0.07478 kWh/km y el valor de emisión del SNI de 0.058225 g de CO₂/kWh, entonces el valor será 0.004354 g de CO₂/km para modelos con generación fotovoltaica.

6.3. Precio de las emisiones de carbono

El precio del carbono o el precio de las emisiones de carbono es un valor monetario relacionado con la cantidad de emisiones de CO₂ generadas, donde se pretende dar una referencia de los valores correspondientes a externalidades negativas por el uso de los combustibles. Éstas externalidades hablan de los gastos colaterales como: enfermedades pulmonares, afecciones a la piel, daños al sistema respiratorio; siendo éstas afecciones directas a la población, pero también existen daños a cultivos, animales domésticos, infraestructura, etc.

De esta manera se puede dar un precio al carbono mediante la implementación de impuestos a este material o el uso de sistemas de comercio de emisiones. Teniendo, estas políticas, como objetivo modificar los hábitos de inversión, producción y consumo para, con la ayuda de la constante innovación, desarrollar un mercado que se adapte y proteja al ecosistema donde opera [42].

D. Vasco en *Externalidad negativa en el transporte urbano de Ambato por emisiones directas de CO₂, NO_x y SO₂* [42] realiza un análisis donde se estima el valor del precio del carbono por medio de la adopción del valor de un país aledaño a Ecuador, Colombia, cuya situación socio-política y económica son similares, dado que debido a la falta de registros en las entidades públicas ecuatorianas relacionadas con el precio de las externalidades generadas por la emisión de GEI impiden una estimación de un valor base de para el carbono. Para el presente análisis se toma como referencial el valor considerado en este

estudio, siendo de 15 US\$ por tonelada de CO₂ o 1.5ctvs \$/kg.

6.4. Comparación de las matrices de movilidad

Una vez obtenidos los factores de emisión de las dos matrices, diésel y eléctrica, en la sección 6.1 y 6.2; y en conjunto con el precio de las externalidades en la sección 6.3 es posible obtener el valor de los impactos generados anualmente por cada tecnología considerando un recorrido promedio total de 50 mil kilómetros al año por los dos vehículos utilitarios de la matriz actual. El resumen se presenta en el cuadro 6.4:

Cuadro 6.4: Comparación ambiental de modelos

<i>Costo de externalidades por emisiones de CO₂ en recorrido total de 50000 km al año</i>						
<i>Matriz</i>	<i>Tecnología</i>	<i>Tipo</i>	<i>Factor de emisión</i>	<i>Emisiones</i>	<i>Precio Carbono</i>	<i>USD</i>
Actual	Combustión Interna	Diésel	12.63 g/km	631.5 kg	1.5 ctv USD/kg	9.47 \$
		Carga rápida + SFV	0.004354 g/km	0.2177kg		0.003 \$
Alternativas	Eléctrica	Carga rápida	0.0098 g/km	0.490 kg		0.007 \$
		Carga lenta + SFV	0.004354 g/km	0.2177kg		0.003 \$
		Carga lenta	0.0098 g/km	0.490 kg		0.007 \$

Considerando el cuadro mostrado previamente se puede observar que la de relación porcentual de los costos por externalidades entre vehículos eléctricos con sistema de generación fotovoltaica y la matriz actual a diésel es de 0.034 %. Es decir, la tecnología de los modelos 1 y 3, que involucran sistemas fotovoltaicos, emitirían menos del 1 % del CO₂ que expulsan los vehículos del sistema actual a diésel.

Por otro lado, si se realiza la misma relación pero, en este caso, con vehículos eléctricos cuyos sistemas de carga están conectados únicamente a la red, se puede encontrar un valor porcentual de 0.078 % en relación a la matriz de diésel. De igual manera, aunque no se implemente generación fotovoltaica, se puede esperar que estos modelos sin generación distribuida representen menos del 1 % de emisiones en comparación con vehículos a diésel. Esta si-

UCUENCA

tuación se debe al bajo factor de emisiones del SNI estimado ya que la mayor parte de generación corresponde a fuentes renovables o parcialmente renovables.

De igual manera, cuando se visualiza los resultados de la tecnología de vehículos eléctricos con sistema fotovoltaico, cuando este sistema genera aproximadamente la mitad de la energía consumida por los vehículos a 50000 kilómetros anuales, se reduce más de la mitad las emisiones que si este sistema no tuviera generación fotovoltaica; esto tomando la energía inyectada al sistema como energía evitada de generar por el SNI con su debida proporción térmica que genera las emisiones de CO₂.

Generalización: Como se puede ver, al contrario que en un análisis únicamente económico, el modelo más óptimo en términos ambientales es aquel que cuenta con generación fotovoltaica; por ello se realiza una comparación más generalizada extendiendo los valores a una cantidad cercana a la flota de vehículos a diésel (14 vehículos). Este modelo contempla, la utilización de 14 vehículos eléctricos con capacidad de carga conjunta de 5 espacios y 20 paneles de 400 W ubicados en los mismos.

De igual forma, se toma que cada vehículo, diésel o eléctrico, recorrerá una media de 25000 km al año. Es decir, una totalidad de 350000 km al año de distancia recorrida.

Se calcula nuevamente el rendimiento ambiental de los automóviles, de la misma manera que en la ecuación 6.6, dando un valor de 0,135 kWh/km. Y dando como resultado un factor de emisión de 0,007862 g de CO₂/km para este modelo generalizado.

Cuadro 6.5: Comparación ambiental con generalización de modelos

<i>Costo de externalidades por emisiones de CO₂ en recorrido total de 350000 km al año</i>					
<i>Matriz</i>	<i>Tipo</i>	<i>Factor de emisión</i>	<i>Emisiones</i>	<i>Precio Carbono</i>	<i>USD</i>
Actual	Diésel	12.63 kg CO ₂ /km	4420.5 kg	1.5 ctv USD/kg	66.31 \$
Propuesta	EV + Carga lenta + SFV	0.0078 kg CO ₂ /km	2.752 kg		0.04\$

Tomando en cuenta esta proyección anual de las flotas por medio de la relación porcentual de los costos por externalidades entre EV con SFV y

UCUENCA

matriz a diésel da un valor de 0.0603 %. Donde se puede observar más de mil veces menos de emisiones con una matriz completamente eléctrica. Además, se debe tener en cuenta el valor de 66.31 \$ se puede considerar como una ganancia o **ingreso** generado al **desplazar** la flota de diésel, mismo valor que puede ser comercializado en el mercado del carbono.

Capítulo 7

Discusión

7.1. Conclusiones

Considerando el principio de funcionamiento de los dos tipos de tecnologías de vehículos comparados en este estudio, vehículos con accionamiento por motor de combustión interna y accionamiento por motor eléctrico; es previsible que, en teoría, la matriz con vehículos eléctricos presenten varias ventajas sobre la matriz actual a diésel.

Por un lado se tiene la eficiencia energética en la transformación de combustible a energía mecánica dado que un motor a combustión interna presenta eficiencias de alrededor el 30 % en total, en comparación de los valores cercanos al 90 % en la transformación de energía que presentan los vehículos eléctricos considerando las altas eficiencias de los motores, inversores y dispositivos de electrónica de potencia utilizados en los mismos. Además, se tiene la capacidad en los vehículos eléctricos de incorporar el frenado regenerativo que recupera la energía para recargar la batería por campos electromagnéticos, en comparación con el frenado mecánico presente en los vehículos a combustión interna que solo involucran pérdida de energía y desgaste mecánico de las pastillas.

Por otro lado, si se considera la capacidad de los sistemas de generación distribuida solares por su facilidad de instalación y aprovechamiento del recurso solar, la incorporación de los mismos a los sistemas encargados de la carga de los vehículos eléctricos se pudo teorizar que los sistemas de vehículos eléctricos en conjunto con sistemas solares fotovoltaicos son una gran competencia en términos energéticos en comparación con la alternativa de combustión interna.

Por medio del análisis de la pruebas realizadas en campo con el vehículo eléctrico utilitario a batería (BEV) de la marca BYD modelo T3 de la Universidad de Cuenca, se pudo evidenciar las diferencias presentes entre los valores teóricos y prácticos en campo de ciertas variables presentes en la hoja técnica del mismo, dado que los valores teóricos corresponden a situaciones ideales con condiciones especiales de conducción y de la forma del terreno,

UCUENCA

esta situación provoca que para distintos recorridos se presenten distintos valores de rendimiento en términos de kWh/km.

Una ejemplificación de este comportamiento se puede evidenciar en las pruebas realizadas en el recorrido 3, siendo este más extenso y con más presencia de variaciones en el terreno, al presentarse zonas de valles y picos de altura. En el sentido desde el campus Balzay hacia Huascachaca, se presentaron varios escenarios en distintas etapas. En la primera etapa, Urbana-Rural plana, se pudieron lograr recorrer 30 km con 10% de carga de la batería. Luego se presentó una segunda etapa, con un terreno de pendiente a favor considerable, donde se puede observar la efectividad y necesidad de la incorporación del frenado regenerativo, el vehículo logró recorrer 48 km con un consumo de 3%. Es implicaría un total de 13% de batería usada al recorrer 78 km, siendo este la mitad del recorrido. Para poder completar el recorrido de vuelta, el vehículo utilizó más batería que en la primera mitad debido a dos razones primordiales, las menores oportunidades del uso del frenado regenerativo debido a las pendientes en sentido contrario. Finalmente el vehículo utilizó 45% de la batería para recorrer 81 km hasta campus Balzay. Debido a esta situación, se recomienda que los datos de autonomía entregados por el fabricante no pueden ser generalizados para todos los casos y usarse directamente para la estimación de un recorrido, sino que se debe considerar las condiciones a recorrer y, en caso de tratarse de un recorrido sumamente largo, se debe analizar por tramos.

Por medio del análisis técnico realizado con información de normas internacionales y de regulaciones vigentes en el país se observa que se pueden presentar distintos escenarios para cada componente del sistema que compone una electrolinería. Primeramente, es conveniente analizar la utilización de los vehículos, es decir, en qué momento se prestan para operación y para recarga; con base en esto, se puede elegir entre usar una carga lenta o rápida. Luego, tomando estos datos de la electrolinería y aplicando las regulaciones vigentes, se dirige el análisis hacia el tipo de suministro que se puede elegir: media o baja tensión, según las capacidades de las redes existentes; a partir de esto, se evalúan las estructuras homologadas a nivel nacional para redes de distribución y se obtiene tipo de acometida a usar. Finalmente, se debe considerar los recursos disponibles para generación distribuida y aplicar la viabilidad legislativa de las mismas y simular la implementación de este sistema y la energía que podría generarse. Gracias a esta sucesión de pasos se logró generar 4 modelos principales para los posteriores estudios

UCUENCA

del trabajo, dando como resultado implementación de carga rápida con y sin sistema fotovoltaica y carga lenta con y sin sistema fotovoltaica, siendo técnica y legalmente viables los cuatro. Cabe hacer énfasis que los modelos con generación solar analizados tenían una restricción de espacio para su implementación lo que provocó que su generación se vea limitada a la mitad de lo que se podría esperar para cumplir el suministro necesario para completar lo requerido por el sistema actual.

Una vez seleccionados los elementos necesarios para cada sistema y por medio de la utilización del Geo-Visor Público de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur se pudo generar las láminas presentables para el diseño eléctrico de prefactibilidad, generadas en formato CAD y exportadas en PDF, donde constan: la proyección de la sobre el plano, la estructura propuestas aéreas y subterráneas, el esquema de la estación de carga y el sistema fotovoltaico, y el circuito unifilar.

Una vez que se generaron los modelos técnicamente viables se procedió a realizar un análisis económico por medio de la obtención de los rubros necesarios para la implementación de cada sistema donde se determinó que el cuarto modelo, implementación de electrolinera con carga lenta sin sistema de generación fotovoltaica, tiene los menores costos. Una de las más importante razones por la cual es que este modelo es más factible es debido al costo operativo, este valor corresponde una penalización a pagar a la empresa comercializadora por la potencia pico consumida por la estación de carga. Este rubro es el más fuerte y es especialmente determinante en el caso de las estaciones de carga rápida ya que tienen un pico de 50kW y genera penalizaciones muy altas.

La razón por la cual los sistema fotovoltaicos no hayan resultado en una rentabilidad mayor que aquellos conectados directamente a la red responde, primeramente, al pequeño espacio disponible para su implementación reduciendo su capacidad de generación a la mitad de lo requerido por la matriz de movilidad eléctrica. Pero la razón más fuerte por la que estos sistemas se consideraron más costos a corto plazo fue que el valor de energía es distintos los intervalos horas de interés, por un lado los créditos de energía y el valor representado por los mismos representan una cantidad menor que el que es realmente inyectado a la red; y por otro lado, la demanda de energía de la estación de carga lenta, la más barata, es en horas de la noche, donde la energía es más costosa. Esta situación produjo un desequilibrio fuerte en

UCUENCA

términos de energía. Es decir, en este caso las regulaciones de las tarifas aplicadas a generación distribuida perjudicaron la competencia de los modelos con generación solar por debajo de aquellos que no la implementaban. En base a los resultados de análisis de 2 vehículos, se generaliza el análisis a una transición global de la flota. Al ser una aplicación de gran magnitud, el panorama cambia ya que al existir una implementación de eficiencia energética respecta a la carga de vehículos, el costo desde un inicio se vuelve menor al reflejado por la flota a diésel. Por ello, desde el año 1, la brecha que existe entre estos solo se hace más evidente dando cada vez un ahorro más grande a EV.

Por último se realizó un análisis ambiental de los modelos estudiados. En este estudio se obtuvo los costos asociados a las externalidades por la emisión de CO₂. En el caso de la matriz a diésel se estimó las emisiones asociadas al proceso de creación del combustible y de operación del automóvil. Para el caso de los vehículos eléctricos, estos solo presentan emisiones en la fase de carga del vehículo; entonces, primeramente se estimó con los datos históricos del Sistema Nacional Interconectado un porcentaje de emisión por kWh, un valor bajo gracias a la gran cantidad de generación parcialmente renovable, el mismo fue transformado a factor de emisión neto del automóvil considerando la eficiencia neta de los vehículos que cuentan con sistema de carga con y sin sistema de generación fotovoltaica. Se concluye que, como era de esperar, si se usan alternativas eléctricas a una con estación de carga lenta o rápida se emite únicamente el 0.078 % de la muestra de dos vehículos de matriz actual, y si se implementa la generación solar fotovoltaica este valor decrece hasta el 0.034 %. Incluso por medio de la generalización de este modelo llevando a valores cercanos a la matriz completa de vehículo a diésel, 14 unidades, y dejando como respaldo 5 estaciones de carga, el valor de 0.0603 %, siendo éste un modelo más realista, que igual representa más de 1000 veces menos emisiones que su equivalente a combustión interna. Concluyendo que existen importantes ventajas ambientales que presentan este tipo de soluciones eléctricas a modelos convencionales de transporte.

Otro tema importante es que el valor obtenido de 66.30 \$ en términos de externalidades la flota actual a diésel es el valor que la matriz propuesta estaría evitando en emisiones de carbono, mismo que puede ser comercializado en el mercado.

7.2. Recomendaciones

En base al análisis económico presentado, se pudo observar que las tarifas de asignación de cobro para las estaciones de carga de EV no cuentan con un gran beneficio para su funcionamiento. Esto se debe principalmente a que el costo más elevado no es el de la energía consumida, sino el del valor por pico de consumo DF ya que se asigna un valor de \$4 por cada kW y en el caso de la carga rápida hace prácticamente imposible su uso. Por ello, se debe revisar la normativa relacionada y el pliego tarifario para poder brindar muchos más beneficios a los usuarios de EV.

7.3. Trabajos futuros

Como se pudo observar, el campo de estudio referente a los vehículos EV es extremadamente amplio, por ello se toma este trabajo propuesto como punto de partida para extender el beneficio que brindaría una transición a una matriz completamente eléctrica junto con un análisis económico con una proyección más amplia, tanto en tiempo como en parque automotor.. Además, se podrían analizar otras energías alternativas a la solar o la viabilidad de implementar un sistema aislado con baterías que almacenen la energía.

Bibliografía

- [1] 'MAE trabaja en programas de mitigación y adaptación para reducir emisiones de Co2 en Ecuador – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica'. <https://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en-programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/> (accedido 28 de diciembre de 2022).
- [2] U. N. E. Programme, 'Estado de la Movilidad Eléctrica: América Latina y el Caribe 2019', 2020, Accedido: 28 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/32830>
- [3] V. Sultan, A. Aryal, H. Chang, y J. Kral, 'Integration of EVs into the smart grid: a systematic literature review', *Energy Inform.*, vol. 5, dic. 2022, doi: 10.1186/s42162-022-00251-2.
- [4] United Nations. 'Goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts'. <https://www.un.org/.https://www.un.org/sustainabledevelopment/climate-change/> (accedido el 29 de noviembre de 2022).
- [5] United Nations. '17 Goals to Transform Our World'. <https://www.un.org/.https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/> (accedido el 29 de noviembre de 2022).
- [6] United Nations. 'Goal 17: Revitalize the global partnership for sustainable development'. <https://www.un.org/.https://www.un.org/sustainabledevelopment/globalpartnerships/> (accedido el 29 de noviembre de 2022).
- [7] J. Guerrero et al., 'Distributed Generation: Toward a New Energy Paradigm', *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 4, n.^o 1, pp. 52–64,

- marzo de 2010. Accedido el 30 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1109/mie.2010.935862>
- [8] P. Ahmadi, 'Environmental impacts and behavioral drivers of deep decarbonization for transportation through electric vehicles,' *J. Clean. Prod.*, vol. 225, pp. 1209–1219, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.334.
- [9] S. Di Pietro, 'Acuerdo de París,' *Coop. Desarro.*, vol. 25, no. 111, 2017, doi: 10.16925/co.v25i111.1874.
- [10] X. Ramos, "La compra de Carros eléctricos no despega en Ecuador, pese a sus beneficios, estas son Las Causas," *El Universo/Noticias*, 09-Sep-2021. [Online]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/informes/el-alto-costoinicial-y-la-falta-de-electrolinerasfrena-la-compra-de-carros-electricos-en-ecuadornota/: :text=Las%20ventas%20de%20veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos,a%20que%20tiene%20beneficios%20tributarios.> [Accessed: 05-Apr-2022]
- [11] Staff, S. (1974). *Enciclopedia Salvat del Automovil Set 10 vols.* French & European Pubns.
- [12] K. Gibbs, *Steam Locomotive: An Engineering History.* Amberley Publishing, 2012.
- [13] J. E. Gaviria-Ríos, J. H. Mora-Guzmán, and J. R. Agudelo, 'Historia de los motores de combustión interna', *Rev.Fac.Ing.Univ.Antioquia*, no. 26, pp. 68–78, Nov. 2002.
- [14] N. Burton, *A history of electric cars.* Crowood, 2013.
- [15] J. Sanchez, 'PROCESO DE TRANSFORMACION EN LA EMPRESA CON SISTEMA DE PRODUCCION EN MASA AL SISTEMA DE PRODUCCION AJUSTADA.' UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON , San Nicolas de la Garza N.L., Jun-2004.
- [16] A. Royston, *Henry Ford and the Assembly Line.* New York: PowerKids Press, 2016.
- [17] A. M. Villegas, 'Motores de combustión interna,' 2007.

- [18] M. Rafael Morales and A. Guzmán Hernández, 'CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE,' Sanfandilla, Mexico, 2014. [Online]. Available: <https://www.puromotores.com/13175544/tipos-de-combustible-de-aviacion>.
- [19] CLAUDIA ALEXANDRA GONZÁLEZ, 'DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA INYECCIÓN DE HIDROGENO EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS,' Universidad de Los Andes Departamento, 2005.
- [20] E. Alomá and M. Malaver, 'Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot,' Enseñanza las Ciencias. Rev. Investig. y Exp. didácticas, vol. 25, no. 3, pp. 387–400, 2008, doi: 10.5565/rev/ensciencias.3703.
- [21] Szargut, J, Morris, D R, & Steward, F R. Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes. United States.
- [22] Khoobakht, G., Akram, A., Karimi, M., & Najafi, G. (2016). Exergy and energy analysis of combustion of blended levels of biodiesel, ethanol and diesel fuel in a DI diesel engine. Applied Thermal Engineering, 99, 720-729
- [23] normalización E. UNE, 'Norma Española Parte 1: Requisitos generales,' 2020.
- [24] I. C. de N. tecnicas y C. ICONTEC, "Codigo Electrico Colombiano," p. 1020, 2019.
- [25] I. E. D. N. INEN, 'Código Eléctrico Nacional,' pp. 16–931, 2001, [Online]. Available: <https://n9.cl/m8qhe>.
- [26] A. A. E. de N. y Certificación, 'Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo Carga conductiva de vehículos eléctricos Parte 1: Requisitos generales,' p. 92, 2019.
- [27] Normalización E. UNE, 'Norma Española vehículo Carga conductiva de vehículos eléctricos Parte 2: Compatibilidad dimensional y requisitos de

intercambiabilidad para los accesorios de espigas y alvéolos en corriente alterna,' 2017.

- [28] AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación, 'Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo Carga conductiva de vehículos eléctricos Parte 3: Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para acopladores de vehículo de espigas y alvéolos en corriente continua y corriente alterna' pp. 6–8, 2014.
- [29] Normalización E. UNE, 'Instalaciones eléctricas de baja tensión Parte 7-722: Requisitos para instalaciones o emplazamientos especiales Suministro del vehículo eléctrico,' 2019.
- [30] Agencia de Regulación y Control de Energía y de Recurso Renovables y No Renovables, 'Pliego Tarifario Servicio Público de Energía Eléctrica Año 2022', Dirección de regulación económica y tarifas del sector eléctrico . pp. 1–39, 2022.
- [31] F. Un-Noor, S. Padmanaban, L. Mihet-Popa, M. Mollah y E. Hossain, 'A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development', *Energies*, vol. 10, n.º 8, p. 1217, agosto de 2017. Accedido el 30 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/en10081217>
- [32] 'Los 20 coches eléctricos con más autonomía'. <https://www.caranddriver.com/es>. <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/g35350195/vehiculos-electricos-autonomia/> (accedido el 4 de enero de 2023).
- [33] G. Masiero, M. H. Ogasavara, A. C. Jussani y M. L. Risso, 'Electric vehicles in China: BYD strategies and government subsidies', *RAI Revista de Administração e Inovação*, vol. 13, n.º 1, pp. 3–11, enero de 2016. Accedido el 30 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rai.2016.01.001>
- [34] 'The BYD T3'. <https://sg.byd.com/>. https://sg.byd.com/wp-content/uploads/2018/12/T3-Brochure_updated.pdf (accedido el 3 de agosto de 2022).

- [35] K. Mertens, *Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice*. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013.
- [36] H. Khatib, *Economic Evaluation of Projects in the Electricity Supply Industry*. Institution of Engineering & Technology, 2014.
- [37] H. Seifi y M. S. Sepasian, *Electric Power System Planning*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. Accedido el 30 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17989-1>
- [38] CNEL EP. 'MANUAL DE ESTRUCTURAS AEREAS DE DISTRIBUCION CNEL EP'. <https://www.unidadespropiedad.com/>. <https://www.unidadespropiedad.com/> (accedido el 15 de septiembre de 2022).
- [39] Trujillo Males, E. L. (2019). Evaluación de las emisiones de gases de escape de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel, biodiésel supercrítico y óxido de cerio. 104 hojas. Quito : EPN.
- [40] Operador Nacional de Electricidad CENACE, FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR – INFORME 2020, 40a ed. 2020. Accedido el 13 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_informe_2020.pdf
- [41] CENACE Operador Nacional de Electricidad, Informe Anual 2021. 2022. Accedido el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible: <http://www.cenace.gob.ec/informe-anual-2021/>
- [42] D. Vasco, 'Externalidad negativa en el transporte urbano de Ambato por emisiones directas de CO2, NoX y SO2', Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2019. Accedido el 9 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29734>
- [43] J. Espinoza, L. González y R. Sempértegui, «Micro grid Laboratory as a Tool for Research on Non-Conventional Energy Sources in Ecuador.,» 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing , 2017.

UCUENCA

- [44] Kia Corporation, “Autos, SUV, eléctricos, híbridos y Comerciales,” Kia Ecuador, 2021. [Online]. Available: <https://www.kia.com/ec/main.html>. [Accessed: 04-Jan-2023].
- [45] SZKLO, A., SCHAEFFER, R. (2007). Fuel specification, energy consumption and CO2 emission in oil refineries. *Energy*, 32(7), 1075–1092. doi:10.1016/j.energy.2006.08.008
- [46] Wisconsin Center for Environmental Education, “Wisconsin K-12 Energy Education Program,” UWSP, 2020. [Online]. Available: <https://www3.uwsp.edu/cnr-ap/keep/Pages/default.aspx>. [Accessed: 04-Jan-2023].

Apéndice A

Tipos de motores utilizados por Vehículos Eléctricos

El motor es considerado el principal elemento de un EV. El motor eléctrico es una máquina eléctrica que convierte energía eléctrica en energía mecánica, en este caso, será usado para aprovechar la energía de la batería para convertir en movimiento para el EV, y también actúa como generador durante el proceso de frenado regenerativo. Entre las características que debe poseer un motor eléctrico para un EV están: alta potencia, alto par, gran rango de velocidades, alta eficiencia, confiabilidad, robustez, costo razonable, bajo ruido y pequeño tamaño. Entre los motores considerados están:

A.1. Motor DC de escobillas

Este tipo de motores tienen imanes permanentes o PM para generar el campo del estator, el rotor tiene escobillas para la alimentación al estator. La ventaja de este motor es que es capaz de proveer el máximo par en bajas velocidades. Sin embargo, la estructura del motor es voluminosa, tiene baja eficiencia, las escobillas generan desgaste, calor y la caída de eficiencia debido a esto. El calor no es fácil de remover ya que este se concentra en el centro del rotor. Por estos motivos, este tipo de motor ya no son usados en EVs.

A.2. Motor DC sin escobillas de Imanes Permanentes (BLDC)

En este tipo de máquina el rotor está hecho de PM, generalmente son imanes de neodimio, el estator es alimentado por una corriente AC la cual es obtenida de la fuente DC a través de un inversor. Debido a que no hay devanado en el rotor, no existen pérdidas en el cobre, lo que lo hace más eficiente. Este tipo de motor también más liviano, pequeño, disipa mejor el calor debido a que está en el estator, más confiable, tiene mayor densidad de par y potencia específica. Sin embargo, el rango de potencia constante es pequeño y el par decrece a la vez que la velocidad incrementa, debido a la fuerza contra-electromotriz; además, de que el uso de imanes permanentes incrementa el costo. Este tipo de motores son apropiados para automóviles

UCUENCA

pequeños que requieran como máximo 60kW de potencia. La curva característica de este tipo de motor se presenta en la figura A.1

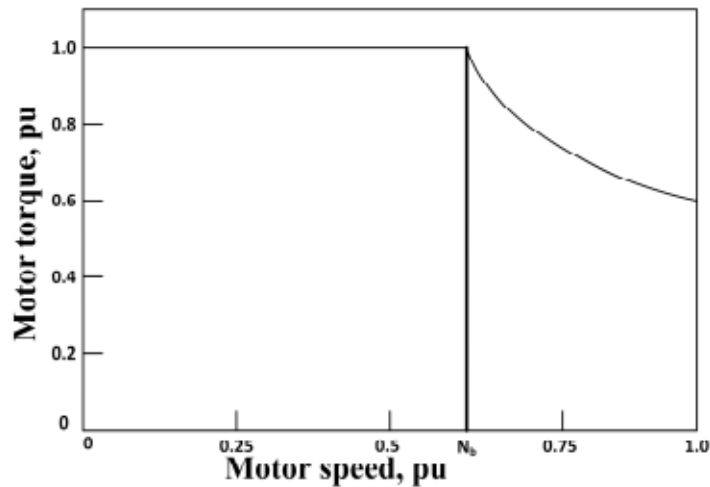


Figura A.1: Características de un Motor DC sin escobillas de Imanes Permanentes. El par se mantiene constante en el valor máximo desde el inicio, pero a cierta velocidad comienza a decrecer exponencialmente. Tomado de [31].

A.3. Motor Síncrono de Imanes permanentes (PMSM)

Este tipo de motores son capaces de operar sin necesidad de sistema de engranajes, lo que lo hace más eficiente y compacto. También tiene la capacidad de proveer alto par a bajas velocidades, se pueden usar control vectorial para su manejo y para PMSMs con rotor externo se pueden construir sin necesidad de cojinetes en el rotor. La mayor desventaja es que se pueden obtener grandes pérdidas en el hierro a altas velocidades, lo que hace que el sistema sea inestable.

Este tipo de motor es uno de los más usados en BEVs.

A.4. Motor de Inducción (IM)

Este tipo de máquinas pueden ser usados en conjunto con el control Vectorial para que sean capaces de satisfacer las necesidades que exige un sistema

UCUENCA

de una auto eléctrico. Se puede incorporar sistemas con la habilidad de minimizar las pérdidas en cualquier condición de carga. Se puede usar el control de orientación de campo para que el IM actúe como un motor DC excitado separadamente, mediante el desacople del control de campo y el control de par. Mediante el control del debilitamiento de flujo se puede lograr extender el rango de velocidades con potencia constante y con el control de orientación de campo incluso se puede extender el rango de tres a cinco veces la velocidad nominal con un IM diseñado apropiadamente. La curva característica de un motor de inducción se presenta a continuación:

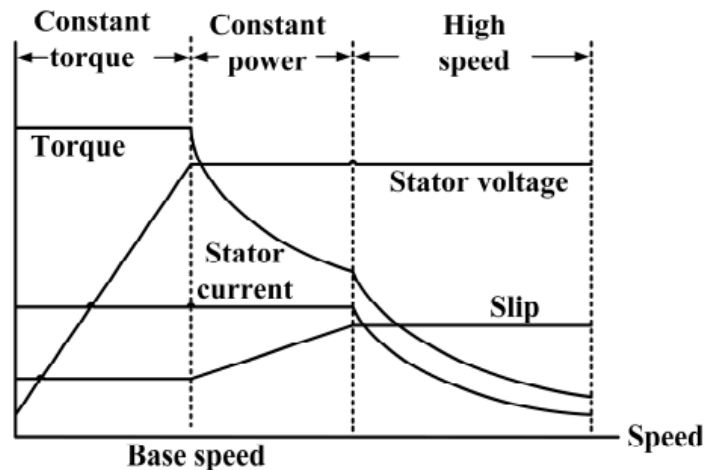


Figura A.2: Curva característica de un motor de inducción. El par máximo es mantenido hasta la velocidad base y luego decrece exponencialmente. Tomado de [31].

A.5. Motor de Reluctancia Conmutada (SRM)

Los SRMs también son llamados motores doblemente salientes debido a que presentan polos salientes tanto en el estator como en el rotor, son motores síncronos accionados por la corriente del inversor-generador unipolar. Las ventajas asociadas a este tipo de motor son las siguientes: son de una construcción mecánica simple y robusta, tiene bajo costo, gran rango de potencia constante y alta densidad de potencia.

En cambio, se tienen ciertas desventajas como: gracias a la naturaleza del

UCUENCA

par mecánico variable son muy ruidosos, tienen baja eficiencia, son de gran tamaño y peso comparado con los motores PM. Sin embargo, debido al alto costo de los materiales de tierras raras necesitadas en los motores PM crece el interés en los SRMs. Uno de los avances más importantes fue la configuración que usa un sistema de dobles estator que provee de una baja inercia y ruido, mayor densidad de par mecánico e incrementa el rango de velocidades de un SRM convencional.

A.6. Motor de Reluctancia Síncrona (SynRM)

Este tipo de motor funciona a velocidad síncrona mientras logra combinar las ventajas de los IM y PM. Son robustos y toleran fallas como los motores de inducción, son eficientes y pequeños como los motores de imanes permanentes, y no presentan los inconvenientes de los sistemas de PM. Las desventajas de este tipo de motores vienen en la controlabilidad, manufactura y bajo factor de potencia del mismo. Sin embargo, existen varias investigaciones en el área del diseño del rotor donde se espera incrementar el factor de potencia y se puede lograr mediante laminaciones axiales y transversales en la estructura, como en la figura A.3.



Figura A.3: SynRM con rotor laminado axialmente. Tomado de [31].

A.7. Motor de Reluctancia Síncrona Asistida con PM

Este tipo de motor surge como una forma de incrementar el factor de potencia de los SynRMs por medio de la integración de imanes permanen-

UCUENCA

tes en el rotor. Cuando se añade la cantidad correcta de PM al núcleo del rotor se puede aumentar la eficiencia sin problemas asociados con la desmagnetización. De igual forma que el SynRM, este tipo de motores pueden ser mejorados con la aplicación de técnicas de diseño mejoradas, sistemas de control y sistemas de manufactura avanzados. Un SynRM Asistido con PM puede tener el tipo de rotor de la figura A.4

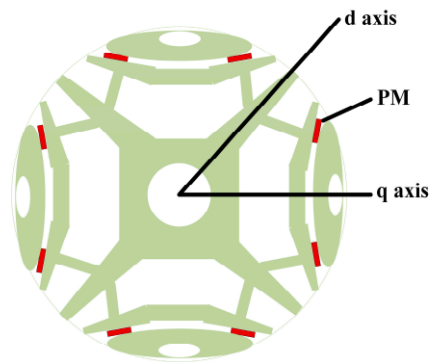


Figura A.4: SynRM asistido con imanes permanentes. Los imanes permanentes están embebidos en el rotor. Tomado de [31].

Apéndice B

Inversores utilizados por Vehículos Eléctricos

En el caso del uso de convertidores de eléctricos es necesario que estos tengan un bajo costo, pero y tamaño para ser utilizados en EV.

DC-DC universal: El convertidor boost es el tipo de convertidor usado para arrancar los motores DC mediante la elevación del voltaje de operación y el convertidor buck puede ser usado para el flujo de potencia contrario, es decir, reducir el voltaje del generador para cargar la batería. En la gráfica 54v6g65 se muestra la estructura de un convertidor universal DC-DC con modos de operación Boost y Buck según el requerimiento. Este tipo de convertidores pueden usar un procesador de señal digital [31].

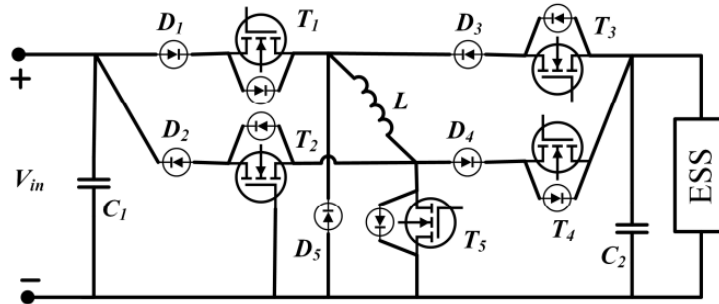


Figura B.1: Convertidor universal DC-DC. Tomado de [31].

Los diferentes modos de conmutación se presentan en el siguiente cuadro.

Direction	Mode	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
V _{dc} to V _{batt}	Boost	On	Off	Off	On	PWM
V _{dc} to V _{batt}	Buck	PWM	Off	Off	On	Off
V _{batt} to V _{dc}	Boost	Off	On	On	Off	PWM
V _{batt} to V _{dc}	Buck	Off	On	PWM	Off	Off

Figura B.2: Condiciones de operación de un convertidor DC-DC. Tomado de [31].

Convertidor dual para una fuente: Este tipo de convertidor es el más avanzado para arrancar motores AC como motores síncronos de imanes permanentes (PMSMs).

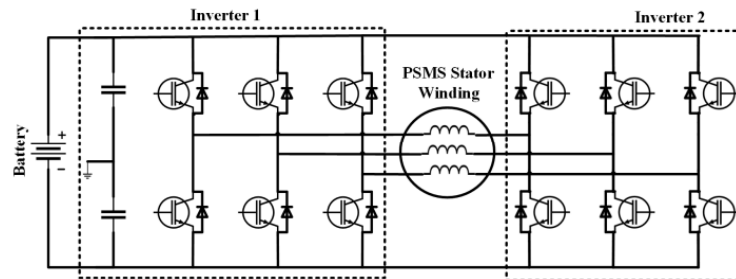


Figura B.3: Convertidor dual para fuente simple. Tomado de [31].

Convertidor dual con doble fuente: Para aplicaciones con doble fuente de voltaje, puede ser usado este tipo de sistemas. Estos inversores operan de forma vectorial PWM.

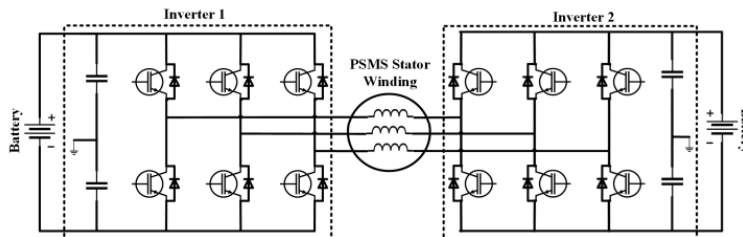


Figura B.4: Convertidor dual con doble fuente. Tomado de [31].

Inversor de matriz apilada: En el caso de uso tanto de PMSMs como de motores de inducción (IMs), puede usar este tipo de configuración.

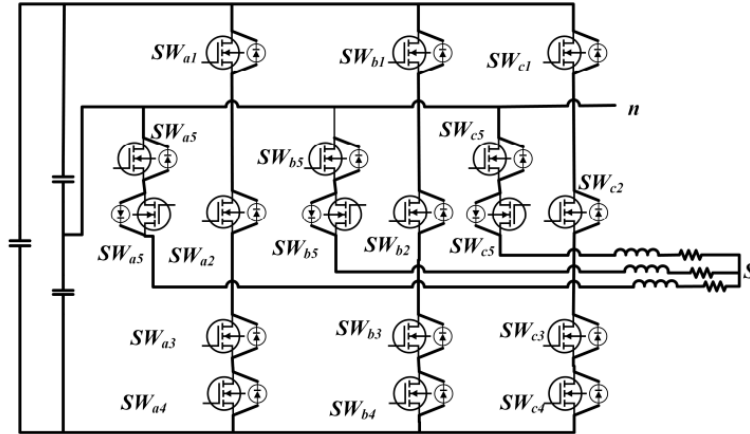


Figura B.5: Inversor de matriz apilada. Tomado de [31].

Convertidor PFC Intervaleaved Boost: Esta configuración es un acoplamiento de dos convertidores boost conectados en paralelos y desfasados 180° . Las corrientes de ondulación de los inductores se cancelan entre sí. Se puede considerar con un pequeño filtro de interferencia electromagnética (EMI) dado que también se genera una doble frecuencia de conmutación que produce una ondulación menor de la corriente de entrada.

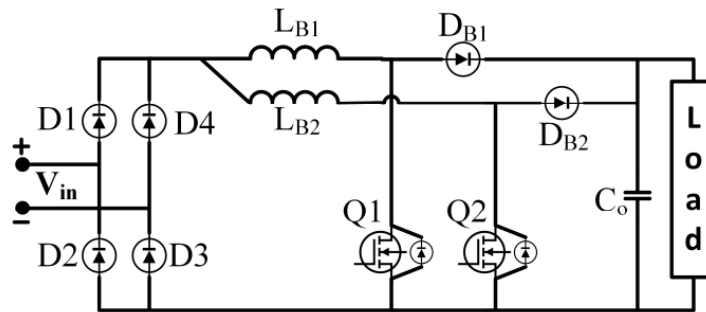


Figura B.6: Convertidor PFC Intervaleaved Boost. Tomado de [31].

Convertidor PFC Puenteado/Doble Boost: Esta configuración es un acoplamiento de dos convertidores boost conectados en paralelos y desfasados 180° . Las corrientes de ondulación de los inductores se cancelan entre sí. Se puede considerar con un pequeño filtro de interferencia electromagnética

UCUENCA

(EMI) dado que también se genera una doble frecuencia de conmutación que produce una ondulación menor de la corriente de entrada.

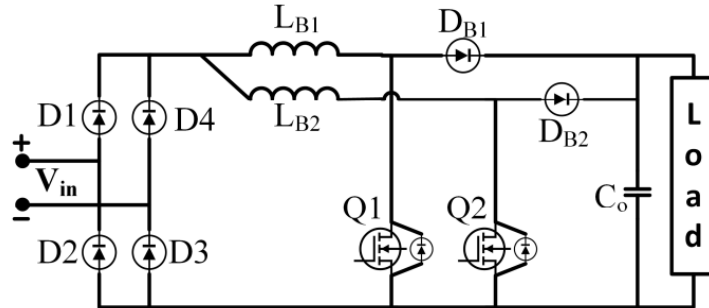


Figura B.7: Convertidor PFC Puenteado/Doble Boost. Tomado de [31].

Convertidor PFC Boost sin puente/dual: En esta configuración las señales de activación son creadas de forma idéntica lo que vincula los interruptores del tren de potencia. Las señales de los MOSFET no se desacoplan. El puente de entrada no es necesario.

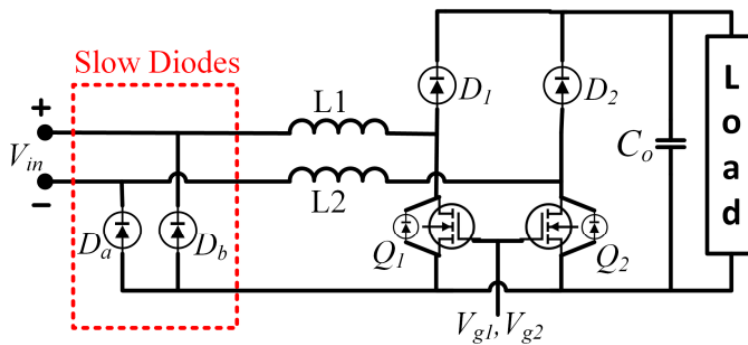


Figura B.8: Convertidor PFC Boost sin puente/dual. Tomado de [31].

Convertidor PFC Boost intercalado sin puente: Se tiene dos MOSFET y aplica dos diodos rápidos. Las señales de activación tienen un desfase de 180° .

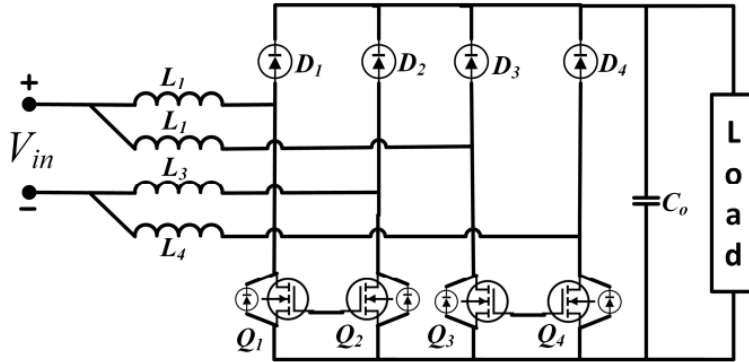


Figura B.9: Convertidor PFC Boost intercalado sin puente. Tomado de [31].

Convertidor ZVS FB con Filtro Capacitivo de salida: Puede alcanzar una alta eficiencia dado que se utiliza la conmutación a voltaje cero (ZVS) y, junto con los filtros, se reduce el timbre de los rectificadores.

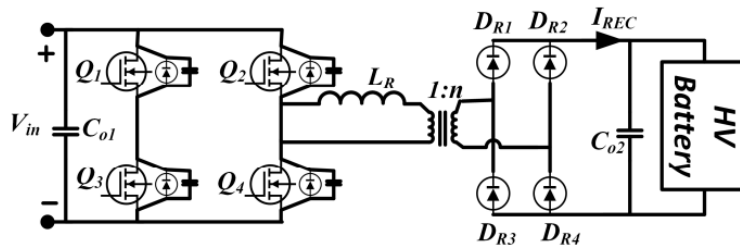


Figura B.10: Convertidor ZVS FB con Filtro Capacitivo de salida. Tomado de [31].

Convertidor ZVS FB Intercalado con doblador de voltaje: Se reduce aún más el estrés de voltaje y la corriente de ondulación en el filtro capacitivo de salida, lo que también reduce el costo. El intercalado una igual distribución de la energía y las pérdidas térmicas en cada celda. El número de diodos secundario es reducido significativamente.

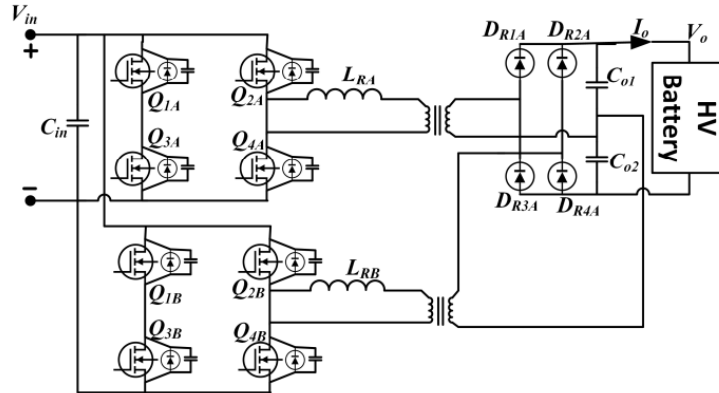


Figura B.11: Convertidor ZVS FB Intercalado con doblador de voltaje. Tomado de [31].

Convertidor resonante LLC de de puente completo: Este es un tipo de convertidor ampliamente usado en la industria de las telecomunicaciones por los beneficios como la alta eficiencia en la frecuencia de resonancia. Sin embargo, para aplicaciones de EV se necesita un gran rango de operación.

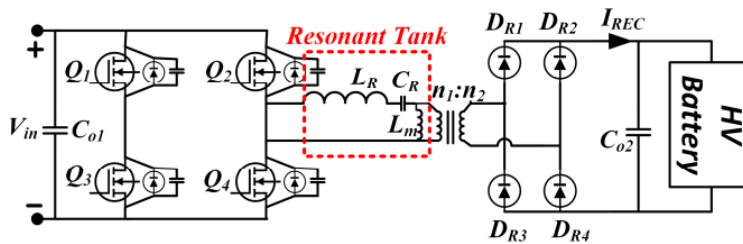


Figura B.12: Convertidor resonante LLC de de puente completo. Tomado de [31].

Convertidor usado en un BEV o EV puro: Presenta un cargador AC-DC que es usado para cargar el paquete de baterías mientras un convertidor de dos cuadrantes DC-DC es usado para entregar la potencia del bus DC desde el paquete de baterías [31].

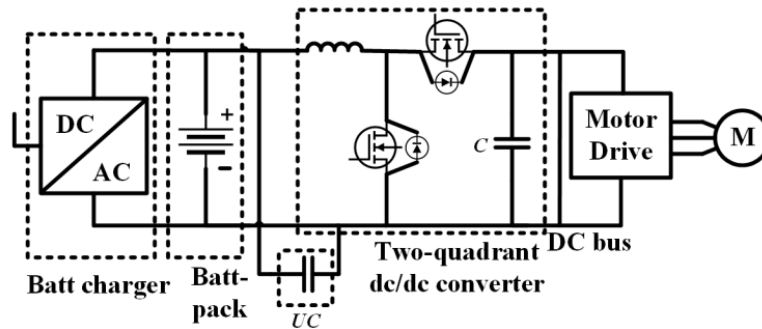


Figura B.13: Convertidor usado en un BEV o EV puro. El cargador tiene convertidor AC-DC para alimentar a la batería desde la red, mientras el convertidor DC-DC eleva el voltaje de la batería en el valor requerido por la batería. Tomado de [31].

Convertidor en cascada usado en un PHEV: Presenta un diseño apto para PHEV donde se usa un convertidor DC-DC bidireccional entre el bus DC y el paquete de baterías para facilitar la regeneración.

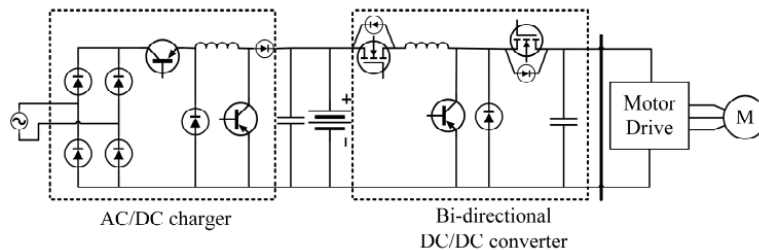


Figura B.14: Convertidor en cascada usado en un PHEV. Un convertidor bidireccional DC-DC es usado entre el bus DC y el paquete de baterías para permitir a la energía regenerada fluir hacia la batería desde el motor. Tomado de [31].

Convertidor Integrado usado en un PHEV .

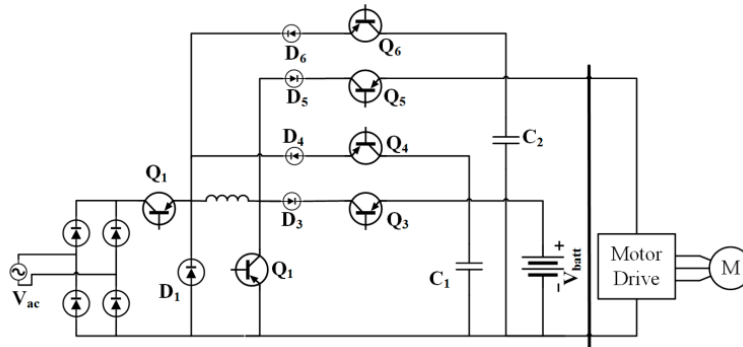


Figura B.15: Convertidor Integrado usado en un PHEV. Tomado de [31].

Disposición de convertidores en un PFCV: Este diseño es similar al ejemplo para BEV, la diferencia radica en la implementación de un convertidor elevador adicional para ajustar la potencia producida por la pila de celdas de combustible para enviarla al bus DC.

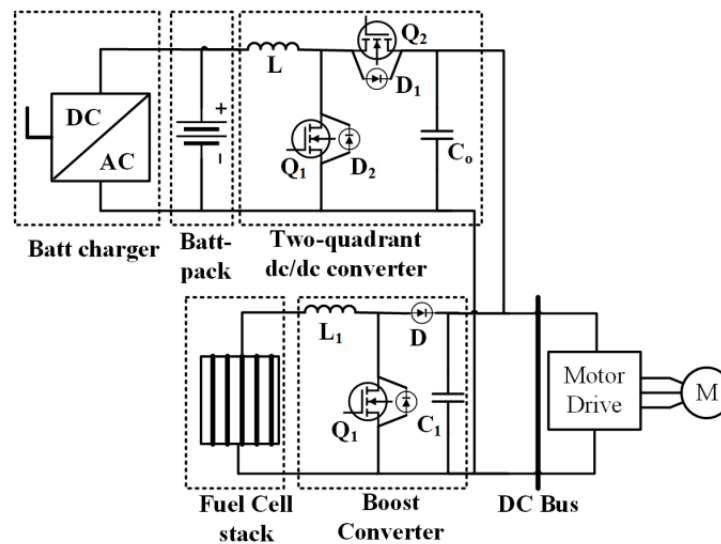


Figura B.16: Disposición de convertidores en un PFCV. Un convertidor AC-DC es usado para convertir la potencia desde la red; el convertidor DC-DC es usado para intercambiar la potencia entre el bus DC y la batería; el convertidor boost es usado para adecuar el voltaje de la pila de combustible al bus DC. Tomado de [31].

UCUENCA

También existen sistemas donde se permite la transmisión de potencia de los motores hacia las fuentes de energía, es decir, sistemas bidireccionales donde el vehículo entrega energía a la red. En las siguientes configuraciones se presentan este tipo de configuraciones [31].

Convertidor bidireccional AC/DC-DC/DC integrado .

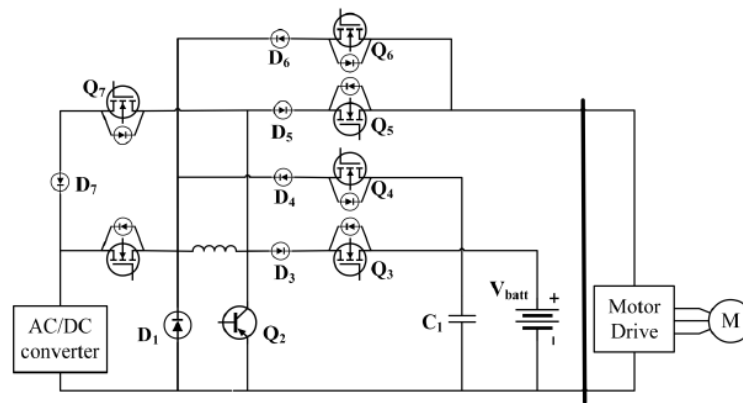


Figura B.17: Convertidor bidireccional AC/DC-DC/DC integrado Tomado de [31].

Convertidor con múltiple fuente en conexión cascada .

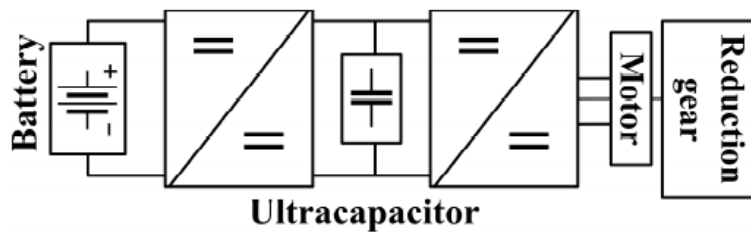


Figura B.18: Convertidor con múltiple fuente en conexión cascada. Tomado de [31].

Convertidor con múltiple fuente en conexión paralelo .

UCUENCA

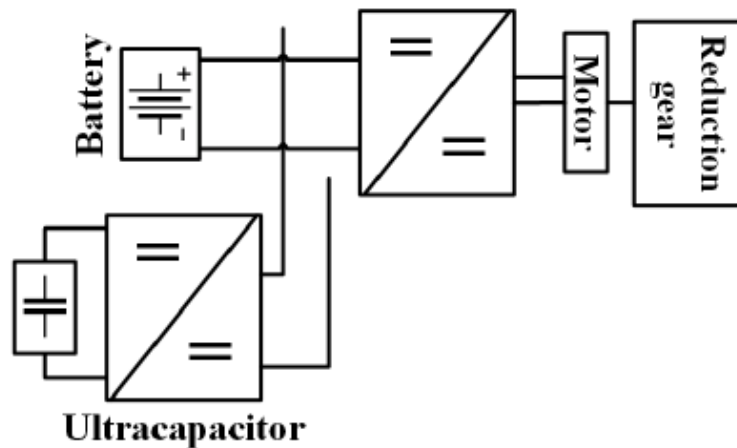


Figura B.19: Convertidor con múltiple fuente en conexión paralelo. Tomado de [31].

Convertidor con celda de combustible y batería de respaldo .

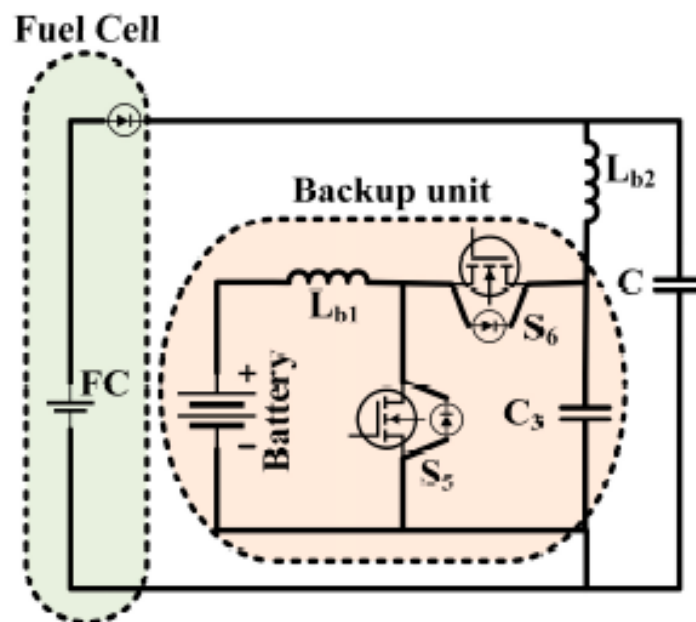
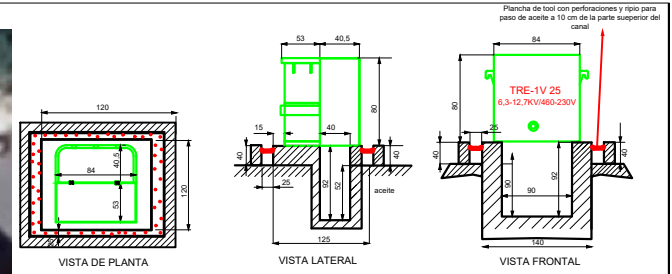


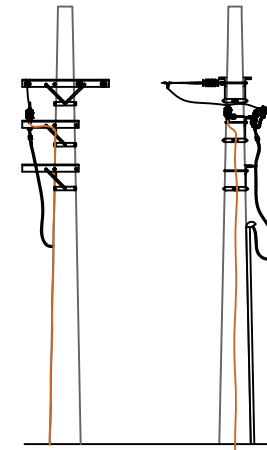
Figura B.20: Convertidor con celda de combustible y batería de respaldo. Tomado de [31].

Apéndice C

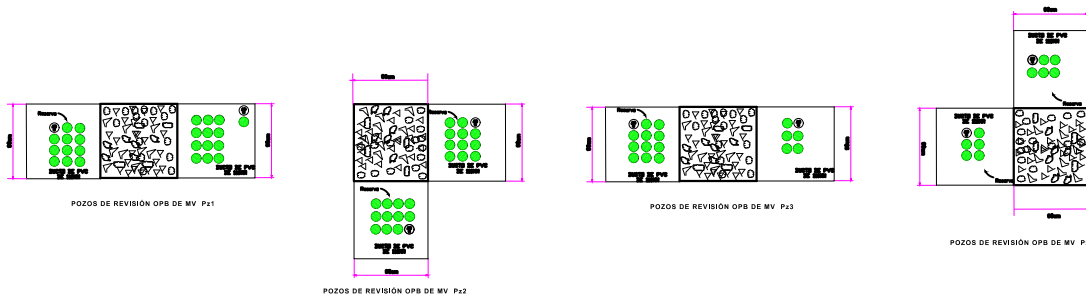
Diseños en formato CAD



DETALLE BASE TIPO PARA EL TRANSFORMADOR PADMOUNTED



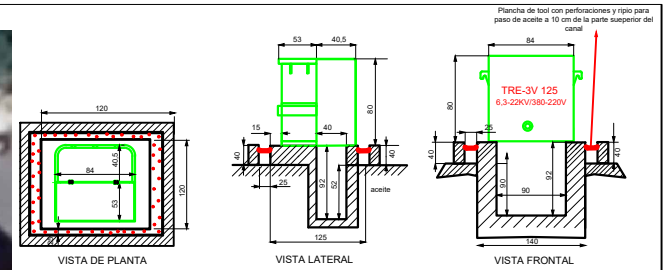
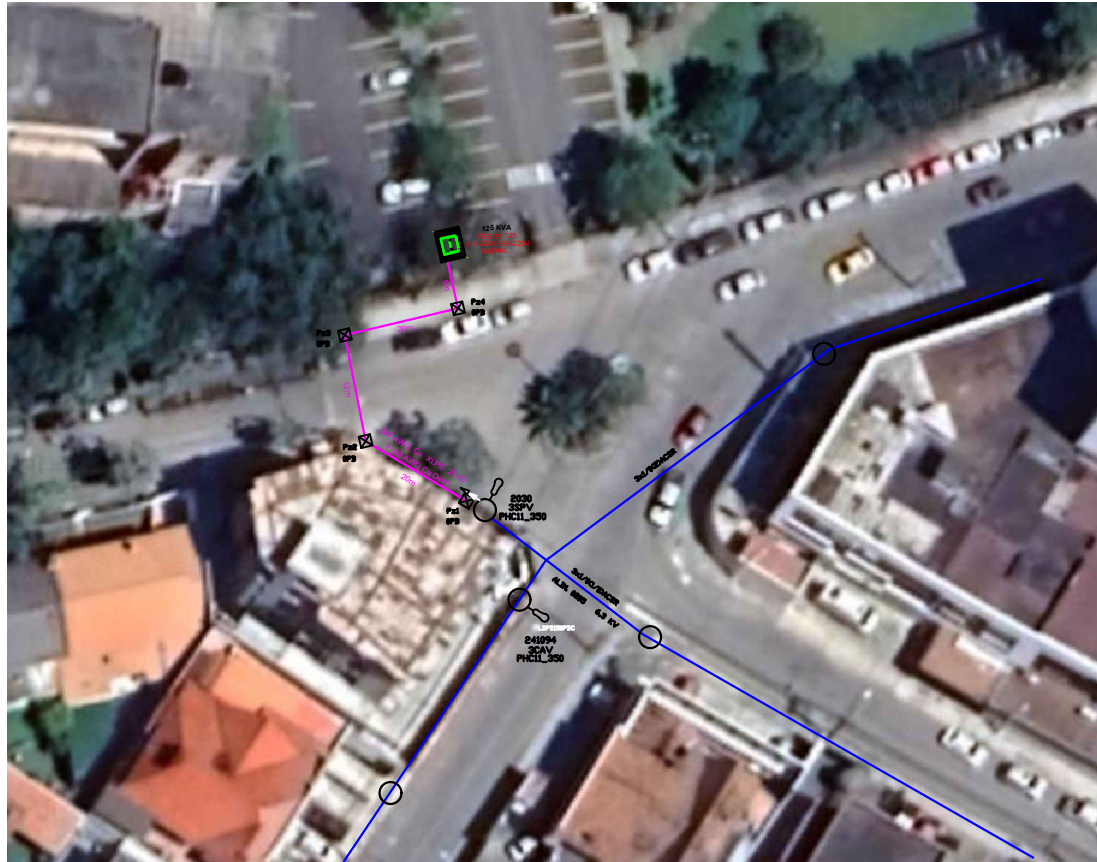
TRANSICIÓN AÉREA-SUBTERRÁNEA



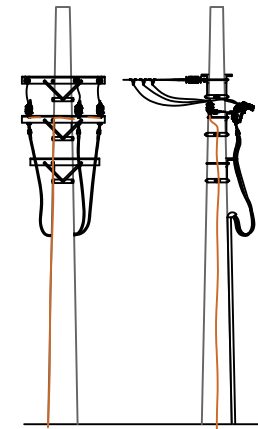
DETALLE POZOS DE REVISIÓN

SIMBOLOGIA	
	TRANSFORMADOR PADMOUNTED 12.55 KVA
	RED DE MV EXISTENTE
	RED DE MV SUBTERRANEA 12.55 PROYECTADA
	POZO DE REVISION (ALM. 25KV)

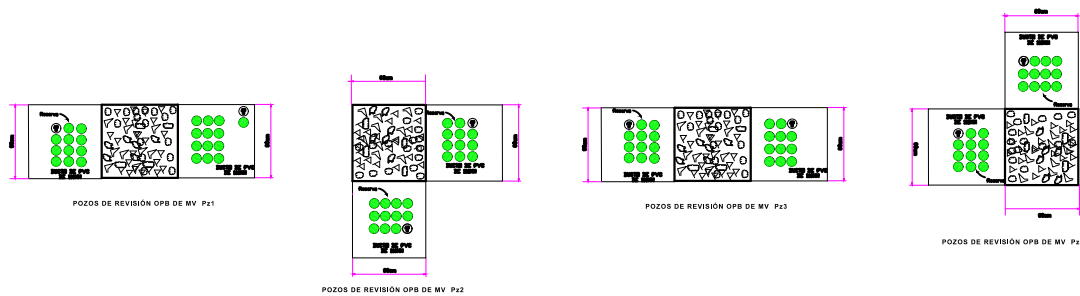
DISEÑO ACOMETIDA MV EN CAMPUS CENTRAL	
Propietario: UNIVERSIDAD DE CUENCA	Diseño: Jairo Bermeo O. Eduvan Riano A.
Escala: 1:100	Fecha: Dic. / 2022
CONTENIDO: PLAN DE INSTALACIONES ELECTRICAS Bocas Electricas Proyectadas Bocas de MV existentes Pozos de Revision y Base de Transformador Simbologia	
Hoja:	001 / 003



DETALLE BASE TIPO PARA EL TRANSFORMADOR PADMOUNTED



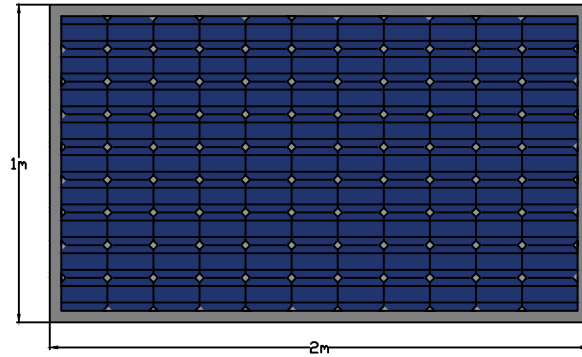
TRANSICIÓN AÉREA-SUBTERRÁNEA



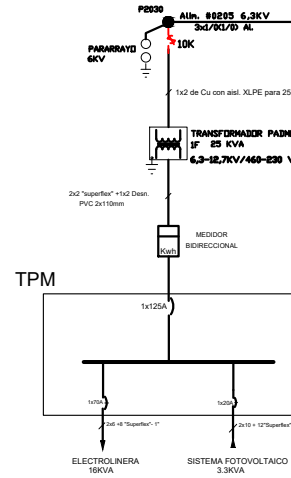
DETALLE POZOS DE REVISIÓN

SIMBOLOGÍA	
	TRANSFORMADOR PADMOUNTED 38 120 RVA
	RED DE 4V CUERPO TIE
	RED DE 4V SUBTERRÁNEA 10 PROYECTADA
	POZO DE REVISIÓN (AVANZADO) (OPB)

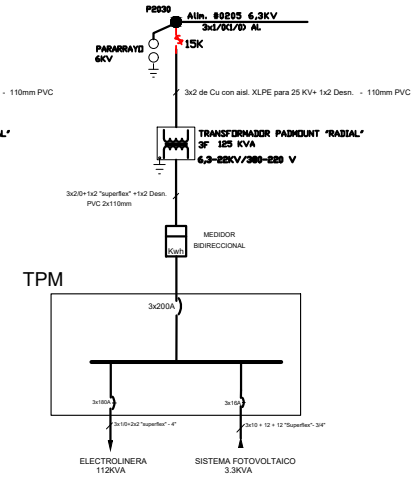
DISEÑO ACOMETIDA MV EN CAMPUS CENTRAL	
Propietario: UNIVERSIDAD DE CUENCA	Diseño: Jaime Bermeo O. Esteban Reteno A.
Escala: 1:100	
Contribuye: PLANO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS Bocales Eléctricos Proyectados Bocales de 4V existentes Pozos de Revisión y Base de Transformador Geométrico	Fecha: Dic. / 2022 Hoja: 002 / 003



PANEL SOLAR

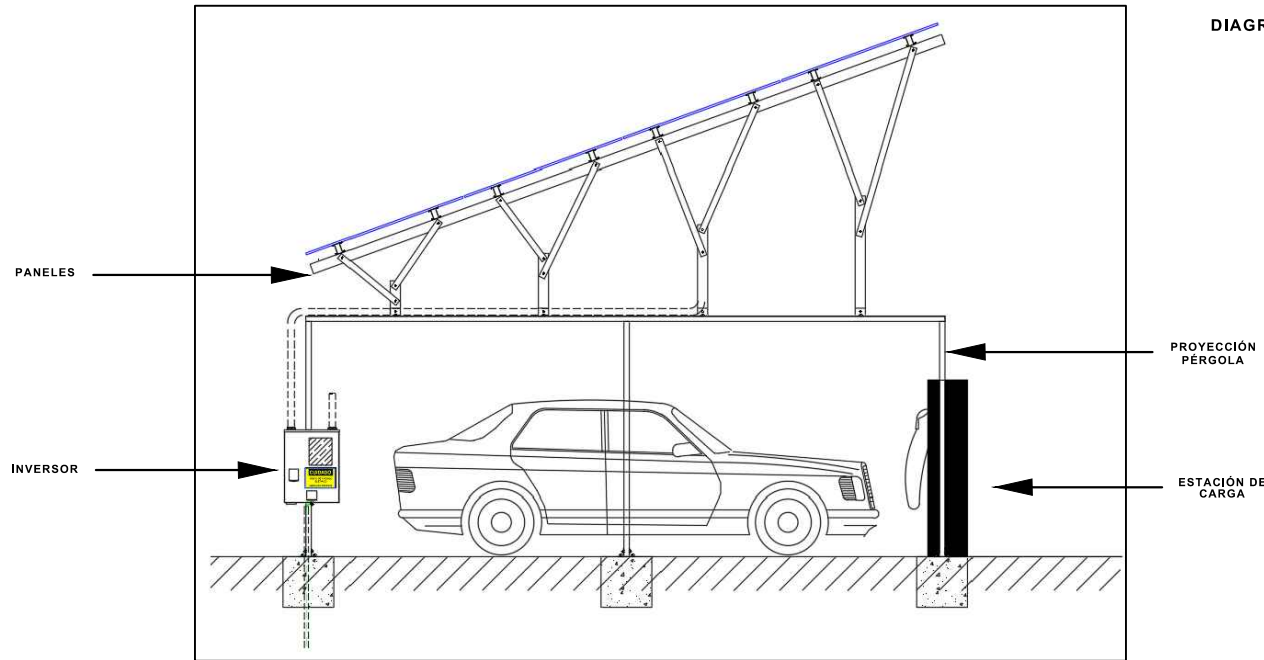


PLANO 001/003



PLANO 002/003

DIAGRAMA UNIFILAR PRINCIPAL



ESTACIÓN DE CARGA PROPUESTA

DISEÑO ESTACIÓN DE CARGA EN CAMPUS CENTRAL	
Propietario: UNIVERSIDAD DE CUENCA	Diseño: Jaime Sarmiento D. Esteban Riano A.
Escala: 1:100	Fecha: Dic. / 2022
CON TÍTULO: PLANO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS Diagrama unifilar para cada diseño propuesto Dimensiones Panel solar Estación de Carga propuesta	
Hoja:	003 / 003