UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

POSGRADOS

MAESTRÍA EN

ELECTRICIDAD

RPC-SO-22-No.325-2018

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

CALIDAD Y GESTIÓN DE ENERGÍA EN CENTROS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO TIPOS DE CARGABILIDAD

AUTOR:

SANTIAGO XAVIER MEDINA AGUIRRE

DIRECTOR:

JORGE LUIS ROJAS ESPINOZA

CUENCA - ECUADOR

2021

COHORTE 2018 - 2020

Autor:

Santiago Xavier Medina Aguirre
Ingeniero Eléctrico
Candidato a Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca
smedinaa@est.ups.edu.ec
santiagomedina_@hotmail.com

Dirigido por:

Jorge Luis Rojas Espinoza
Ingeniero Eléctrico
Maestro en Administración de la Energía y sus Fuentes Renovables.
jrojase@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2021 Universidad Politécnica Salesiana.
CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA
MEDINA AGUIRRE SANTIAGO XAVIER

CALIDAD Y GESTIÓN DE ENERGÍA EN CENTROS DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO TIPOS DE CARGABILIDAD

Agradecimientos

A Dios por darme la sabiduría para emprender este camino en conjunto con mis padres por siempre estar presentes, a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA por darme la oportunidad de estudiar, cumplir objetivos tanto académicos como extracurriculares.

A mi profesor tutor, Ing. Mgs. Jorge Rojas quien con sus conocimientos y experiencia brindó el apoyo para culminar este proyecto.

Índice general

Índice de Figuras **6**

Índice de Tablas **8**

Abstract **9**

1. Introducción **11**
1.1. Descripción general del problema 11
1.2. Objetivos 12
1.2.1. Objetivo general 12
1.2.2. Objetivos específicos 12
1.3. Antecedentes 12
1.3.1. Acuerdo de París 13
1.3.2. Ley de eficiencia energética 13
1.4. Contribuciones 14

2. Marco teórico referencial **16**
2.1. Introducción 16
2.2. Calidad energética 16
2.2.1. Conceptos 16
2.3. Conectores utilizados 16
2.4. Modos de Recarga 20
2.5. Aspectos generales 21
2.5.1. Calidad de producto 22
2.5.2. IEEE 1159 24
2.5.3. Estándar IEEE 519 26
2.5.4. Situación energética del Ecuador 28
2.6. Gestión de la energía 31

2.6.1. Gestión de carga 32
2.6.2. Vehículos eléctricos en el transporte público 34
2.6.3. Componentes del vehículo eléctrico 35
2.6.4. Sistema de control del VE 36
2.6.5. Unidad de control ECU 37
2.6.6. Inversor 38
2.7. Introducción a la eficiencia energética 39

3. METODOLOGÍA PROPUESTA 41
3.1. Datos de la calidad de red de distribución bajo análisis 46
3.1.1. Análisis de las tomas de datos del VE 47
3.2. Caracterización de la curva de corriente mediante Origin 49
3.2.1. Análisis mediante el uso de Matlab 50
3.2.2. Procesamiento de la función de transferencia 52
3.2.3. Validación mediante diagrama de Bode 52
3.2.4. Caso de estudio en la ciudad de Cuenca-Ecuador 53
3.2.5. Histórico de ventas de VE 54
3.2.6. Escenarios de ingreso de VE 55
3.2.7. Estudio de la Calidad del transformador 57
3.3. Análisis de los índices de calidad 58
3.3.1. Niveles de voltaje de la red de distribución 58
3.3.2. Distorsión armónica de voltaje 61
3.3.3. Distorsión armónica de corriente 63
3.4. Escenarios de análisis 64
3.4.1. Segundo caso de análisis 65
3.4.2. Tercer caso de análisis 67
3.4.3. Cuarto caso de análisis 69
3.5. Análisis del impacto en demanda mediante la introducción del VE 71
3.5.1. Perfil de carga residencial 71
3.5.2. Perfil de carga de un consumidor promedio 72
3.5.3. Curvas y tiempo de carga de las baterías 73
3.5.4. Curva desplazada de carga de VE 74
3.5.5. Curva de carga del transformador 75
3.5.6. Incorporacion del VE al transformador 76
3.5.7. Muestra de VE en distintas horas 77

4. Análisis y resultados 80
4.1. Introducción 80
4.1.1. Análisis de resultados 80

4.1.2. Problema introducción de los VE, en centros de recarga . . 81

5. Conclusiones **85**

6. Glosario **88**

Glosario **89**

Referencias **90**

Índice de Figuras

2.1. Cargador SAE-J1772 17
2.2. Cargador Mennekes [1] 18
2.3. Cargador Scame [1] 18
2.4. Cargador Chademo 20
2.5. Situación Energética del Ecuador Fuente [2] 29
2.6. Consumo Secundario Fuente [2] 30
2.7. Uso de la energia 31
2.8. Sistema de Gestión Energética 32
2.9. Modulos IBGT del VE Fuente Autor 36
2.10. Partes del VE Fuente Autor 37
2.11. Modulos ECU Fuente Autor 38

3.1. Fluke 435[3] 42
3.2. Ventana principal Fluke [3] 43
3.3. Ajuste de limites [3] 43
3.4. Conexión del equipo [3] 44
3.5. Cargador y conector tipo 2 [3] 44
3.6. Carga del VE Fuente Autor 45
3.7. Diagrama NI [4] 45
3.8. Registros [3] 46
3.9. Valores de tomas de carga (Autor) 46
3.10. Curva de corriente tomada con el NI 6112 Fuente Autor 47
3.11. Curva característica de corriente de carga del VE. Fuente Autor . . 48
3.12. Curva característica procesada con Origin. Fuente Autor 50
3.13. Obtención de la ecuación de la curva. Fuente Autor 50
3.14. Curva Recreada mediante matlab. Fuente Autor 51
3.15. Función de transferencia (f). Fuente Autor 52
3.16. Función de transferencia (f). Fuente Autor 53

3.17. Ventas de VE. [5] 54
3.18. Zona de estudio (Autor) 55
3.19. Usuarios con posible ingreso de VE (Autor) 56
3.20. Usuarios conectados (Autor) 57
3.21. Demanda del transformador 58
3.22. Perfil de voltaje sin la inclusión del VE 59
3.23. Perfil de voltaje con la inclusión de un VE a la red de distribución eléctrica 60
3.24. THD de la red de distribución eléctrica 61
3.25. THD voltaje con inclusión de un VE a la red de distribución eléctrica 62
3.26. THD de corriente sin la inclusión del VE 63
3.27. THD de corriente con la inclusión del VE 64
3.28. THD de corriente con la introducción del 10% de VE's 65
3.29. THD de voltaje con la introducción del 10% de VE (Autor) 66
3.30. THD de corriente con la introducción del 15% de VE (Autor) . . . 67
3.31. THD de voltaje con la introducción del 15% (Autor) 68
3.32. THD de corriente con la introducción del 25% (Autor) 69
3.33. THD de corriente con la introducción del 25% (Autor) 70
3.34. Ejemplo de Consumidor estrato 7. (Autor) 72
3.35. Curva de consumo promedio diario residencial. (Autor) 72
3.36. Ejemplo de cliente comercial e industrial. (Autor) 73
3.37. Perfil de carga de los VE de prueba. [2] 74
3.38. Curva recarga VE.[elaboración propia] 74
3.39. Curva desplazada. (Autor) 75
3.40. Curva del transformador. (Autor) 76
3.41. Incorporacion del VE al transformador. (Autor) 77
3.42. Ingreso masivo vehículos eléctricos en hora valle (Autor) 78
3.43. Ingreso masivo vehículos eléctricos en hora pico (Autor) 78
3.44. Ingreso masivo vehículos eléctricos en distintos horarios (Autor) . 79
3.45. Ingreso masivo vehículos eléctricos en distintas horas (Autor) . . 79

4.1. Función de transferencia (f). Fuente Autor 81
4.2. Curva desplazada. (Autor) 82
4.3. Curva dia (Autor) 83

Índice de Tablas

2.1. Limites para el indice de nivel de voltaje 23
2.2. Limites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)[6] 24
2.3. Perturbaciones eléctricas según norma IEEE1159 26
2.4. Límite de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento, para voltajes entre 120V - 69KV 27
2.5. Límites distorsión armónica de voltaje según norma IEEE519 . . . 28
2.6. Tabla de incentivos en latinoamerica..... 33
2.7. Producción de electricidad..... 35

3.1. Valores medidos 48
3.2. Tabla de estratos..... 54
3.3. Nivel máximo de voltaje sin la inclusión VE 59
3.4. Datos de los niveles máximos de voltaje con el ingreso de un VE . 60
3.5. THD de voltaje sin la inclusión del VE 61
3.6. THD de voltaje con la inclusión de un VE 62
3.7. THD de voltaje sin VE 63
3.8. THD de voltaje con la inclusión del VE 64
3.9. THD de corriente con 3 VE..... 66
3.10. THD de voltaje con 3 VE..... 67
3.11. THD de corriente con 5 VE..... 68
3.12. THD de voltaje con 5 VE..... 69
3.13. THD de corriente con 10 VE..... 70
3.14. THD de voltaje con 10 VE..... 71

Resumen

En el presente trabajo se realizó un estudio para determinar el impacto que se produce en la calidad de la energía eléctrica de la red de distribución debido al proceso de recarga de los vehículos eléctricos, de manera aleatoria y masiva en centros de carga residenciales, cumpliendo con la regulación nacional y normativa internacional, explorando el desempeño y caracterizando los modelos de recarga con base en las preferencias de los usurarios, las simulaciones y tomas de carga.

Abstract

This study was carried out to determine the impact that occurs on the quality of electrical energy in the distribution network due to the recharging process of electric vehicles, randomly and massively in residential charging centers, complying with national regulation and international regulations, exploring the performance and characterizing the recharging models based on user preferences, simulations and charging points.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se describen los objetivos, la justificación y necesidades que generaron el interés por realizar el estudio de la calidad y gestión de energía en centros de carga para vehículos eléctricos, considerando tipos de cargabilidad y su impacto en la red de distribución eléctrica. Inicialmente, se describe el problema, los objetivos y contribuciones científicas en relación a este trabajo.

1.1. Descripción general del problema

En la actualidad, la introducción de los VE) (vehículos eléctricos) se presenta como una alternativa de mitigación a la producción de gases contaminantes originada por el uso de combustibles fósiles referentes al transporte, asi como una forma de exploración de las nuevas tecnologías que son tendencia mundial en el área de las energías renovables; Esta coyuntura genera inquietudes sobre la afectación que provocará el ingreso de los VE) acortando una brecha de investigación respecto al efecto causado en las redes de distribución y en la calidad de la energía.

La cantidad de armónicos que se introducen durante las recargas generan incertidumbres acerca del tipo de filtrado que poseen los vehículos eléctricos, así como las características que tendrán las curvas de carga. Para analizar la cantidad de armónicos que se están inyectando a la red al momento de una recarga se aplicaron criterios técnicos establecidos en normativas internacionales así como en las regulaciones de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la calidad y gestión energética en los centros de carga para vehículos eléctricos, considerando los tipos de cargabilidad basados en indicadores del producto y servicio de la energía eléctrica.

1.2.2. Objetivos específicos

Analizar el impacto de los indicadores de calidad del producto y servicio de energía eléctrica en la red de distribución.

Simular el modelo de carga del vehículo eléctrico a través de la obtención de los componentes que intervienen en la recarga de los vehículos eléctricos.

1.3. Antecedentes

De acuerdo al Plan Maestro de electricidad, del 100% de las emisiones de CO2 que se generan en el Ecuador, el sector del transporte produce cerca del 55% de emisiones de gases de efecto invernadero anualmente[7].

La implementación de vehículos eléctricos se ha convertido en una solución a la generación de gases de efecto invernadero, al ser una tecnología que se encuentra en auge. [8]

Para el año 2030 se proyecta una circulación de cerca de 60 millones de unidades de VE e híbridos que poseen ventajas respecto al ahorro de energía y reducción de emisiones, sin disminuir el rendimiento del vehículo. Esto aumentará la implementación y desarrollo de estaciones de carga a nivel domiciliario y público, [5] causando un aumento en la recarga durante horas pico que se prevé ocasionará una carga descoordinada de los VE y provocará un impacto negativo en la red.

Las redes eléctricas fueron diseñadas hace más de medio siglo, lo que hace que no estén proyectadas para soportar la penetración de cargas atípicas, definidas por la cantidad de VE que serán incorporados a la red.

1.3.1. Acuerdo de París

El Acuerdo de París, es la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, esta resolución la tomaron todos los países miembros de las Naciones Unidas, como objetivo para disminuir de forma sustancial las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento global de la temperatura en este siglo a 1,5 grados, para lo cual cada una de las partes deberán informar sobre las emisiones que están inyectando, así como las acciones que están tomando para mitigarlas, ***"Este objetivo plantea lograr un clima neutro, mejorando la salud del planeta***.[9] encontrándose en vigencia desde el año 2016.[9]

1.3.2. Ley de eficiencia energética

El Ecuador a fin con su compromiso de disminuir las emisiones de Co2 según el acuerdo de Paris, en marzo del 2019, aprobó la nueva Ley de Eficiencia Energetica, la cual promueve el reciclaje de los automotores que hayan cumplido con su vida útil. ***"Desde el año 2025 los GADs deberán controlar que los automotores que ingresen a laborar para los GADs, deberán utilizar un motor eléctrico."*** .[10] *"Mediante la aplicación de las disposiciones fundamentales se promueve buenas prácticas con responsabilidad e incorporando las nuevas tendencias mundiales, que mejoren la sociedad y descontaminen el planeta"* [7]

Principios de eficiencia energética.

Los principios que se contemplan La Ley Orgánica de Eficiencia Energética Suplemento en el Registro Oficial Nº 449 son:

- Optimización en el consumo energético
- Aumento de la productividad
- Promoción de energía limpia
- Cultura de uso energético
- Correcta toma de decisión

Eficiencia energética en el transporte

Las normativas regulatorias vigentes en el país tratan el ingreso de nuevas tecnologías relacionadas al sector del transporte, con lo que se busca un cambio tecnólogico en el transporte a traves del uso de medios motrices eléctricos en el sector público.[2] Las características a considerar son:

- Priorizar la eficiencia energética en el sector público.
- Destacar que los proyectos se ejecutarán por medio de empresas públicas o asociaciones público privadas.
- El Ministerio rector de transporte, establece paulatinamente los límites de emisiones de automotores nuevos.
- Constará con una etiqueta de que tan amigable es el producto al medio ambiente brindando toda la información al consumidor.
- Para las Islas Galápagos, las caracteristicas se definen en el Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador (PLANEE).

El Gobierno del Ecuador mediante un plan de reciclaje, promueve reemplazar los vehículos de combustión que han cumplido con su vida útil, sean estos públicos que brinden servicio de transporte, como de vehículos privados que quieran sumarse a la iniciativa; lo podrán hacer a través de los distintos GAD's. [2]

1.4. Contribuciones

En la Universidad de San Juan de Argentina, se desarrolló un enfoque sobre la distorsión armónica en dominio de frecuencia respecto a los cargadores, basados en pruebas de laboratorio donde se destaca que los ángulos de fase de las tensiones armónicas varían con respecto a su componente fasorial; para lo cual, se utilizó un modelo de Montecarlo [11]. Por otra parte, en la Universidad de Georgia se determinó que los valores armónicos no sobrepasaban los valores dados, según estudios.

En diferentes estudios realizados sobre la afectación armónica, se determinó que el ingreso de forma aleatoria es dado únicamente dentro de una zona

determinada.[12]. Mientras que, para nuestro caso se realizó el ingreso aleatorio y se vió como afectarán los armónicos en las redes eléctricas; lo cual, generó un conocimiento de la realidad acerca de lo que sucederá en nuestro sistema al ingresar vehículos eléctricos de manera aleatoria en distintos centros de carga residencial.

Adicionalmente, se realiza un análisis del comportamiento de carga de los usuarios en distintos horarios, se verificó si se soporta la potencia generada por el ingreso de los vehículos hacia los trasformadores y en que horarios se verían afectadas las redes y el sistema. De esta manera, generan perfiles de carga adecuados y se observó en qué momento fue mejor recargar un vehículo eléctrico.

Capítulo 2

Marco teórico referencial

2.1. Introducción

En este capítulo se describen los modos de recarga de los VE con el objetivo de establecer una interoperabilidad entre la infraestructura de recarga y los vehículos eléctricos; por lo que, es necesario recurrir a la estandarización de la normativa IEC 61851 que establece los modos [8] de recarga hasta 1000V en alterna y 1500V en continua.

2.2. Calidad energética

2.2.1. Conceptos

La calidad de la energía eléctrica es un conjunto de características que garantizan el correcto funcionamiento, así como el suministro de energía que se otorga al consumidor, sin que afecte el desempeño de los equipos ni provoque fallas en sus componentes. Estás características se deben mantener a lo largo del sistema eléctrico desde su generación, transmisión, distribución hasta el consumidor final, quien tiene como responsabilidad no afectar a la red eléctrica para así mantener la compatibilidad electromagnética

2.3. Conectores utilizados

Dado que al momento no existe un consenso sobre el tipo de conector a utilizar por los vehículos eléctricos, la norma IEC 62196 es la encargada de la

homologación de los tipos de conectores que se muestran a continuación.[1]

Tipos de conectores para la recarga del VE

Tipo 1 SAE-J1772 es un estándar americano adoptado por los japoneses y aceptado por la Unión Europea conocidos también como yazaki.

Se encuentran bajo la norma IEC 62196-2, dicho elemento soporta una carga lenta con una corriente máxima de 16A y una potencia de 1.92kW.

Para carga rápida consume 80A, a una potencia de 19.2kW.

Para el nivel 1 se recarga a 120V y para nivel 2 a 240V. Además, se emplea en nivel 3.[1]

Figura 2.1: Cargador SAE-J1772

[1]

Tipo 2 El cargador tipo Mennekes usa el estándar IEC 62196-2, fue propuesto por Alemania y homologado con estándar europeo utilizada por Norteamérica, siendo Tesla, quien utiliza este conector para carga lenta. El mismo permite cargas lentas en monofásico y en trifásico teniendo potencias desde 3.7kW hasta 44kW.

Figura 2.2: Cargador Mennekes [1]

Tipo 3 El conector fue creado en el año 2010, por la Alianza de carga, es llamado Scame, este conector es utilizado en solo dos países por lo que se encuentra en desuso, como características posee de 5 a 7 bornes para corriente monofásica o trifásica respectivamente además de su correspondiente puesta a tierra y su cable de comunicación, soporta hasta 32A, es empleado en carga semi-rápida.

[1]

Figura 2.3: Cargador Scame [1]

Tipo 4 CHAdeMO (nivel de carga rápida) :

Es el estándar de los automóviles de Japón a partir del 2010, se forma la llamada CHAdeMO Association, la cual es empleada en recargas rápidas soportando hasta 200A, es de mayor diámetro tanto en conectores como en cables, se manufacturan como otras marcas mundiales, por ejemplo:

1. Peugeot modelo ION
2. Citroën modelo c-ZERO
3. Tesla

La marca Tesla usa un adaptador Tesla tipo CHAdeMO, además los VH enchufables son compatibles con esta tecnología.

Actualmente, CHAdeMO es el conector con más estaciones a nivel mundial (13918), distribuidas de la siguiente manera:

1. Europa 4052.
2. Japon 7133.
3. USA 2146.
4. Resto del mundo 587.

Para el protocolo de comunicación usa un bus CAN por los sobre requerimientos de corriente y voltaje. Se definen características que cumplen con el estándar IEC 62196-3.

Figura 2.4: Cargador Chademo

[1]

2.4. Modos de Recarga

Modo: 1 Recarga lenta: se realiza mediante corriente alterna limitada a 16A por fase sin necesidad de utilizar equipos adicionales, con una potencia desde 3.7kW hasta 11kW y tomas convencionales de 110V.

Modo: 2 Recarga semi lenta: trabaja con una corriente alterna limitada de 32A aunque suelen trabajar a 16A, la potencia varía entre 7.4kW hasta 22kW y utiliza sistemas de verificación del estado de la conexión. Trabaja con una fuente de voltaje de 220V.

Modo: 3 Carga rápida: utiliza una corriente de 63A, pese a que se encuentran desarrollando recargas de 250A, se puede recargar el 65 % de la batería en 15 minutos como una potencia de salida cercana a los 50kW.

Modo: 4 Se emplea mediante la recarga a través de corriente continua que alcanza cerca de los 125kW de salida alcanzando los 400A. Sus desventajas son los altos costos de implementación y su gran tamaño.

2.5. Aspectos generales

Los últimos años han sido vitales para generar mayor énfasis en lo que compete a la calidad de la energía. Esto se ha logrado gracias a que las normativas y/o regulaciones de organizaciones tanto internacionales como nacionales han establecido los límites tolerables para mantener la energía dentro de los niveles correctos para considerarla buena para sistemas eléctricos.

La norma IEEE Std. 1159-1995, hace una descripción detallada de los aspectos más importantes que intervienen con el monitoreo de la calidad de la energía, establece definiciones de los fenómenos a tomar en cuenta. Además, explica de manera precisa las técnicas a aplicar y como dar un correcto uso a los resultados del monitoreo. [13]

En el país la ARCERNNR es la Institución que se encarga de normar la calidad de la energía atraves de la regulación ARCERNNR No. 002/20 , la cual a su vez se basa en la norma IEEE 1159-1995, este documento se clasifica y agrupa los fenómenos que afectan la calidad, algunos términos que también son utilizados en normas del IEC pero que describen al mismo fenómeno en cuestión. Se basa en tres aspectos fundamentales:

- Calidad del producto
- Calidad del servicio técnico
- Calidad del servicio comercial

La calidad del producto hace referencia a los siguientes aspectos de carácter técnico:

- Nivel de voltaje
- Perturbaciones de voltaje (flicker)
- Distorsión armónica de voltaje
- Desequilibrio de voltaje

La calidad del servicio técnico contempla dos aspectos: frecuencia y duración de interrupciones. Por último, el servicio comercial contiene los siguientes puntos:

- Atención de solicitudes
- Atención de reclamos
- Errores en medición y facturación

Para el presente trabajo se tomarán en cuenta solamente los aspectos de calidad del producto enfocados en el servicio técnico.

Con respecto a la calidad del producto, la regulación establece las pautas para la ejecución de las mediciones para empresas distribuidoras de electricidad. En el caso de sistemas eléctricos de consumidores es aplicada como medio de verificación de la calidad de la energía al interior del domicilio del cliente y así, se establece las causas y sobre todo los efectos de la buena o mala calidad de la electricidad. Para tal efecto de los cuatro puntos descritos se aplicarán en el presente estudio solo los que pueden ser implementados desde un enfoque de consumo. Los puntos aplicables y referentes a las mediciones son los siguientes:

- Llevar un registro de niveles de voltaje, flicker, armónicos.
- Considerar el diseño y la topología de la red eléctrica para determinar los puntos de medición y asegurar que éstas sean representativas de todo el sistema.
- Para el periodo de toma de datos, se realizó mediciones no inferiores a 7 días continuos con lapsos de 10 minutos.

Para analizar la calidad del producto, se debe considerar las normas: EN50160, IEEE y la IEC. De estas normas se considera la tolerancia de valores, además nos sirve como referencia para la construcción de equipos de medición.

2.5.1. Calidad de producto

Se basa en 4 pilares fundamentales:[6]:

Nivel de Voltaje

Es un punto del sistema de distribución, el cual puede ser de bajo, medio y alto voltaje, determinado la siguiente ecuación:

$$t::V_K = \frac{V_k - V_N}{V_N} X100 \quad |\%|[6] \tag{2.1}$$

Las variaciones de voltaje son las siguientes

Tabla 2.1: Limites para el indice de nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango Permitido
HV (grupo 1 y grupo 2)	±5,0 %
MV	±6,0 %
LV	±8,0 %

Perturbación rápida de voltaje (flicker)

El índice flicker de corta duración $P_g t$ mide la amplitud de V, con intervalos de 10 min. Evaluándose conforme a la norma IEC61000-4-15[6]

$$P_{st} = \sqrt{0{,}0314P_{0,1} + 000525P_1 + 0{,}0657P_3 + 0{,}28P_{10} + 0{,}08P_{50}[6]} \tag{2.2}$$

El límite del valor del flicker P_{st} no debe superar la unidad.

Distorsión armónica de voltaje

Para valorar los índices que producen el THDv, analizamos mediante las siguientes ecuaciones. [6]

$$V_{hk} = \left(\frac{1}{200}\sum_{i=1}^{200}(V_{hi})^2\right)^{\frac{1}{2}} X \quad 100 \quad [\%][6] \tag{2.3}$$

$$DV_{hk} = \frac{V_{hk}}{V_n} X100 \quad [\%][6] \tag{2.4}$$

$$THD_k = \left[\frac{1}{V_n}\sqrt{\sum_{k=2}^{50}(V_{hk})^2}\right] X100 \quad [\%][6] \tag{2.5}$$

Los limites THDv son los siguientes:

Tabla 2.2: Limites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)[6]

Nivel de Voltaje	Armónica individual	THD(%)
LV	5.0	8.0
MV	3.0	5.0
HV	1.5	<2.5
HV	1.0	1.5

Desiquilibrio de voltaje

Al momento de experimentar un desequilibrio se debe evaluar el nivel de voltaje y si este cumple con una variación que oscile entre el 2 % para variaciones. Determinando lo siguiente: [6]

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left[\frac{V^-}{V^+}\right] X100 \quad [\%][6] \tag{2.6}$$

2.5.2. IEEE 1159

El estándar 1159 proporciona recomendaciones acerca del monitoreo que se le debe dar a la calidad de la energía, para lo cual se definen 7 categorías:

1 Variaciones de corta duración

2 Variaciones de larga duración

3 Transitorios, desequilibrio de voltaje.

4 Distorsión de la forma de onda

5 Fluctuaciones de voltaje

6 Variaciones de la frecuencia. [13]

De los fenómenos que enunciamos analizaremos a continuación los de corta duración quienes se presentan condiciones de fallo por cargas que necesitan altas corrientes de arranque como son:

1 Sags

2 Interrupciones

3 Swell.

Cada tipo se clasifica en instantáneo momentáneo o temporal dependiendo de su duración.

La ubicación de la falla puede producir sobretensiones, subtensiones temporales. Su efecto sobre el voltaje va a ser una variación de corta duración.

Tabla 2.3: Perturbaciones eléctricas según norma IEEE1159

Categorías	Duración Típica	Magnitud típica de voltaje
Variaciones corta duración		
Instantánea		
Sags	0.5 - 30 ciclos	0.1 -0.9 p.u
Swell	0.5 - 30 ciclos	1.1 -1.8 p.u
Momentáneos		
Interrupciones	0.5 - 30 ciclos	<0.1 p.u
Sags	30 ciclos -3 seg	0.1 -0.9 pu
Swell	30 ciclos -3 seg	1.1 -1.4 p.u
Temporal		
Interrupciones	3 seg -1 min	<0.1 p.u
Sags	3 seg -1 min	0.1 -0.9 pu
Swell	3 seg -1 min	1.1 -1.2 p.u
Variaciones larga duración		
Interrrupciones	>1 min	<0.01 p.u
Sags	>1 min	0.8 -0.9 pu
Swell	>1 min	1.1 -1.2 p.u
Armónicos	estado estable	0-20 %
Fluctuaciones de tensión (fliker)	intermitente	0.1-7 %
Desequilibrio de tensión	estado estable	0.5-2 %

2.5.3. Estándar IEEE 519

El estándar de la IEEE 519, hace requerimientos de mejora al control de los armónicos en los SEPs. [14] las cargas no lineales, producen sobre el sistema una capacidad limitada para asimilar corrientes armónicas, esto hace que el trabajo de los operadores de red, sea controlar de manera óptima los niveles de tensión y su correspondiente forma de onda. [14]

El propósito de esta norma es recomendar límites a los armónicos de acuerdo a dos criterios:

- Los usuarios deben tener un limitante sobre la cantidad de armónicos que devuelvan a la red. [14]
- Una compañía de distribución debe tener limitantes con respecto al nivel de THDv, a suministrar. [14]

El estándar recomienda mantener los niveles de THD, en relación con los valores de corto circuito

En la tabla 2.4 se muestran los valores de corriente para componentes de armónicas individuales y su THD.

Tabla 2.4: Límite de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento, para voltajes entre 120V - 69KV

Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente en del Armónico fundamental						[14]
ISC/IL	<11	11<=h<17	17<=h<23	23<=h<35	35<=h	TDD
<20*	4	2	1.5	0.6	0.3	5%
20<50	7	3.5	2.5	1	0.5	8%
50<100	10	4.5	4	1.5	0.7	12%
100<1000	12	5.5	5	2	1	15%
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20%

La IEEE 519 establece los siguientes parámetros de calidad de la energía eléctrica.[14]

Flicker de tensión:
Los lineamientos para el parpadeo de tensión ocasionado por consumidores individuales se encuentran recomendados en la IEEE 519.[6]

Las restricciones de distorsión de la tensión de los parámetros eléctricos establecidos por la IEEE 519 se refieren a los niveles que deben mantenerse para un correcto funcionamiento. Los límites de armónicos de tensión sugeridos se

basan en mantener los niveles lo suficientemente pequeños como para respaldar que el equipo del abonado opere satisfactoriamente.

La tabla 2.5 contempla los límites de THDv según IEEE.

Tabla 2.5: Límites distorsión armónica de voltaje según norma IEEE519

Nivel de voltaje	Armónicos individuales de tensión (%)	THDv (%)
LV	5	8
MV	3	5
HV (tipo 1)	1.5	2.5
HV (tipo 2)	1	1.5
Nota: Los Sistemas pueden llegar hasta un 2% cuando trabaja en DC		

2.5.4. Situación energética del Ecuador

La situación energética en el Ecuador desde el año 2008 ha presentado un incremento en su producción primaria de energia, siendo el petróleo el que mantuvo una media de 189 millones de crudo, durante el 2008 - 2018 y alcanzó su máxima producción en el 2014 con un total de 203 millones de barriles.[15]

La generación de fuentes renovables ha sido menor; sin embargo, la producción se ha desarrollado en un 33% entre 2008 y 2018, teniendo como componente principal a la hidro energía.

A partir del año 2019, el país fomenta la chatarrización de automóviles cuyos propietarios deseen reemplazarlos por vehículos eléctricos. Esto quedara libre para cada uno de los GADs.

En el país la incorporación de nuevos vehículos que laboren en el servicio público a partir del 2025, deberá ser eléctricos, mientras que para Galápagos esto será estudiado por Comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE). [16]

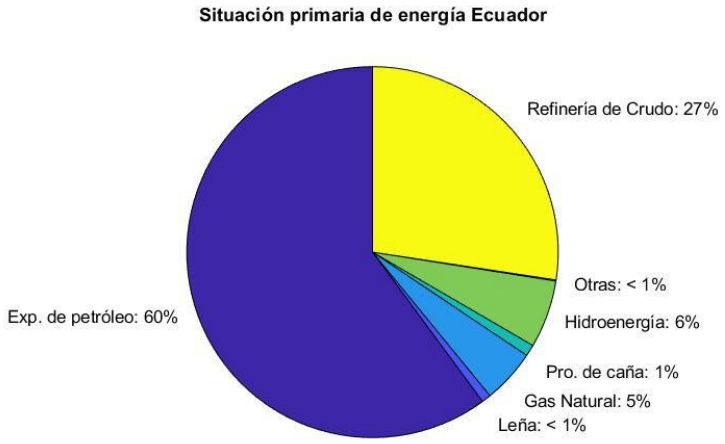

Figura 2.5: Situación Energética del Ecuador Fuente [2]

Una de las ventajas que presenta el país es que la cantidad de energía producida es mayor a la utilizada dando lugar a la exportación de energías primarias. Es por ello que el país requiere de la importación de derivados de petróleo para el abastecimiento de la demanda energética sectorial.[2]

Tras la disminución de la producción de crudo en el año 2018 se generó una caída de 2,5% en la producción primaria con respecto al 2017; mientras que la hidroenergía creció 2.9% , dando paso a la disminución del 7% de otras energías renovables como biogás, eólicas y productos provenientes de plantas para el año 2017.

Producción de energía secundaria:

En los últimos 10 años la producción de energía secundaria (fuel oil, electricidad, diésel y gasolinas) se incrementó un 10,6%, pasando de 73 a 80 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP).

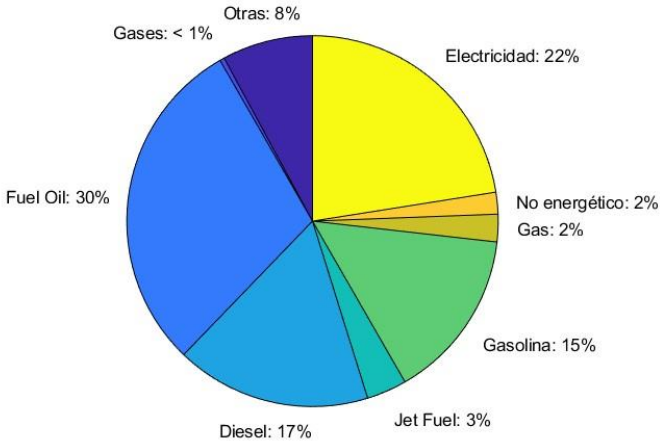

Figura 2.6: Consumo Secundario Fuente [2]

Uso de la energia:

En el Ecuador la demanda energética aumentó 42,2 % durante el período de análisis desde el 2008 hasta el 2018, pasando de 66 a 94 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP). El sector de transporte es el mayor demandante de energía con respecto a los otros sectores económicos, con un valor promedio de 36 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP), en los últimos 11 años. Por otra parte, el sector industrial se encuentra en segunda posición, con un valor promedio de 13 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP).

Finalmente, la tercera posición de consumo energético del Ecuador, se origina en el sector residencial con un promedio de 11 000 000 de barriles equivalente de petróleo (BEP).[2]

En los próximos años se va a experimentar un incremento energético en este sector debido al ingreso de los VE.

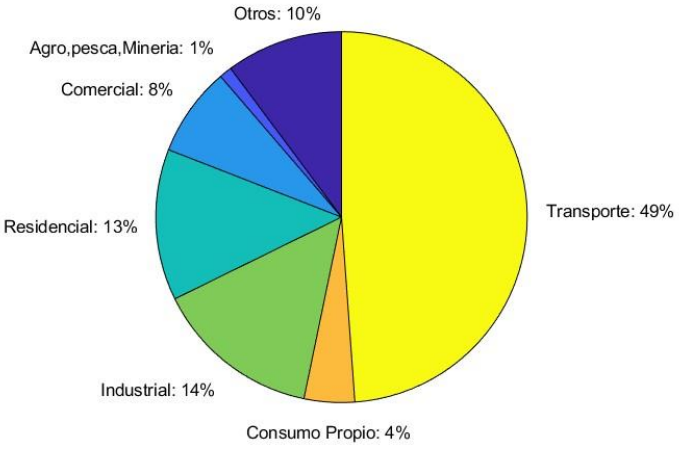

Figura 2.7: Uso de la energia

Fuente [2]

2.6. Gestión de la energía

La gestión energética es un conjunto de actividades que se deben considerar para que exista una correcta mejora al desempeño de las organizaciones, dado a que el sector eléctrico esta siempre al alza con características base como:

- Planificar
- Verificar
- Hacer
- Lograr

Una mejora constante del desempeño disminuye el consumo energético durante las horas pico; con el fin de nivelar la curva de demanda lo que implican un compromiso por parte de los usuarios.[17]

Esta acción conlleva realizar un monitoreo constante que promueva el uso eficiente de energía, sin disminuir el confort y el servicio continuo a los usuarios; para esto, la implementación de tecnologías que fomenten el ahorro de energía es lo que prima en las ciudades modernas.

Sistema de gestión energética

Un Sistema de gestión Energética se basa en la mejora continua y sostenida buscando el costo-beneficio; el objetivo de la propuesta es la mejora del desempeño energético. La eficiencia en la implementación depende de los costos que aporte la organización involucrada.[17]

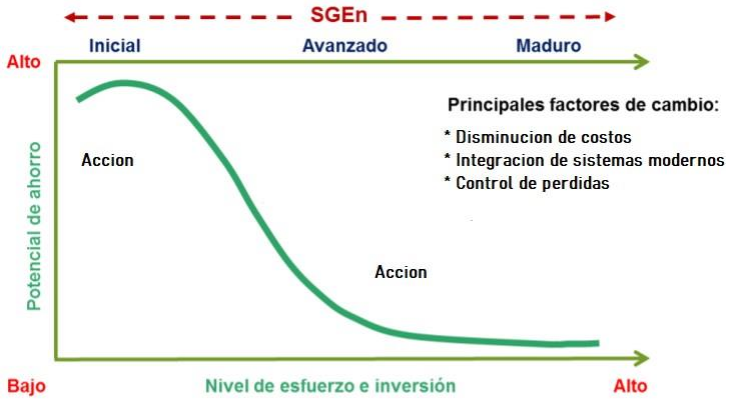

Figura 2.8: Sistema de Gestión Energética

Se busca siempre:

- Priorizar las acciones para la mejorar su potencial de ahorro y reducción de costos.
- Impulsar la productividad y el crecimiento responsable.
- Promover de manera responsable la calidad de la energía.
- Generar responsabilidad y manejos óptimos dentro de la organización.

2.6.1. Gestión de carga

Al momento del proceso de recargar de los vehículos eléctricos se debe basar en establecer un proceso que priorice la calidad de la energía, para lo cual se debe concretar y desarrollar derechos y obligaciones para los usuarios y las empresas comercializadoras, garantizando un servicio de calidad, teniendo en

cuenta los requerimientos del sistema con la inclusión de medidores bidireccionales.

Otro aspecto a implementar es la promoción de los vehículos eléctricos, partiendo del transporte público y taxis, pero con sistemas no 100 %, eléctricos sino híbridos enchufables que brinden una autonomía adicional en casos de desplazamientos mayores a la duración de las baterías que circulan al momento en el país

La gestión de carga se debe dar de manera transparente conociendo la realidad de las redes eléctricas en aspectos como: su ubicación, cantidad de armónicos que están soportando los transformadores y su saturación, para que con esa información se proceda a realizar un manejo correcto, para promover el desarrollo e implementación de los VE y la optimización de la recarga, promoviendo el proceso económico como medioambiental. Esta figura de gestor de carga debe verse como un agente de mercado, los cuales pueden ser publicos o privados, su rol es encargarse de adquirir la energía y venderla al usuario final en los distintos puntos de venta como son el caso de las electrolineras y los consumidores finales con sus protocolos de comunicación y un estudio de su crecimiento, buscando siempre un beneficio social con datos claros y concretos.

En la tabla 2.7 se pueden apreciar los incentivos que se vienen aplicando en algunos países de Latinoamérica para mantener una correcta gestión de uso de energías renovables y de carga de VE.

Tabla 2.6: Tabla de incentivos en latinoamerica

Incentivos/ país	Argentina	Brasil	Colombia	Costa Rica	Chile	Ecuador	Mexico	Uruguay
Exento de iva [18]								
Exento de permisos de circulación [18]								
Exento de restricción vehicular [18]								
Exento de permisos aduaneros [18]								
Exento de consume de permisos especiales [18]								
Tarifa eléctrica diferencial [18]								
Disminución de impuestos [18]								

2.6.2. Vehículos eléctricos en el transporte público

De acuerdo con estudios desarrollados por la Universidad Politécnica Salesiana en el año 2018[19], un vehículo eléctrico consume aproximadamente 0.15 kWh por cada km.

- Vehículos Particulares 36 km diarios y 13.140 km/ año.
- Taxis 200 km diarios y 73.000 km/ año.
- Buses 175 km diarios y 63.875 km/ año.

Un bus eléctrico, consume aproximadamente de 1,3 kWh a 1,8 kWh por cada km, según datos obtenidos por estudios realizados por la Universidad Central del Ecuador[20]. Un aspecto importante es conocer de donde proviene la energía con la que se alimentan tanto los VE y los buses eléctricos.

Como se puede observar en la tabla 2.7, el país mejoró su eficiencia a partir del año 2014, esto se dió con el ingreso de nuevos proyectos hidro energéticos. [7]

Tabla 2.7: Producción de electricidad [9]

Asia	$\frac{KgCo2}{KWh}$	America	$\frac{KgCo2}{KWh}$	Africa	$\frac{KgCo2}{KWh}$
Bangladesh	0,64	Argentina	0,52	Egipto	0,54
Bangladesh	0,64	Argentina	0,52	Egipto	0,54
Cambodia	0,67	Bolivia	0,58	Ghana	0,55
China	0,89	Brazil	0,3	Iran	0,61
India	0,9	Chile	0,6	Ivora Costa	0,72
Indonesia	0,76	Colombia	0,34	Kenya	0,6
Malaysia	0,67	Cuba	0,87	Libano	0,65
Mongolia	1,06	Republica Dominicana	0,65	Libia	0,79
Pakistan	0,54	Ecuador	0,59	Madagascar	0,55
Filipinas	0,51	El Salvador	0,68	Marruecos	0,66
Corea del Sur	0,63	Guatemala	0,65	Namibia	0,92
Singapur	0,49	Honduras	0,67	Nigeria	0,58
Sri Lanka	0,69	Mexico	0,53	Ruanda	0,65
Tailandia	0,55	Nicaragua	0,69	Arabia Saudi	0,65
Vietnam	0,56	Panama	0,62	Senegal	0,68
		Peru	0,6	Sud Africa	0,95
		Uruguay	0,57	Tanzania	0,31
				Tunez	0,53
				Uganda	0,53

2.6.3. Componentes del vehículo eléctrico

Los componentes primordiales de los VE que intervienen durante el momento de la recarga del VE son[21]:

1 Cargador de pared.

2 Cargador de embarque.

3 Conversor.

4 Batería

5 Sistema de Refrigeración

La figura 2.9 muestra la composición del vehículo eléctrico desde una vista frontal a manera de bloques, donde se resalta el cargador de pared, de embarque o puerto de carga, el cual posee tomas para cargas de 110-220V y 440V, estos componentes están ubicados de manera descendente, el primero es el cargador de pared, la segunda parte del bloque está constituida por el cargador de embarque, en esta área se realiza el primer tratamiento de las señales que ingresa a recargar el vehículo eléctrico. Luego se encuentra el conversor que es la zona encargada de realizar la conversión de la energía, así como de filtrar las distintas señales eléctricas, este proceso se da por medio de inversores, mientras que el módulo de control se encarga de activar varios sistemas que se encuentran en esta zona, en la parte inferior se encuentra el área del motor del vehículo.[22]

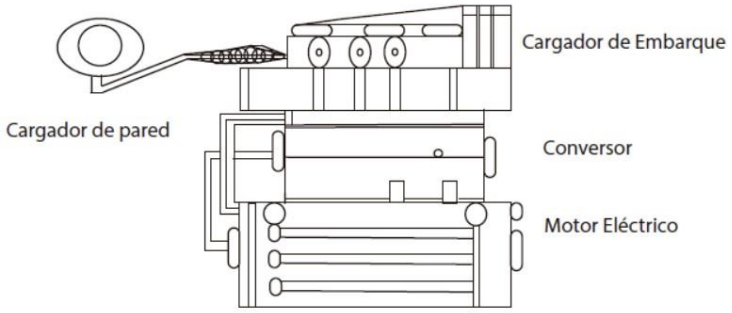

Figura 2.9: Modulos IBGT del VE Fuente Autor

El módulo de control es el encargado de interactuar con el sistema de comunicación al proceso de la recarga del vehículo, además de monitorear la recarga hace que se dé una verificación de si es o no posible que la recarga se realice y de generar una desconexión al finalizar la misma, está compuesto por una tarjeta encargada de realizar este proceso de manera automática al momento de detectar la carga.

2.6.4. Sistema de control del VE

El área de control del vehículo eléctrico posee el siguiente diagrama que muestra los componentes entre el cargador de embarque y el bloque del controlador, donde es importante señalar al módulo ECU que es el cerebro del

vehículo, está alimentado por las baterías de bajo voltaje, así como del controlador, el inversor de carga, además del conversor. El controlador hace que se genere un manejo completo de las señales que se envían a la red, esto se da por el control que poseen respecto al manejo de los armónicos que se producen en el vehículo eléctrico; para lo cual, se analizaran las formas de onda producidas al momento de la recarga haciendo que tanto el manejo de armónicos como la conexión y desconexión de los cargadores sea de manera controlada como se verificó en el análisis del VE.

Los VE como sus similares híbridos poseen un módulo de control ECU, la figura 2.10 muestra la composición de los diferentes módulos de control tanto al ingreso como a la salida de las baterías; a través de este esquema se conocen los distintos tipos de filtros que interactúan durante la recarga del vehículo eléctrico, el primero está en el cargador interno o de embarque, el cual se encuentra conectado y retroalimentado por el módulo ECU y el segundo se encuentra dentro del vehículo eléctrico y se encarga de filtrar la corriente que ingresa al inversor y posteriormente se transmite a la batería.[23]

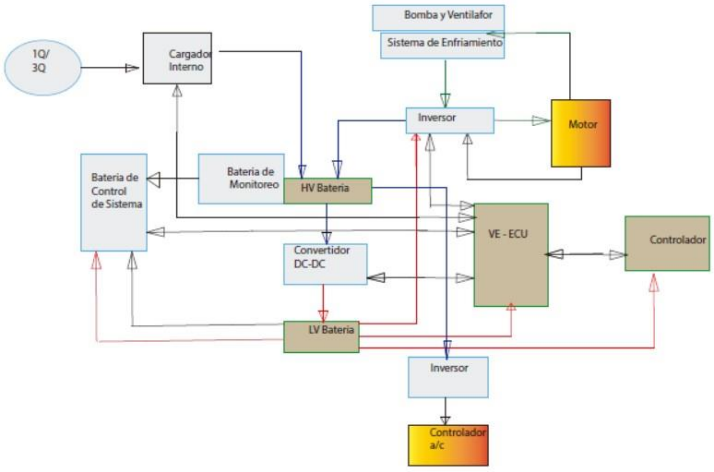

Figura 2.10: Partes del VE Fuente Autor

2.6.5. Unidad de control ECU

Es el cerebro del VE y se encarga de realizar un proceso de control de los dispositivos y manejo de los distintos controladores, esto se da a través del chip

TMS570. Este microcontrolador posee entradas analógicas como digitales además de salidas digitales, una de sus principales características es utilizar el protocolo CAN, en la figura 2.11 se muestra la tarjeta de control ECU. [24]

Figura 2.11: Modulos ECU Fuente Autor

2.6.6. Inversor

Es un dispositivo que convierte la energía de CC a CA. Uno de los más utilizados es el inversor multinivel, que se usa en aplicaciones como: ups (fuente de energía de emergencia) en compensadores de energía reactiva, filtros activos como: fuentes de energía eólicas, solares fotovoltaicos, entre otras.[24]

El inversor para el caso del VE es el encargado de controlar al motor síncrono, este emplea un motor tipo trifásico que se encuentra dividido entre el módulo IGBT, el mismo está compuesto por 6 compuertas bipolares aisladas que soportan hasta 80 kW, lo que hace que el módulo se encuentra lo más próximo a la barra del IGBT. Debido al incremento de temperatura, el enfriamiento se dará de forma forzada mediante líquido refrigerante (agua). Para el manejo de los IGBT se encuentra un módulo que posee 6 canales con un sensor de voltaje, además de tener un esquema de protección contra corto circuitos. Poseen capacitores de 500uF a 450V, los mismos que se encargan de filtrar las señales de salida que se devuelven a la red como se verificó en el análisis realizado.[24]

2.7. Introducción a la eficiencia energética

La eficiencia energética se fundamenta en saber administrar los bienes energéticos de manera hábil sin poseer las últimas tecnologías, optimizando el consumo, sin disminuir la calidad de vida, asegurando la protección del medio ambiente y siendo sostenible a lo largo del tiempo [25]

Por otro lado, ahorrar energía se logra haciendo menos actividades. Es así que eficiencia y ahorro de energía son conceptos íntimamente relacionados al momento de trazar políticas, planes y acciones relacionadas al uso racional de la energía.[7]

Hay que ser muy conscientes en practicar un consumo más responsable e inteligente sobre la energía que se consume. Si bien es cierto que la acción de una sola persona no es representativa en magnitud; sin embargo, la repercusión global es importante cuando varias personas utilizan los recursos de manera eficiente. [26]

Impacto de las recargas en el sistema

Se presentará la recarga de los VE en las redes de distribución, provocando un aumento de carga que será sometida a las redes de media y baja tensión presentando las siguientes consecuencias[1]:

- Incremento de la caída de tensión por aumento de carga: pueden presentarse subtensiones en determinados momentos durante la presencia simultánea de muchos VE, afectando a la calidad del servicio que se encuentran regulada por normativas cada vez más exigentes[8].
- Posibles congestiones de las redes de baja tensión por incremento de los limites térmicos.
- Aumento de pérdidas por el incremento de demanda.
- Disminución de la vida útil de los equipos como en el caso de los transformadores [8]
- Las fases se deben equilibrar de manera correcta para evitar desequilibrio y perdidas del sistema de distribución [27]. Adicionalmente el desequilibrio perjudica a la calidad del suministro limitada por las normativas vigentes [27].

- Finalmente, los dispositivos que intervienen durante la recarga están compuestos por equipos electrónicos y al ser estos no lineales, generan armónicos a la red. Por tal motivo, mediante un análisis se obtendrán los tipos de armónicos que afectan a la red.

Estudios realizados en Ecuador

La implementación de buses eléctricos en rutas céntricas preestablecidas dieron como resultado una mejora en la calidad del aire así como una disminución de ruido[20], destacando que los servicios son modernos y brindan confort a los pasajeros, especialmente en horarios donde la temperatura supera los 20 grados y existe aglomeración, pudiéndose implementa, buses tipo cama baja que facilitan el acceso de personas con dificultades motrices.

Otro de los aspectos analizados es el costo de implementación, el cual inicialmente superó en una relación de 3:1 el valor del VE vs el VCI, mientras que, los costos tanto de mantenimiento en buses y de vehículos particulares serían de la mitad de los vehículos convencionales.

Al momento los costos de las baterías es uno de los grandes problemas que afrontan los VE, pero se espera que para el año 2025 se reduzcan debido a la gran incorporación de los VE que se dará a nivel mundial [1].

El costo diferencial de la tarifa será una de las formas de incentivar una recarga que no genere un impacto negativo durante los horarios llamados pico, lo que hará que las inversiones puedan ser sostenibles en el tiempo y representen un beneficio a la adquisición de un VE, esto se puede verificar en el pliego tarifario vigente.

Capítulo 3

METODOLOGÍA PROPUESTA

En el capítulo, se describe la metodología empleada para la obtención de las magnitudes eléctricas de voltaje y corriente del vehículo eléctrico, para el análisis de la calidad de la energía con base al tipo de armónico inyectado a la red eléctrica. Se resolverá el problema de estudio referente al impacto armónico de la carga de los VE sobre la red de distribución de bajo voltaje de un transformador que tiene carga predominante residencial. El ingreso de la carga del VE al transformador se realiza de manera aleatoria aproximando a un escenario real de funcionamiento. De igual manera, se analiza el impacto en la demanda del transformador en cuanto al caso de estudio generado por el VE.

Los equipos y materiales que se utilizaron para el caso de estudio son:

- Kia Soul VE.
- Fluke 435.
- NI USB 6112.
- Conectores.
- Datos de la medición de la calidad de energía de un transformador.

Fluke 435

El objetivo del analizador de calidad de energía fluke 435, es minimizar el tiempo de inactividad, resolver de manera rápida problemas de calidad y averiguar eficientemente los costos de las pérdidas.

El equipo brinda un servicio óptimo y obtiene múltiples parámetros que ayudan a la toma de decisiones de forma clara, correlacionando los problemas de las instalaciones analizadas.[3]. 3.1

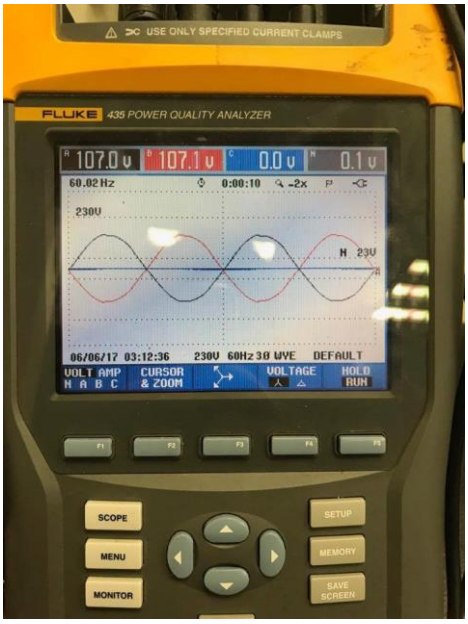

Figura 3.1: Fluke 435[3]

Configuración del equipo Fluke 435:

De manera inicial se configuró la fecha, hora y tipo de red (monofásica o trifásica) a la que se conectara el equipo (fluke435), la cual se evidencia en la figura 3.2.

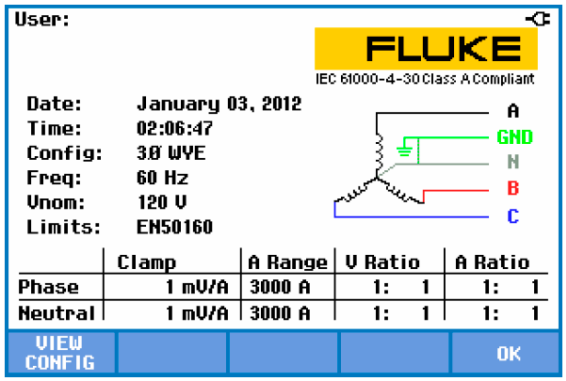

Figura 3.2: Ventana principal Fluke [3]

Se realizó la configuración de los límites a registrar en cuanto a variación de voltaje, distorsión armónica, entre otros, Los límites fueron configurados en los términos establecidos en la norma del ARCERNNR 002/20.

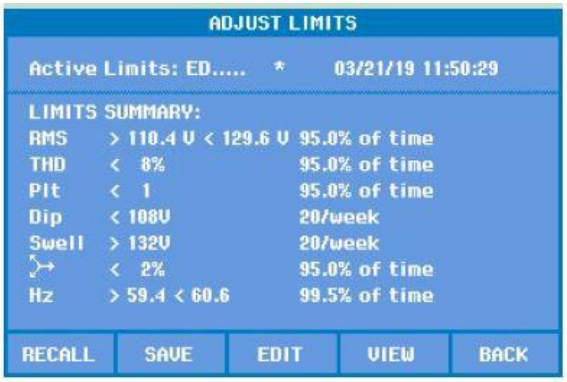

Figura 3.3: Ajuste de limites [3]

Una vez configurado el equipo se procedió a realizar la conexión con el cargador del vehículo, para lo cual se verificó previamente que se encuentre descargado el VE, esto corresponde al 20% o menos de la carga total y así realizar una toma completa, basándose en el manual de conexiones del equipo, se conecta con las sondas de tensión y de corriente en cada uno de los conductores a medir.

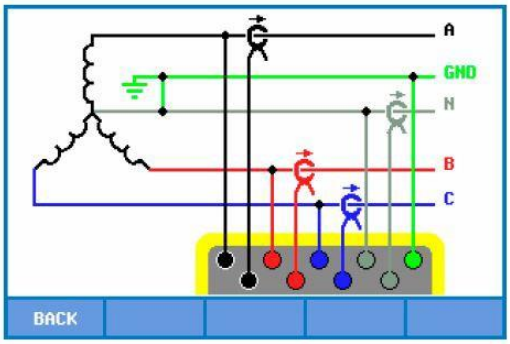

Figura 3.4: Conexión del equipo [3]

Posteriormente, se realizó el registro de datos con una duración de 2 horas y 45 minutos hasta alcanzar el 100 % de carga del VE, utilizando la toma de carga tipo 2. En la figura 3.5, se comprobó el correcto funcionamiento al momento de recargar, evitando errores en los datos capturados.

Figura 3.5: Cargador y conector tipo 2 [3]

La figura 3.6 muestra el vehículo donde se realizó recargada de baterías para el objetivo del presente estudio.

Figura 3.6: Carga del VE Fuente Autor

NI USB 6112

El dispositivo USB NI 6112 multifunción, de 16 bits y 250 kS/s, es un dispositivo sistema DAQ como se presenta en la figura 3.7 [4], el cual utilizamos, para realizar las mediciones de precisión de efectos producidos durante la recarga.

Figura 3.7: Diagrama NI [4]

Descarga de datos

Durante el proceso de carga, se tomaron 970 registros de datos:

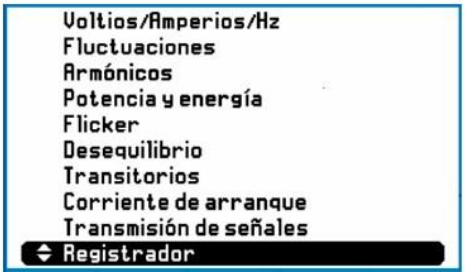

Figura 3.8: Registros [3]

En la figura 3.9 se pueden apreciar los datos de las tomas de carga en la que se observa el tiempo restante para una carga completa así como el porcentaje de carga que dispone el vehículo.

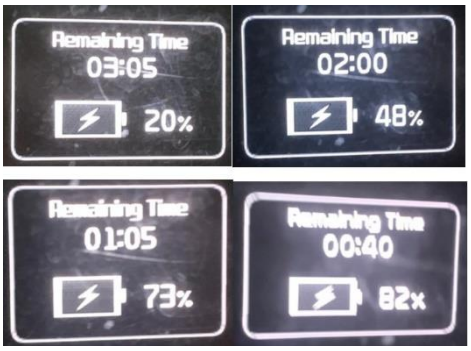

Figura 3.9: Valores de tomas de carga (Autor)

3.1. Datos de la calidad de red de distribución bajo análisis

La norma dada por la Agencia de Regulación ARCERNNR No-002/20 que estipula que se deben realizar las mediciones durante siete (7) días continuos. Se

tomaron las muestras a través del equipo de medición (fluke 435), empleado mediante un espectro de datos prolongado, captando las distintas anomalías presentes en la red de distribución.

3.1.1. Análisis de las tomas de datos del VE

Para la toma de datos del VE, se analizaron pequeños intervalos de tiempo donde se producen cambios en la curva sinusoidal, al usar el NI 6112 se puede señalar que la curva de corriente posee un desfasamiento de 4 grados con respecto a la señal de referencia, como se observa en la siguiente figura.3.10

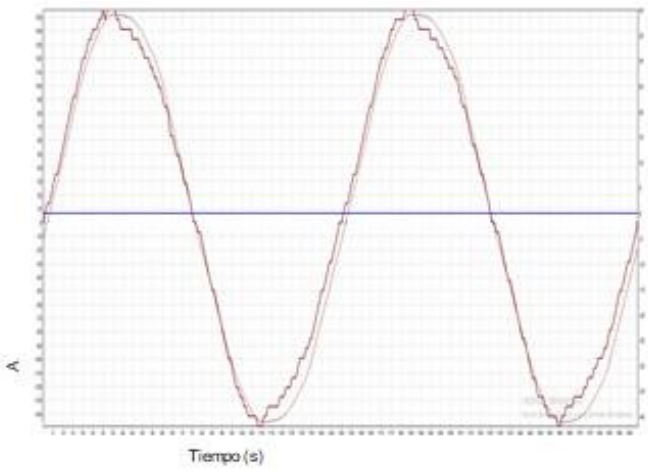

Figura 3.10: Curva de corriente tomada con el NI 6112 Fuente Autor

Al realizar una medición profunda de la toma de corriente del VE al 90% de carga mediante el equipo NI USB 6112 y procesándolo a través de Matlab, se destaca el pico simétrico como se observa en la figura 3.11.

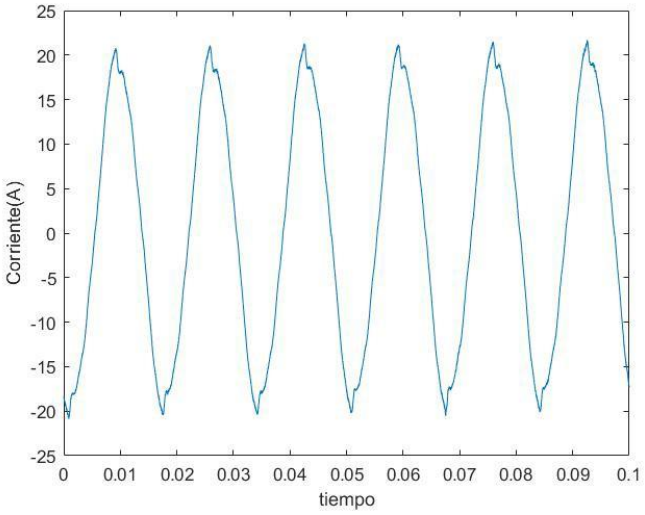

Figura 3.11: Curva característica de corriente de carga del VE. Fuente Autor

Se destaca que la curva de corriente es lo más lineal posible y presenta un pico que será analizado ya que posee características que influyen en el manejo de los armónicos en la red.

Una vez obtenidas las curvas características de corriente se pasó a realizar una comparación de los armónicos que se están introduciendo a la red al momento de la recarga, como se aprecia en la tabla 3.2.

Tabla 3.1: Valores medidos

ORDEN ARMÓNICO	V >40 KV	Fase A p.u.	Fase B p.u.
3	1.5	0.13	0.11
5	2	1.84	1.84
7	2	0.42	0.43

Del análisis se obtiene que los límites son superados durante 7 segundos, esto se da durante el análisis del quinto armónico con valores cercanos al rango de tolerancia. Esto se pudo apreciar dado que los valores de las normas de la

IEEE y de la calidad del producto, establecen que estos valores se deben encontrar dentro de los límites establecidos por las normas y se mantienen según los estándares de la regulación que posee el país.

Los valores obtenidos de la toma de carga demuestran que los armónicos se filtran en dos etapas, esta tarea se realiza con el trabajo del inversor que actúa a la salida del cargador de modo 2, así como al ingreso del VE; para justificar la caracterización de la curva de carga, se determinará el filtro que se está empleando mediante el uso de Matlab y a través del diagrama de Bode se obtiene la forma de onda que genera el VE.

3.2. Caracterización de la curva de corriente mediante Origin

Mediante la toma de datos en la curva de corriente se denota una cresta que se tomó como punto de partida para caracterizar el tipo de filtro empleado y, con la utilización del programa Origin se caracterizara la forma de onda de la curva de corriente del VE.

Los resultados se muestran a continuación:

$$ModelSineSqry = y0 + A * (sin(pi * (x - xc)/w))^2 \tag{3.1}$$

$$Reduced\,Chi - Sqr\,0,07168 Adj.R - Square\,0,99936 \tag{3.2}$$

$$Value Standard\,Error\,Vy = 0 - 14,903220,00328 \tag{3.3}$$

$$Vxc = 0,011138,10922E - 7 \tag{3.4}$$

$$Vw = 0,016662,74085E - 7 \tag{3.5}$$

$$VA = 29,963030,00536 \tag{3.6}$$

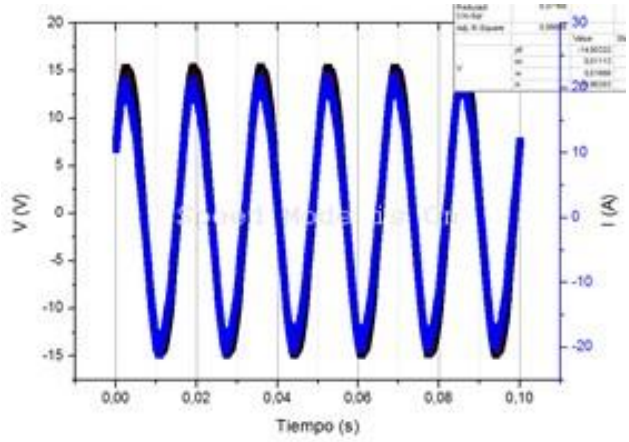

Figura 3.12: Curva característica procesada con Origin. Fuente Autor

3.2.1. Análisis mediante el uso de Matlab

Para realizar el análisis comprobatorio de la ecuación se partió de los datos obtenidos por el NI USB 6112 y mediante el comando cftool(f) de la función, se consiguió una gráfica de comprobación de la curva que se analiza, la que se asemeja la curva original.

Mediante el uso de la herramienta suns of shine de ocho términos, se determinó la mejor aproximación de la curva de carga:

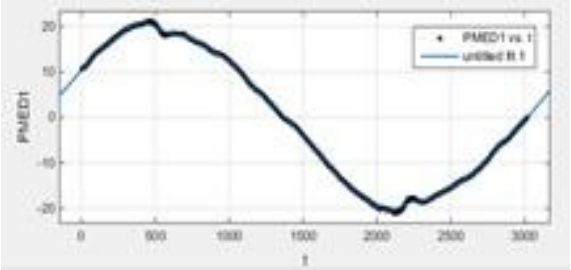

Figura 3.13: Obtención de la ecuación de la curva. Fuente Autor

Partiendo de la ecuación dada a través del proceso de experimentación se

obtiene la siguiente ecuación:

Algoritmo 1 la siguiente ecuación *f*

Ecuación: 1 f=a1.*sin(b1.*x+c1) + a2.*sin(b2.*x+c2) + a3*sin(b3.*x+c3)+ a4.*sin(b4.*x+c4) + a5.*sin(b5.*x+c5) + a6.*sin(b6.*x+c6) + a7.*sin(b7.*x+c7) + a8*sin(b8.*x+c8);

Recreando la ecuación obtenida se observa una aproximación que servirá para determinar el tipo de filtro que está actuando al momento de realizar la recarga del VE como se muestra en la figura 3.14

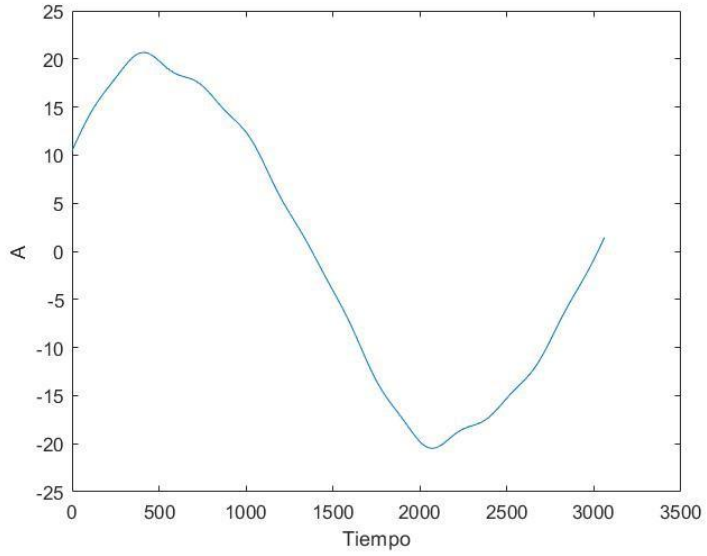

Figura 3.14: Curva Recreada mediante matlab. Fuente Autor

La curva de carga recreada es lo mas parecida a la que se obtuvo mediante la recarga del vehículo eléctrico, esta nos brinda un conocimiento de como se comporta un vehículo en una carga tipo 2.

3.2.2. Procesamiento de la función de transferencia

Para reconocer el tipo de filtro que se emplea se analizara la ecuación obtenida al procesar la función de transferencia mediante la cual resulto la siguiente curva:

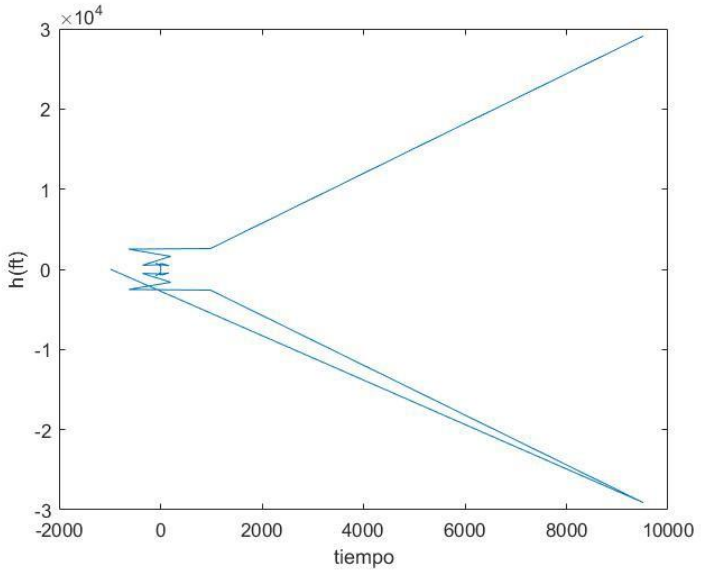

Figura 3.15: Función de transferencia (f). Fuente Autor

3.2.3. Validación mediante diagrama de Bode

Se verifica que el filtro que se está empleando a la entrada, es un filtro pasa bajo el que hace en gran medida que la cantidad de armónicos inyectados a la red se mantengan dentro de los estándares utilizados.

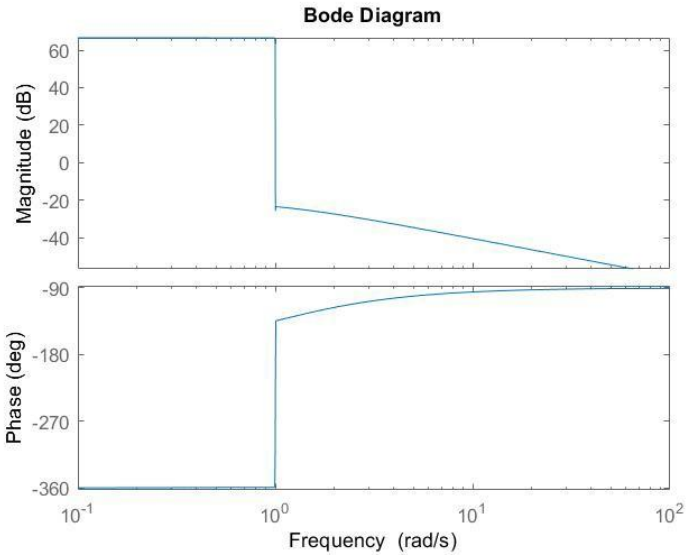

Figura 3.16: Función de transferencia (f). Fuente Autor

3.2.4. Caso de estudio en la ciudad de Cuenca-Ecuador

Zona de posible introducción

El caso de estudio se desarrolló en la ciudad de Cuenca, Ecuador y se basa en el uso de las zonas mediante la estratificación de los suministros de categorías residencial implementada por parte de la CENTROSUR (Empresa Eléctrica Regional Centro Sur S.A.), identificando los grupos de mayor consumo como se muestra a continuación:

Tabla 3.2: Tabla de estratos

Estrato	Rango KWh / MES
Estrato 0 – 4	0 – 100
Estrato 5	101 – 120
Estrato 6	121 – 150
Estrato 7	151 – 200
Estrato 8	201 – 300
Estrato 9	301 – 500
Estrato 10	500 >

3.2.5. Histórico de ventas de VE

Mediante un histórico de las ventas efectuadas durante los últimos 4 años en el Ecuador sobre los VE's se puede predecir cuanto será el ingreso que se dará con las condiciones actuales, esto nos mostrará un punto de partida para la afectación que se presentará en las redes de distribución como en los centros de carga. Destacando que el ingreso de los VE se dará de manera lenta si las políticas en la disminución de impuestos y exoneración de ciertos aranceles no se aplican.[5] Cada una de las curvas comprenden los años desde el 2016 hasta el 2019 como se observa en la figura 3.17:

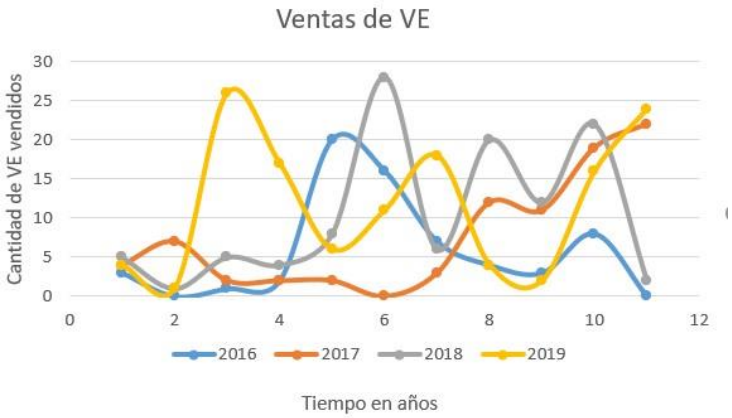

Figura 3.17: Ventas de VE. [5]

3.2.6. Escenarios de ingreso de VE

A través de openstreetmap y de Matlab, se seleccionó una zona de la ciudad de Cuenca donde se desarrolló un algoritmo que permita ubicar los usuarios y cómo se dará el ingreso aleatorio de los VE's durante el proceso de carga.

Una vez seleccionada el área de trabajo, comprendida en el sector de la ciudadela de Los Ingenieros se podrá destacar que posee una buena ubicación para el ingreso de VE's al tener mayor cantidad de viviendas visibles para el análisis como se observa en la figura 3.18:

Figura 3.18: Zona de estudio (Autor)

Se ha desarrollamos el código que genera de manera aleatoria la introducción de VE's donde se encuentran las viviendas, además muestra donde estan ubicados los transformadores, dividiéndolos en zonas más pequeñas para una mejor percepción de los espacios como se observa en la figura 3.19:

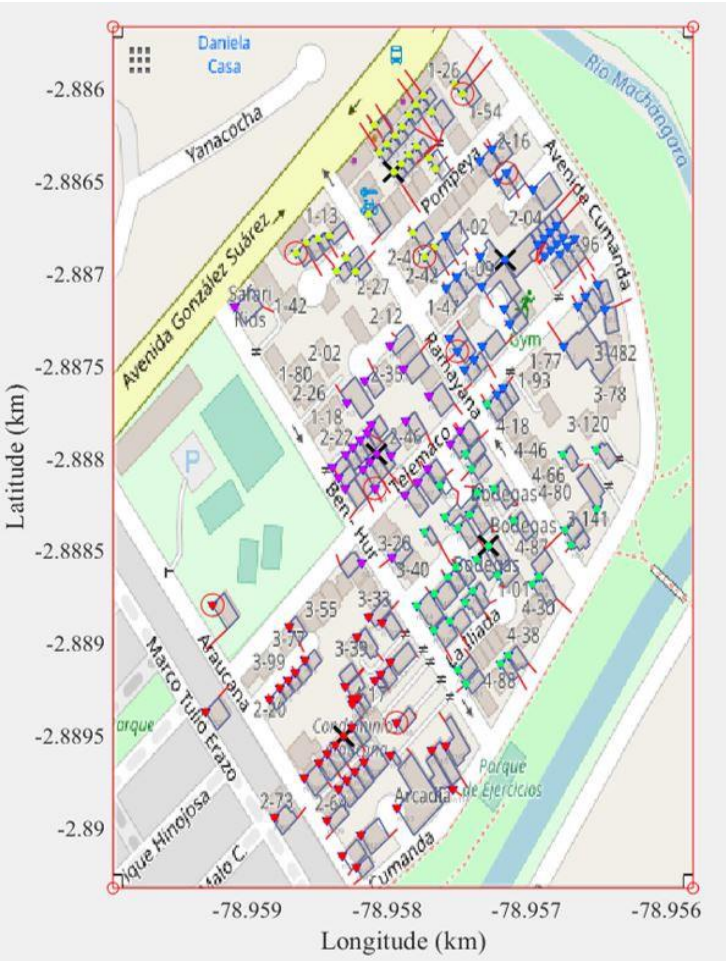

Figura 3.19: Usuarios con posible ingreso de VE (Autor)

En la figura 3.20 se observa detalladamente como se pinta con un círculo las viviendas que están ingresando a recargar el VE, este análisis se desarrolló para un periodo comprendido de 5 años.

Con esta información pasamos a simular un ingreso de manera aleatoria de los VE y el impacto que generarán los armónicos durante el proceso de recarga.

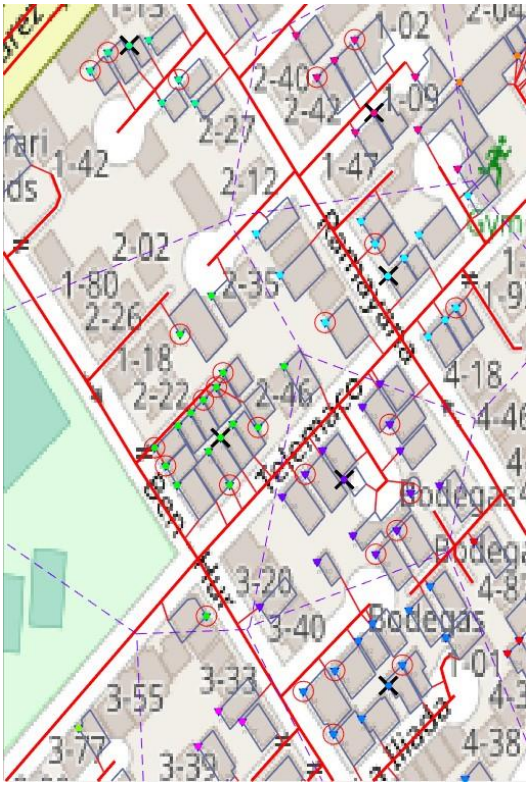

Figura 3.20: Usuarios conectados (Autor)

3.2.7. Estudio de la Calidad del transformador

El transformador analizado es de 75 kVA, el cual posee una carga predominantemente de tipo residencial, compuesto por 25 usuarios conectados y con tendencia a adquirir VE, la figura 3.21 muestra el perfil de demanda a lo largo de una semana.

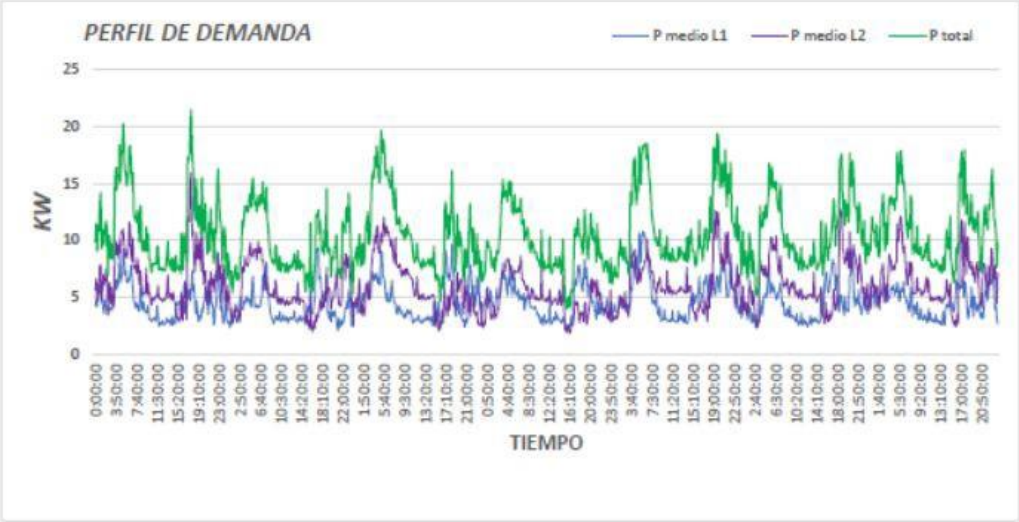

Figura 3.21: Demanda del transformador

3.3. Análisis de los índices de calidad

Se analizaron los datos registrados durante el proceso de carga, cumpliendo con lo establecido por la regulación del ARCERNNR 002/20, mientras que para reforzar lo estudiado se analizó lo correspondiente a las normativas como la IEEE Std. 1159 y IEC 61000-2-2.

Los valores pertenecientes al cumplimiento se muestran en varias tablas de todos los registros dentro de los límites establecidos, teniendo un mínimo del 95 %, para que sea considerada como buena de acuerdo a la norma de calidad de energía.

3.3.1. Niveles de voltaje de la red de distribución

En la figura 3.22 se aprecian los niveles de voltaje de la línea 1, línea 2, del registro de datos correspondiente a la medición de calidad de energía del transformador, estos valores para el cumplimiento de la norma deben estar dentro del +-8% (137.16 - 116.84V) para que no se excedan los niveles de la fundamental (127V).

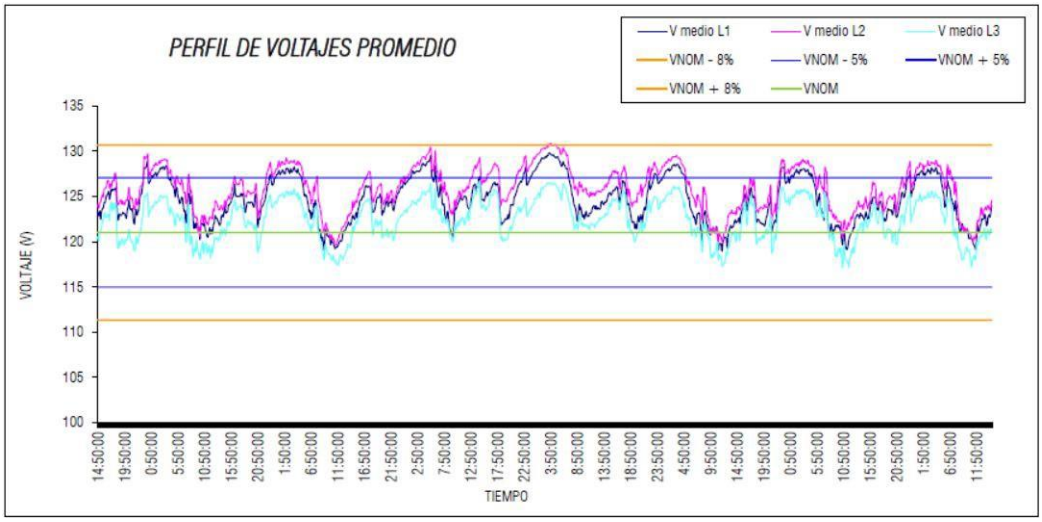

Figura 3.22: Perfil de voltaje sin la inclusión del VE

En la Tabla 3.4 se observa los datos estadísticos registrados, donde se constata que los valores de la norma del ARCERNNR se cumple con el 100 % de los registros dentro del rango admisible de voltaje.

Tabla 3.3: Nivel máximo de voltaje sin la inclusión VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	129,78	130,86
Valor mínimo	118,93	119,64
Media	124,58	125,89
Porcentaje de cumplimiento	100 %	100 %

En la figura 3.23, los valores de voltaje al introducir la carga del VE, no superan los límites tanto inferior como superior, esto se muestra a lo largo toda la toma de carga como se ve a continuación

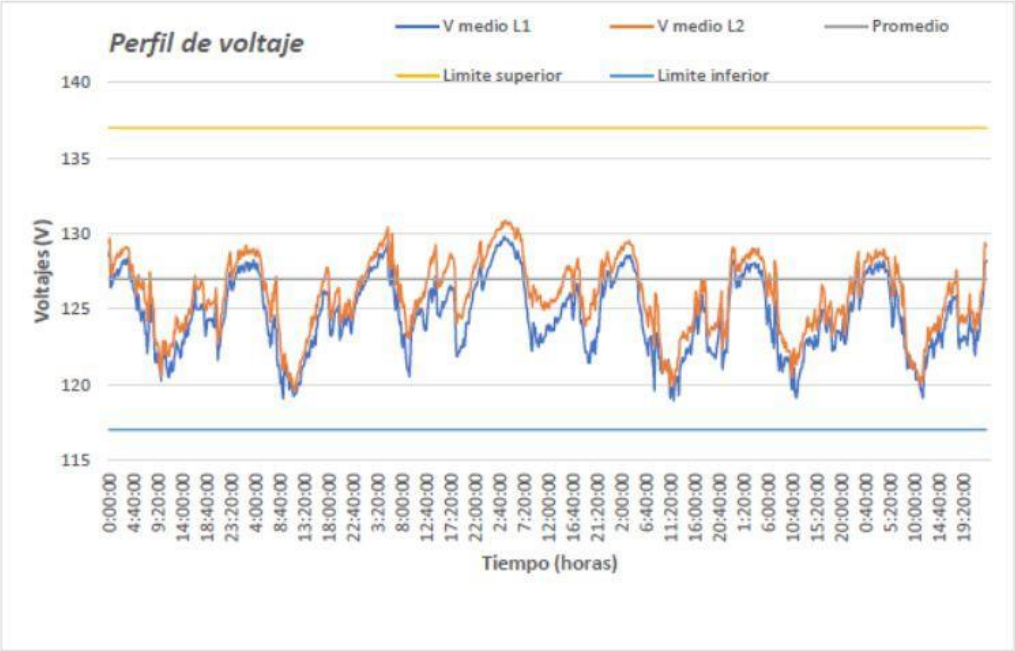

Figura 3.23: Perfil de voltaje con la inclusión de un VE a la red de distribución eléctrica

En la Tabla 3.5, se constata que los valores de la norma del ARCERNNR, con la inclusión de un VE a la red de distribución eléctrica cumplen al 100 % el rango admisible de voltaje.

Tabla 3.4: Datos de los niveles máximos de voltaje con el ingreso de un VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	128,444	128,627
Valor mínimo	120,778	123,518
Media	124,566	126,0226
Porcentaje de cumplimiento	100 %	100 %

Los niveles de voltaje cumplen con las normas tanto la ARCERNNR 002/20 como la IEEE 519.

3.3.2. Distorsión armónica de voltaje

La Figura 3-24, muestra la evolución temporal del THDV, donde se aprecia que los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma del ARCERNNR, la cual indica que estos valores no deben exceder el 8%. La calidad de energía, se considera dentro de los límites al encontrarse superior al 95% de los valores registrados para el THD de voltaje.

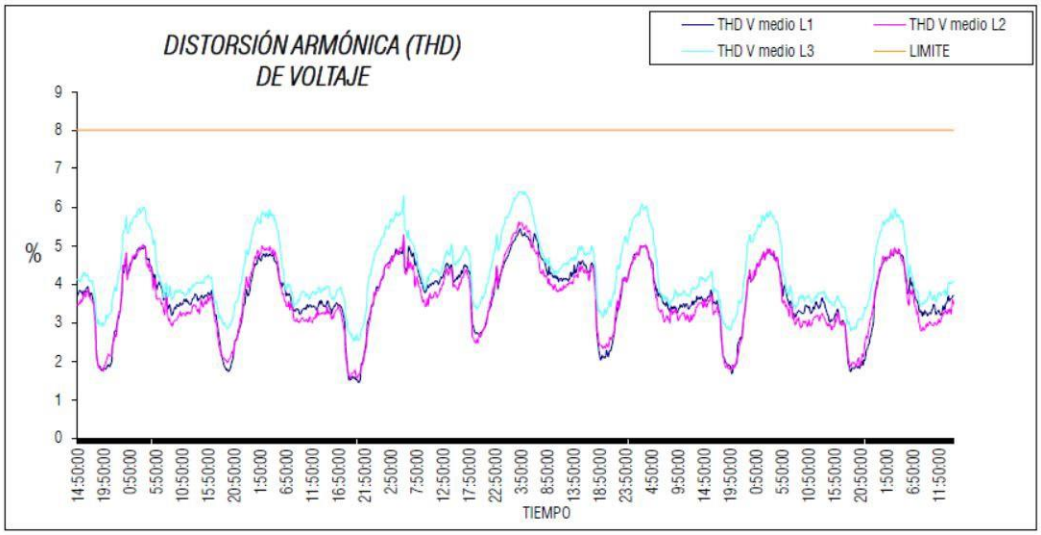

Figura 3.24: THD de la red de distribución eléctrica

En la Tabla 3.6, los valores del THD no sobrepasan el valor mínimo del 8%.

Tabla 3.5: THD de voltaje sin la inclusión del VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	5,44	5,61
Valor mínimo	1,44	1,56
Media	3,68	3,58
Porcentaje de cumplimiento	100%	100%

Como se aprecia en la Figura 3-25, la evolución de la distorsión armónica

de voltaje (THD) luego del ingreso del VE, se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma, la cual no excede el 8 %.

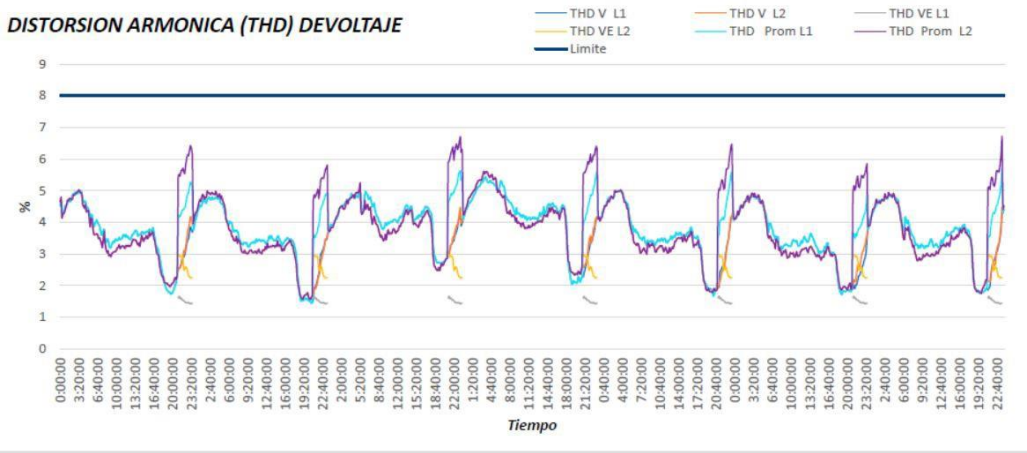

Figura 3.25: THD voltaje con inclusión de un VE a la red de distribución eléctrica

En la Tabla 3.7 los valores del THD se mantiene dentro de los valores establecidos por la norma.

Tabla 3.6: THD de voltaje con la inclusión de un VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	5,44	5,61
Valor mínimo	1,44	1,56
Media	3,68	3,58
Porcentaje de cumplimiento	100 %	100 %

Los niveles de THD no superan el porcentaje establecido del 8 % que establecen las normas tanto la ARCERNNR 002/20 como la IEEE 519.

3.3.3. Distorsión armónica de corriente

La Figura 3-26, representa la evolución temporal del THDi, donde se aprecia, que los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma y si exceden el 15% que corresponden con el cumplimiento.

Para este caso el transformador analizado sin la inclusión del VE, supera los valores establecidos.

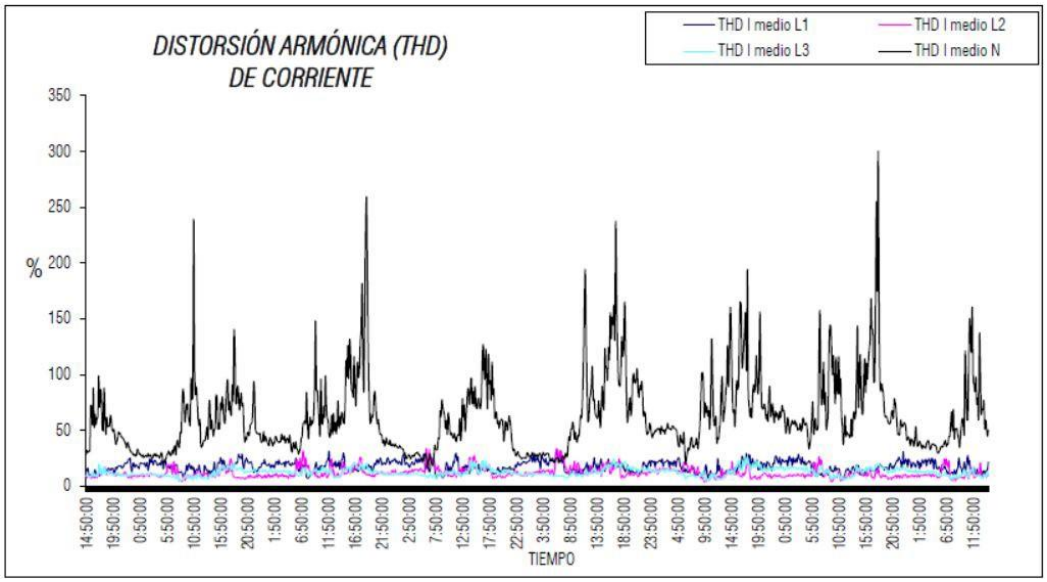

Figura 3.26: THD de corriente sin la inclusión del VE

Tabla 3.7: THD de voltaje sin VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	32,2	33,5
Valor mínimo	5,53	3,75
Media	17,3997619	11,85978175
Porcentaje de cumplimiento	46.58%	44.77%

La Figura 3-27, representa la evolución temporal de la distorsión armónica

de corriente (THD), con la inclusión de un VE, donde se aprecian, que los valores, exceden el 15 % que corresponden con el cumplimiento.

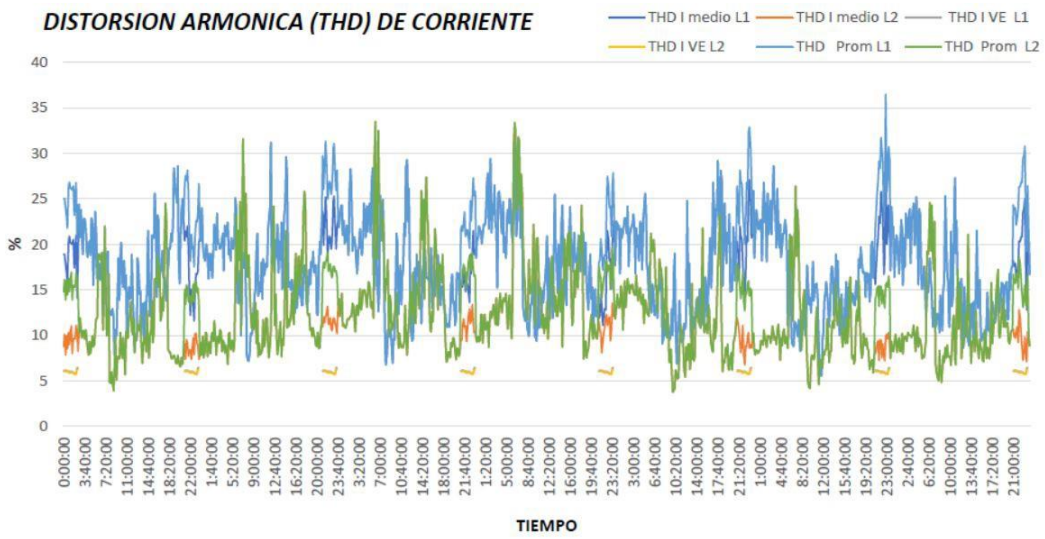

Figura 3.27: THD de corriente con la inclusión del VE

Tabla 3.8: THD de voltaje con la inclusión del VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	32,2	33,5
Valor mínimo	5,53	3,75
Media	17,3997619	11,85978175
Porcentaje de cumplimiento	46.58 %	44.77 %

3.4. Escenarios de análisis

Para el caso de estudio se analiza un ingreso masivo de VE's en un centro de carga, este cumplirá con la característica de ser un estudio real, bajo la consideración que el transformador de 75 kVA analizado está localizado en la zona donde se efectúan las mediciones, la zona de estudio fue seleccionada según

el número de viviendas residenciales con un alto potencial de adquisición de VE's, el transformador corresponde a una empresa de distribución, una de sus principales características es el perfil de carga el cual es mayormente residencial, este puede ser elevado debido a que la zona de estudio corresponde a un sector con un alto crecimiento domiciliario correspondiente en demanda.

Para el estudio de la calidad de energía del transformador, la medición se realizó durante 7 días continuos cumpliendo con la norma del ARCERNNR 002/20. Con los datos obtenidos, pasamos a analizar el THD de corriente y de voltaje, en un horario valle que beneficia el consumo en demanda que soporta la red, esto se realizó para un ingreso del 10%, 15% y 25% de carga, considerando la mejor opción para la recarga del VE.

3.4.1. Segundo caso de análisis

La Figura 3-28, representa la evolución temporal de la distorsión armónica de corriente (THDI). El análisis del ingreso de los VE's hacia el transformador se lo dio mediante el algoritmo de ingreso, para el primer análisis correspondiente al segundo año de ingreso de los VE's, se dio una recarga de 3 VE's que corresponde al 10% de abonados conectados al transformador, de lo cual se puede destacar que, los valores de THD I, no superan el 15%, recomendado por la norma.

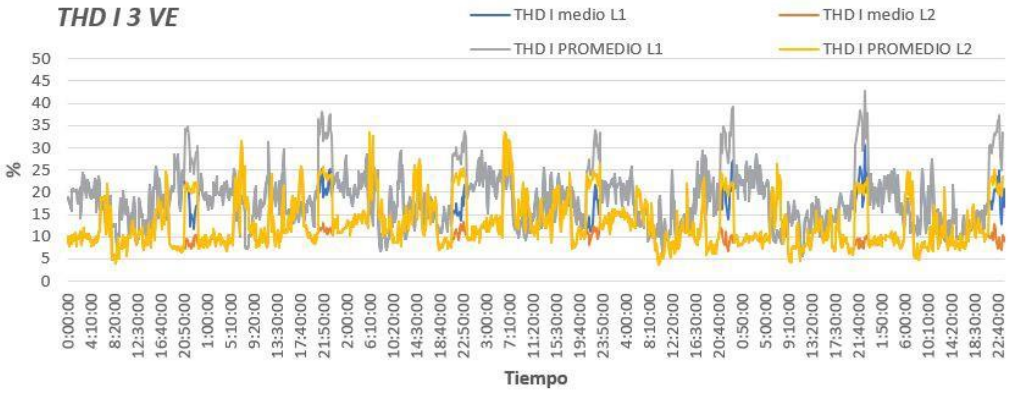

Figura 3.28: THD de corriente con la introducción del 10% de VE's

En la Tabla 3.10, se comprueba que los valores medidos cumplen con la nor-

ma del ARCERNNR 002-20, presentan un cumpliendo del 81%, del rango admisible de corriente.

Tabla 3.9: THD de corriente con 3 VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	42.88	33.5
Valor mínimo	5.53	3,75
Media	18,71	13,15
Porcentaje de cumplimiento	73%	81.5%

Los niveles de THD I, son superados a lo largo del estudio para el segundo año de análisis con valores hasta el 71% en determinados momentos de la carga, superando lo establecido por la norma del ARCERNNR 002-20.

La Figura 3-29, representa la evolución temporal de la distorsión armónica de voltaje (THD), donde se observa, que los valores exceden el 8% que corresponde con el cumplimiento de la norma.

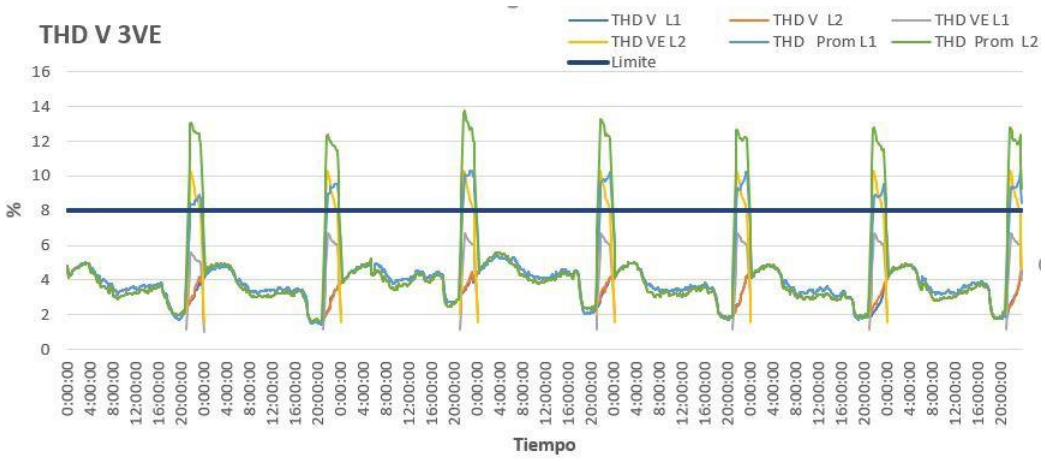

Figura 3.29: THD de voltaje con la introducción del 10% de VE (Autor)

En la Tabla 3.11, los datos registrados, con la inclusión del VE, cumplen con el 90% del rango admisible de voltaje

Tabla 3.10: THD de voltaje con 3 VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	9.44	9.61
Valor mínimo	1.44	1.56
Media	3.68	3.58
Porcentaje de cumplimiento	90%	90%

3.4.2. Tercer caso de análisis

Para el tercer año el ingreso de VE's en la zona de estudio, será de 5 VE's.

En la Figura 3-30, se muestra la evolución temporal de la distorsión armónica de corriente (THD), para el caso del ingreso de un 15% de VE, que corresponden al total de abonados del transformador, donde se aprecia, que los valores superan los límites establecidos por la norma.

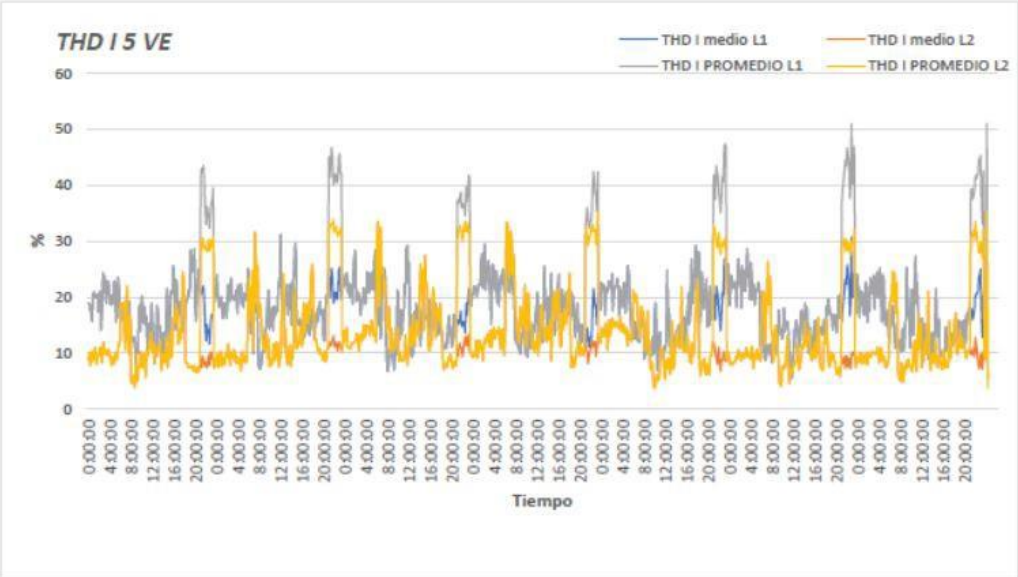

Figura 3.30: THD de corriente con la introducción del 15% de VE (Autor)

En la Tabla 3.12, los valores registrados con la inclusión del VE cumplen con

el 80% del rango admisible de corriente.

Tabla 3.11: THD de corriente con 5 VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	51	35
Valor mínimo	5,53	3,75
Media	19,59	14,02
Porcentaje de cumplimiento	64%	80%

Los niveles de THD I, son superados a lo largo del estudio, con valores de hasta el 51% en determinados momentos de la carga, superando lo establecido por la norma del ARCERNNR 002-20.

En la Figura 3-31, se aprecia que los valores registrados superan los límites, corresponientes al 8%.

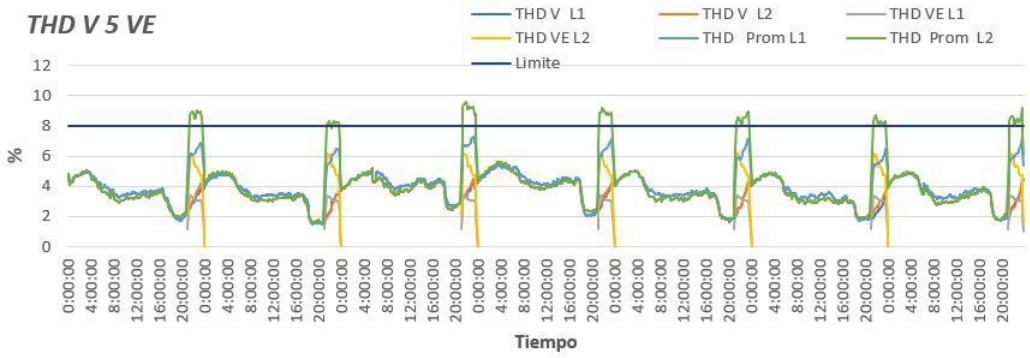

Figura 3.31: THD de voltaje con la introducción del 15% (Autor)

En la Tabla 3.13, los datos estadísticos registrados con la inclusión del VE, cumplen con el 100% del rango admisible de voltaje.

Tabla 3.12: THD de voltaje con 5 VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	14.33	21.27
Valor mínimo	1.44	1.56
Media	4.71	5.33
Porcentaje de cumplimiento	75%	45%

3.4.3. Cuarto caso de análisis

Para el caso correspondiente al cuarto año se simuló un ingreso de 10 VE para el transformador, realizando el análisis tanto para el THD de corriente como de voltaje, como se puede observar en la Figura 3-32, la evolución temporal de la distorsión armónica de corriente (THD I), muestra que los valores se encuentran dentro de los límites y si exceden el 15% que corresponden con el cumplimiento de la norma .

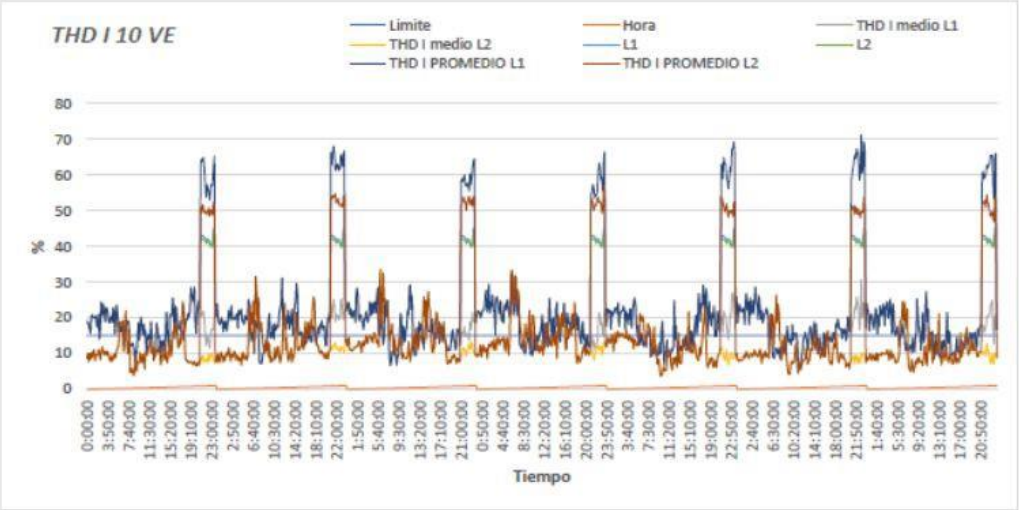

Figura 3.32: THD de corriente con la introducción del 25% (Autor)

En la Tabla 3.14, los datos estadísticos registrados con la inclusión del VE cumplen con el 64% del rango admisible de corriente.

Tabla 3.13: THD de corriente con 10 VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	71,305737	57,0147541
Valor mínimo	5,53	3,75
Media	22,11269091	16,48043054
Porcentaje de cumplimiento	46%	64%

Los niveles de THD I, son superados a lo largo del estudio, con valores hasta del 71% en determinados momentos de la carga, superando lo establecido por la norma del ARCERNNR 002/20.

En la figura 3.33 , se observa que los valores de voltaje al introducir la carga de 10 VE, superan los límites, esto se muestra a lo largo de toda la toma de carga como se muestra a continuación

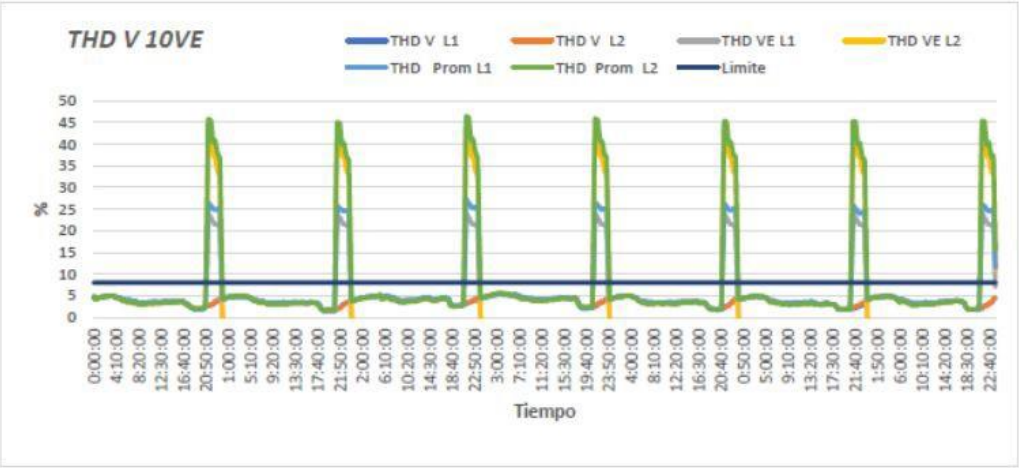

Figura 3.33: THD de corriente con la introducción del 25% (Autor)

En la Tabla 3.15, los datos estadísticos registrados con la inclusión de 10 VE, cumplen con el 75% y el 45% segun la norma del ARCERNNR

Tabla 3.14: THD de voltaje con 10 VE

Niveles	L1	L2
Valor máximo	42	47
Valor mínimo	1.44	1.56
Media	4.71	5.33
Porcentaje de cumplimiento	75%	45%

3.5. Análisis del impacto en demanda mediante la introducción del VE

Se simula el ingreso de varios VE, para lo cual se parte del perfil de carga de un usuario modelo más la suma en distintos horarios del VE.

3.5.1. Perfil de carga residencial

Para la selección del perfil de carga del usuario, se parte de la obtención de su carga tipo, analizando a los distintos tipos de abonados que se encuentran en la ciudad, definiendo así el estrato 7, corresponde a las características de usuario que se buscaban, con un rango que oscila entre los 150 a 200 KWh / mes. Dado a que este constituye la mayor cantidad de clientes.

Es así que se obtiene la siguiente figura.

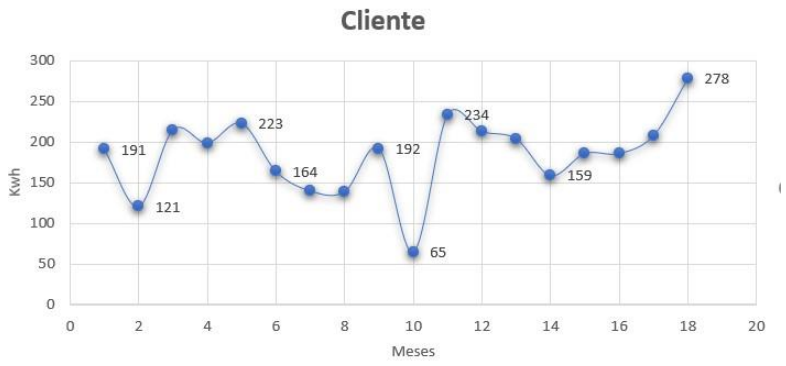

Figura 3.34: Ejemplo de Consumidor estrato 7. (Autor)

3.5.2. Perfil de carga de un consumidor promedio

Los perfiles de los consumidores residenciales, comerciales e industriales se pueden apreciar a continuación en la figura 3.35. Cabe mencionar que los perfiles obtenidos son datos obtenidos de diferentes sectores de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

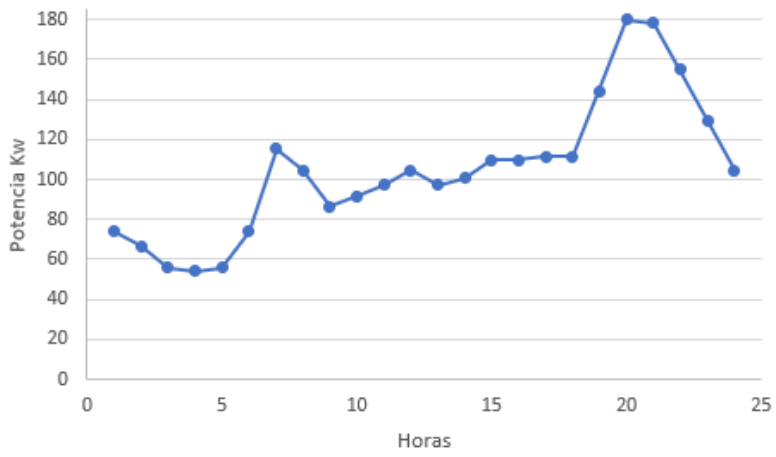

Figura 3.35: Curva de consumo promedio diario residencial. (Autor)

En la figura 3.36 se puede apreciar el perfil tanto industrial como comercial.

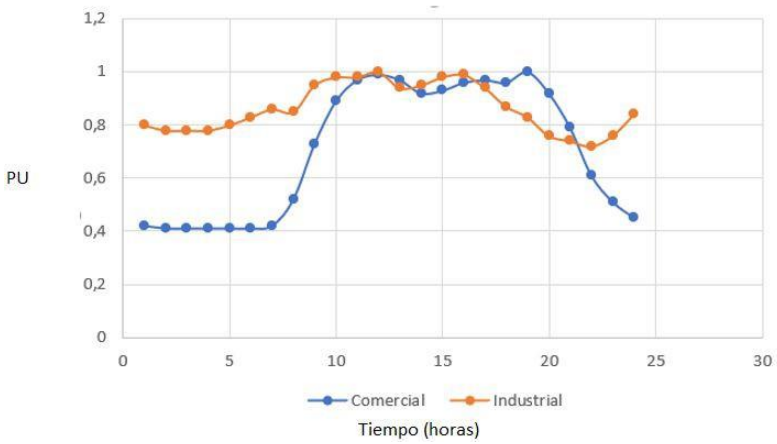

Figura 3.36: Ejemplo de cliente comercial e industrial. (Autor)

3.5.3. Curvas y tiempo de carga de las baterías

Una vez realizada la toma de datos y contrastando con las diferentes curvas de los VE que se encuentran actualmente en venta en el país, se obtiene los siguientes modelos de VE: Kia, Nissan y Renault; la curva representa la energía requerida para recargar sus baterías de 0 a 100 %, como se destaca en la figura 3.37.

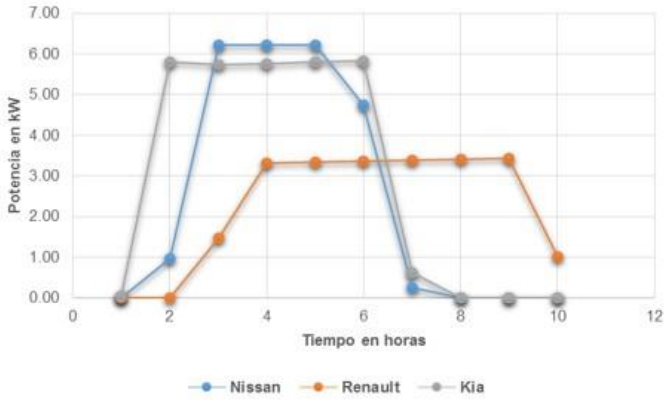

Figura 3.37: Perfil de carga de los VE de prueba. [2]

3.5.4. Curva desplazada de carga de VE

Después de determinar el tipo de usuario se obtuvo la curva de recarga de los VE, estos datos fueron tomados durante un año de muestras y se consiguió la siguiente curva de un año.

En el siguiente análisis se obtiene los resultados evolutivos del impacto de los VE en un período de recarga de 24 horas, como se muestra en la figura 3.38.

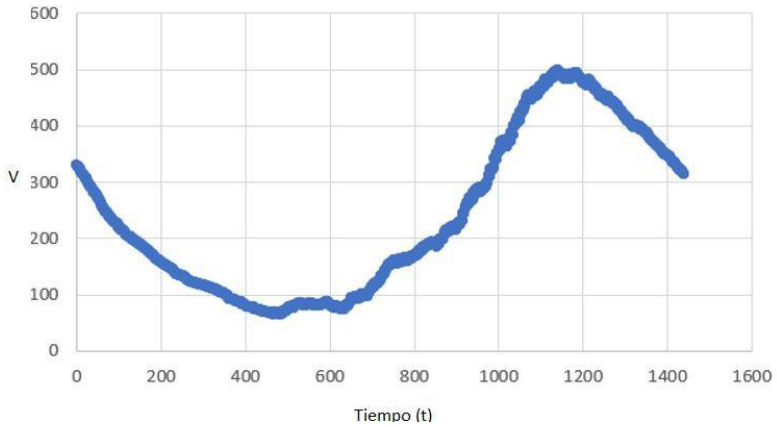

Figura 3.38: Curva recarga VE.[elaboración propia]

En la figura 3.39, se aprecia las distintas formas de recargar un VE a lo largo del día, se aprecia el comportamiento de una recarga en un día, otro aspecto que influye durante la recarga del VE, es cuando su carga es inferior al 50 %, generando un mayor tiempo de vida útil de las baterías, se puede apreciar que al variar la curva de carga, se puede aliviar el estrés que supondrá el ingreso de los VE.

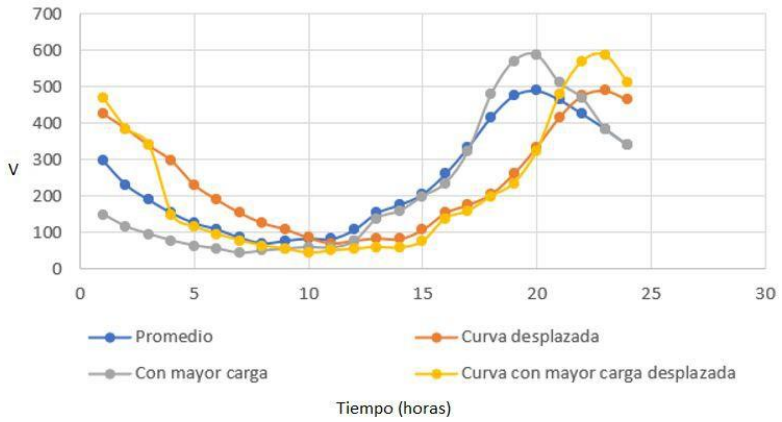

Figura 3.39: Curva desplazada. (Autor)

3.5.5. Curva de carga del transformador

Para el caso de estudio, se parte de la selección de varios transformadores con una capacidad de 75 KVA, obteniendo sus curvas de carga.

Luego se calcula la curva promedio de los distintos transformadores que poseen en su mayoría a usuarios de una estratificación denominada 7, este estrato es tomado como punto de referencia para analizar la evolución de la afectación del ingreso de los VE en zonas donde se podrá incursionar de forma masiva en el uso de vehículos eléctricos en el cantón Cuenca.

Como se puede evidenciar en la siguiente curva del transformador durante un periodo de 24 horas.

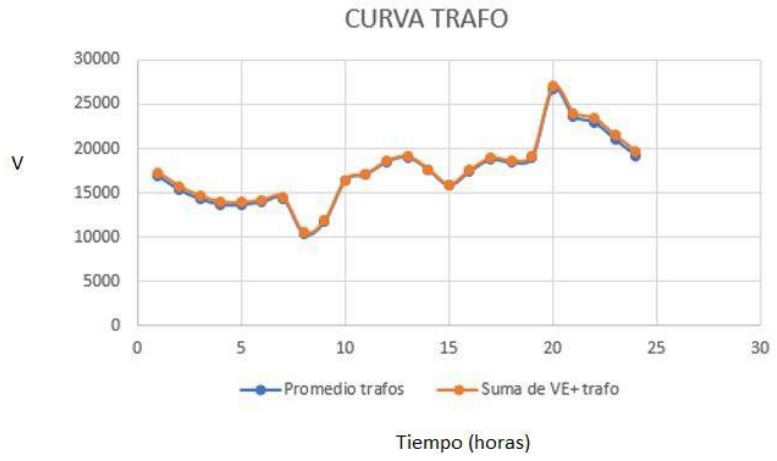

Figura 3.40: Curva del transformador. (Autor)

3.5.6. Incorporacion del VE al transformador

Al realizar la simulación del transformador, se debe tomar como referencia el factor de coincidencia, para lo cual se aplican escenarios con un factor de coincidencia y tres escenarios de introducción durante la hora valle, porque si se introduce durante la hora pico el transformador no soportará su ingreso. A continuación, se describen los diferentes escenarios:

Escenarios

1 Escenario con un 5 % de introducción.

2 Escenario con un 10 % de introducción.

3 Escenario con un 50 % de introducción.

Obteniendo los siguientes resultados, al introducir un solo VE correspondiente al primer escenario, se observa que no se presenta una afectación al transformador, para el segundo escenario al introducir 5 VE, se observa que el incremento es sumamente leve y no representa una afectación que supere sus parámetros de funcionamiento.

Mientras que para el tercer escenario de ingreso con 25 VE, se evidencia un incremento mayor en la demanda del transformador.

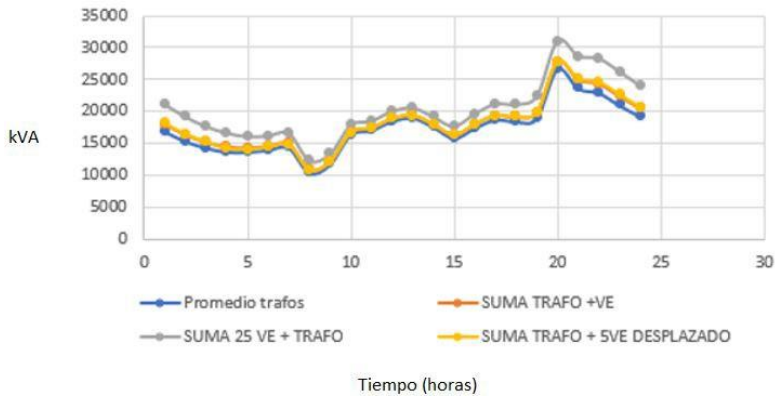

Figura 3.41: Incorporacion del VE al transformador. (Autor)

3.5.7. Muestra de VE en distintas horas

Para el análisis se analizó un transformador de 75kVA, que al momento del estudio constaba de 25 abonados, para los distintos escenarios que se desarrollaran se planteó un ingreso del 5, 10, 15% de VE, correspondiente a los 25 abonados, en el que se plantean 3 escenarios en distintas horas de recarga a lo largo del día, donde se analizaran los cambios en la curva de carga del trasformador, tanto para el horario pico, valle y una mezcla a lo largo del día.

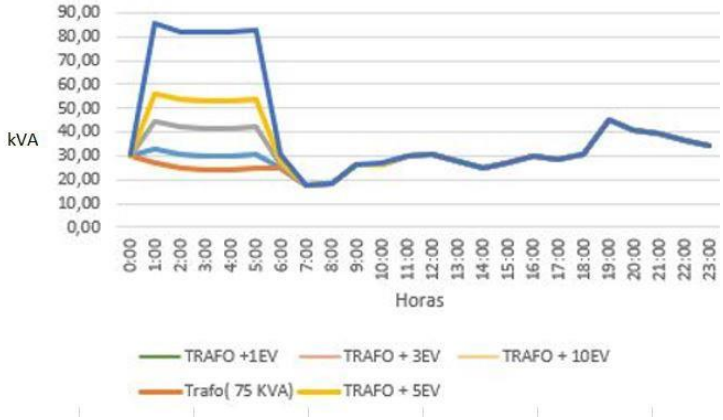

Figura 3.42: Ingreso masivo vehículos eléctricos en hora valle (Autor)

Durante la recarga en horario pico se constataron los incrementos al introducir a recargar 1, 5, 10 VE, se observó que el peor escenario es el ingreso de 10 VE, donde se supera en un 7% la capacidad máxima del transformador, estos escenarios se dieron para recargas simultaneas

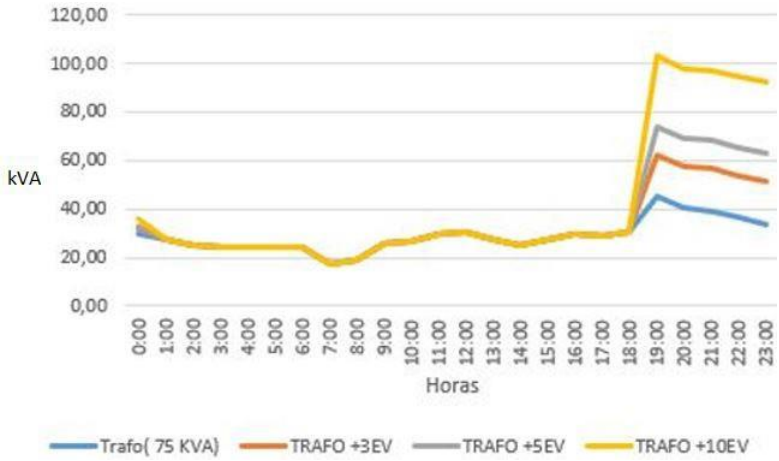

Figura 3.43: Ingreso masivo vehículos eléctricos en hora pico (Autor)

Dado el comportamiento de los usuarios, el ingreso de los VE puede ser una

opción que se presente cotidianamente y dicha acción no supera los límites de carga del transformador estudiado al estar repotenciado.

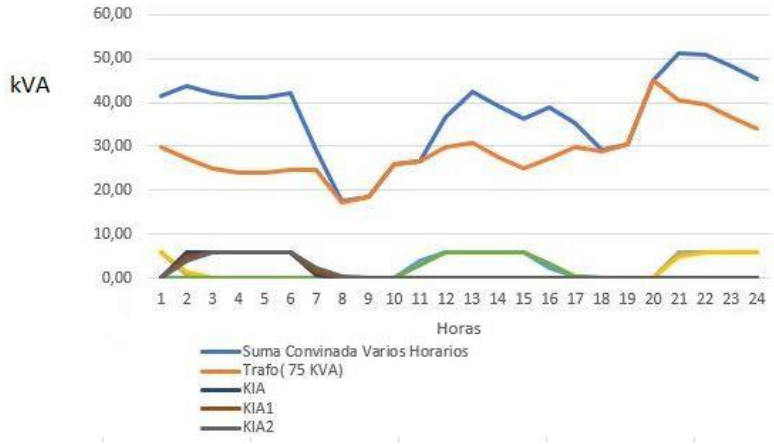

Figura 3.44: Ingreso masivo vehículos eléctricos en distintos horarios (Autor)

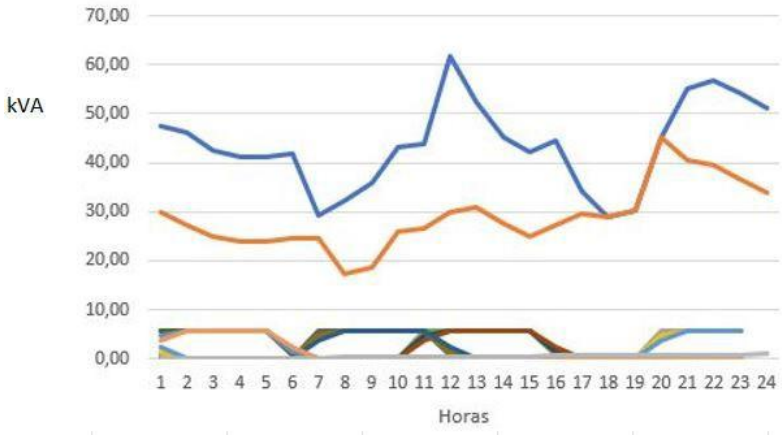

Figura 3.45: Ingreso masivo vehículos eléctricos en distintas horas (Autor)

Capítulo 4

Análisis y resultados

4.1. Introducción

El presente capítulo, describe una síntesis de los resultados obtenidos y las soluciones planteadas.

4.1.1. Análisis de resultados

En la sección 3.1.1 se realizó la toma de datos correspondiente a la recarga del VE, destacando que, durante pequeños intervalos de **"7 segundos"**, se da un incremento en el rango armónico establecido por la norma de la ARCERNNR **002/20**, las recargas están dentro de los rangos preestablecidos, como se evidencia en la figura 3.13.

Modelo de recarga

Por medio de Matlab, se obtuvo, el modelo matemático de la curva de carga, el cual permitió evidenciar el cumplimiento de los valores armónicos, como se muestra en la ecuación 1. Además, se obtuvo la función de transferencia y se modeló el diagrama de Bode.

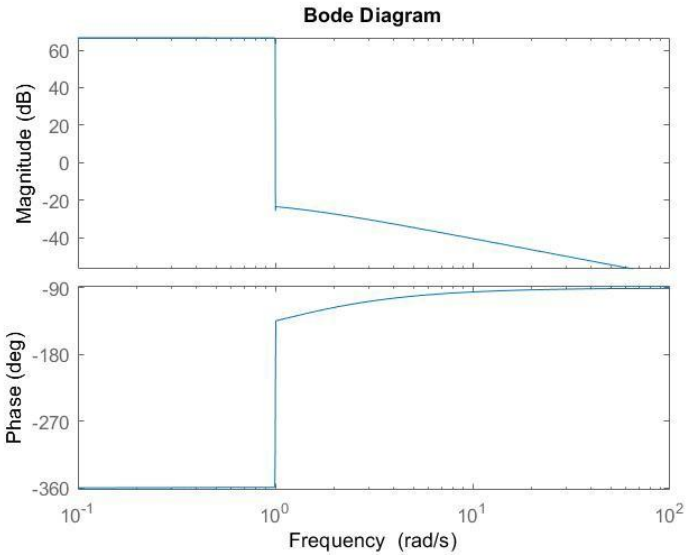

Figura 4.1: Función de transferencia (f). Fuente Autor

4.1.2. Problema introducción de los VE, en centros de recarga

En la actualidad la introducción de VE no ha evidenciado un despunte de ventas, debido a que las políticas fomentadas no se han aplicado aún; como es el caso del transporte público, lo que pone en entredicho los planes por parte del gobierno dado a que la flota de buses eléctricos deberá modernizarse según la ley que está en vigencia.

El sistema eléctrico nacional, en gran medida se encuentra repotenciado; soportando así la incorporación de los VE.

En el capítulo 3, se ha planteado que la recarga de los VE, se realice durante el horario valle, que va desde las 10 pm hasta las 6 am, beneficiando de esta manera a la red eléctrica, y a la vida útil de los equipos que la componen.

Modelo de recarga

Se plantearon varios escenarios, en los que se destaca que, si la recarga de los VE se da durante el horario pico, el impacto en la carga del transformador será elevado, por esta razón se tendrá un impacto negativo en la red, incrementando la generación de energía no renovable, para cubrir determinados intervalos de tiempo, siendo la mejor opción la gestión de carga, y limitando el acceso a recargar según la capacidad de cada uno de los transformadores. En la figura 4.2 se observa la curva desplazada de la inclusión del VE.

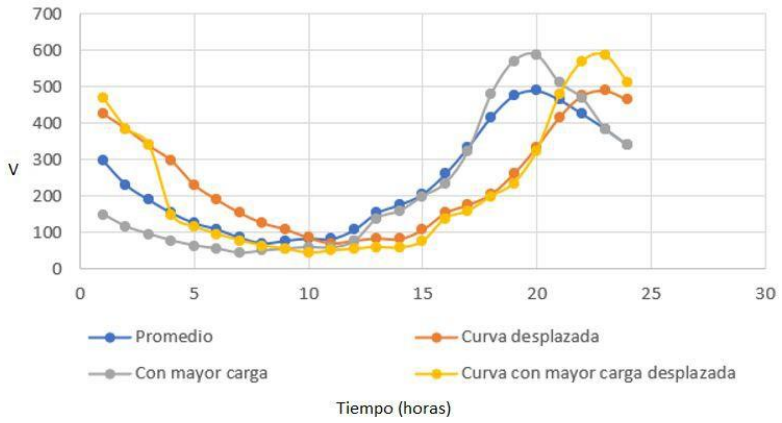

Figura 4.2: Curva desplazada. (Autor)

Con la incorporación de varios usuarios (1, 3, 5, 10) que recargan su VE, en el transformador modelo y tomando en consideración el criterio de factor de coincidencia, se presentó un incremento desproporcionado de los armónicos, por lo que se recomienda que las cargas se den en horarios, donde no exista una demanda elevada en el transformador, como es el horario valle que va desde las 10pm hasta las 6am, dado a que en la actualidad no existe un control en el ingreso de los VE. Como se aprecia en la figura 4.3 se muestra en ingreso de varios vehículos en distintos horarios.

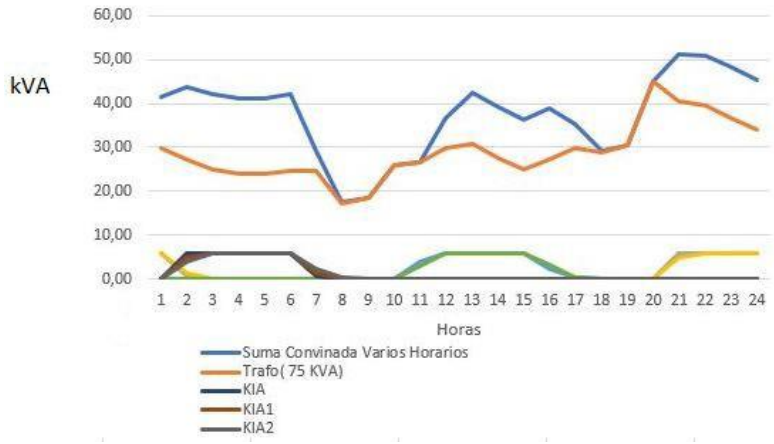

Figura 4.3: Curva dia (Autor)

Indicadores de calidad

Con los datos registrados, se puede decir que el ingreso masivo de VE, no presentará una afectación en la red de distribución y en los equipos que la comprenden; se determinó que el grado de afectación armónica incrementa al ingresar un vehículo eléctrico, para el caso de la conexión tipo 1, si las cargas no están bien balanceadas estas afectaran al transformador, debido al desbalance de cargas.

En el modo 2 que fue el caso estudio, se constató que las cargas no afectan a la red dado a que la cantidad de armónicos que se devuelven son suprimidos en gran medida, dado a que se sobreponen con los armónicos de otros equipos y no generan un impacto en las redes de distribución.

En la actualidad el impacto que provocara un ingreso masivo de VE sobre los parámetros técnicos de la red de distribución, tiene una alta incertidumbre, dado que no se posee mucha información, sobre las recargas de las baterías y el aumento de temperatura en los conductores.

Los armónicos de grado impar (3,9,15), son causados por recargas principalmente monofásicas, mientras que el 5 armónico, presenta un incremento que provoca un aumento en la temperatura de los conductores.

Los valores que se comprobaron según la ARCERNNR 002/20 son:

1 Distorsión armónica de voltaje.

   La distorsión de voltaje no afecta a la red eléctrica en la recarga de un VE, esto se verificó durante el período de muestreo y de simulación desarrollado. Mientras que para el ingreso de los distintos escenarios se supera el THD V, pasado el tercer año.

2 Nivel de voltaje.

   El nivel de voltaje no se supera durante la recarga del VE, para el caso de estudio los valores se encuentran en 6%, mientras que la norma estipula un 8% como máximo, como se puede apreciar en la figura (3.24).

3 Perturbación rápida de voltaje (flicker)

   Los valores de flicker, varían solamente en el pico de carga, pero no se percibe dado a que esto se da por un lapso menor a 7 seg.

4 Desequilibrio de voltaje

   No varían los valores de desequilibrio, como se puede apreciar en la figura (3.25).

5 Distorsión armónica de corriente

   Durante el periodo de medición del THDi se detectó que en todo momento los valores se encuentran por encima de los límites por la regulación ecuatoriana superando el 40% de desbalance de máximo de corriente.

6 Los armónicos individuales de corriente superan el límite de la regulación en las componentes de orden impar H3 y H5, con la inclusión del VE

Para el caso del ingreso del VE, se constató que los armónicos de tensión no superan los límites establecidos por la norma, mientras que para el caso del THDi, se verifico que los armónicos 3ero y 5to superan los límites fijados por la norma provocando una afectación a la red.

Capítulo 5

Conclusiones

- Se pudo verificar que la calidad de la energía, se mantuvo durante el proceso de recarga de un VE, mientras que, al momento de realizar la introducción masiva y aleatoria de VE, se presentó una afectación a la red, como se cotejó en los indicadores de calidad, constatando los límites dados por la regulación.

  Apreciando que los sistemas de filtrado, que se encuentran tanto en los VE como en sus cargadores, cumplen una serie de protocolos, que hacen que la calidad del producto y de la energía se mantenga dentro de los indicadores, basado en las normas IEC e ISO que el VE incorpora durante los diferentes tipos de recarga.

- Los protocolos para una correcta gestión energética deben basarse, primero en capacitar a los usuarios acerca de los beneficios que se tendrá al realizar una recarga en horario valle (de baja demanda), lo que representará un ahorro monetario para los consumidores, además este tipo de acciones fomentarán el aplanamiento de la curva de carga. Otro aspecto es el devolver en las planillas de energía los valores de excedentes de energía que sean inyectados a la red, para el caso especial del vehículo eléctrico o desde otra fuente de alimentación que favorezca la generación distribuida; finalmente el sistema de gestión debe tener como respaldo los protocolos de seguridad, que deben primar hacia el usuario y siempre con el aval de ingenieros certificados por la empresa distribuidora, para así tener instalaciones de calidad, para momentos de contingencia que garantice un uso óptimo de la red.

- Al momento la infraestructura que se tiene en el país respecto a puntos de carga no abastece un ingreso masivo de VE, esto se evidencia tanto en instituciones públicas como privadas quienes no han apostado por esta tecnología, lo que dificulta que las personas deseen adquirir los VE, al no tener suficientes lugares para poder realizar recargas en casos de desplazamientos mayores a lo previsto o en situaciones de cotidianidad, otro de los aspectos que ha complicado una introducción masiva son los elevados costes que tienen de los vehículos, y la falta de garantías respecto a las baterías que hace que las personas no deseen hacer la migración a esta tecnología, como alternativa para mitigar los efectos de la contaminación que se están viviendo en la actualidad.

- El impacto generado por distorsion armónica, durante un periodo de recarga, demostró que la cantidad armónica de corriente y tensión que se inyecta a la red, está siendo controlada con mucha eficacia por parte de los distintos filtros que están a la entrada del vehículo como en el cargador, esto hace que no presente un contenido, que supere los estándares dados por la ARCERNNR 002/20; debido a que los estándares de control que la mayoría de marcas posee, se encargan de disminuir las perturbaciones que se devuelven a la red, esto se aprecia claramente en las recargas tanto lentas como semi rápidas, esto varía si se da un ingreso masivo de los VE.

- Se determinó que, si se da un proceso de recarga durante horas pico, el sistema presentará afectaciones, este escenario se dió a partir del ingreso de más de 10 VE, donde se apreció el crecimiento de la curva de carga del transformador, por lo que se debe poseer un sistema de recarga diferenciado, y que analice el estado de la cargabilidad de la red, para así poder escoger bajo qué condiciones el transformador podrá soportar durante horas pico un ingreso masivo, en nuestro estudio, se constató que al realizar una recarga de un solo VE en un transformador este no presentará una afectación en su curva de carga, mientras que, si se realiza este mismo procedimiento, en el ingreso de 25 VE al transformador se presentará una afectación considerable durante las horas pico.

  Por lo anterior se recomienda, dar un seguimiento de cuantos VE posee cada uno de los transformadores, evitando de esta manera un desbalance o una afectación negativa a las condiciones técnicas de operación de la red.

- Una aplicación del sistema de gestión, es dar una correcta utilización a los VE, fomentado el correcto uso de la energía, durante horas que impacten en la administración y producción de la energía, como es el caso de sistemas de medición inteligente, encargándose del ingreso de los VE al momento en el que, el sistema se encuentre estable y sin superar los niveles permitidos de cargabilidad del transformador, aplanando la curva de demanda.

- Las políticas implementadas respecto al ingreso de los VE en el Ecuador al momento no fomentan una introducción masiva debido a que no brindan incentivos respecto a beneficios tributarios pues estos no exoneran del pago de impuestos por su adquisición, lo que ha disminuido el interés en adquirir un VE, el gobierno debe promover que cada vez los vehículos sean más eficientes y usen energías limpias. Los nuevos vehículos, deberán tener niveles máximos de producción de CO2, para que por medio de estas políticas los que no cumplan con estas medidas estén obligados a pagar impuestos que sean utilizados en la remediación ambiental de una manera transparente

  Esta tesis contribuye con la evaluación de la afectación que podría provocar la distorsión armónica en una creciente penetración de los VE en redes de distribución residencial, todo esto se logró con el pronóstico de manera aleatoria de las cargas al sistema.

Capítulo 6

Glosario

ARCERNNR La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables -ARCERNNR- (inició sus actividades el 1 de julio de 2020), en su función asumida de administrador del Sistema Único de Información Estadística del Sector Eléctrico, recopila información estadística del sector eléctrico ecuatoriano a través del sistema “Sistematización de Datos del Sector Eléctrico -SISDAT-“.

CENTROSUR La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A..

CNEE Comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE),..

DAQ DAQ es el proceso de medir un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable..

Matlab Abreviatura de MATrix LABoratory, «laboratorio de matrices» es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio.

Origin Origin es un entorno para analizar datos y generar gráficos técnicos. Contiene todo lo necesario para analizar información y maquetar los resultados de un estudio o una investigación. Ofrece una interfaz intuitiva de usar que permite análisis avanzados y personalizados para usuarios.

Permite crear plantillas para tareas repetitivas así como realizar operaciones por lotes desde la interfaz de usuario, sin necesidad de programación. Permite importar datos de otras aplicaciones tales como MatlabTM, LabVIEWTM o MicrosoftÓ Excel o crear rutinas personalizadas dentro de Origin utilizando lenguaje C, funciones NAG, Python o R..

PLANEE Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador..

SGEn Sistema de gestión Energética.

VE Vehículos eléctricos.

Bibliografía

[1] S.Medina, “Análisis del impacto de vehículos eléctricos en las redes de distribución del cantón Cuenca El proyecto técnico se basa en un análisis del impacto que tendrán los VE en las redes de distribución del cantón Cuenca, mediante un estudio de comparación y selección de un sector específico para su estudio y con la implementación del programa R"se realiza una base de datos para efectuar un.., year = (dic-2016).”

[2] Cenace, “Balance Energético Nacional,"Ministerio Coordinador de Sectores Estratégico,” vol. 2020, pp. 27–74, year 2020. [Online]. Avai- lable: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/ 09/Balance-Energe%CC%81tico-Nacional-2020-Web.pdf

[3] F. 435, “ Fluke 435,” *FLUKE*. [Online]. Available: https://www.fluke.com/ es-ec/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435

[4] N. NI, “ USB-6211 Dispositivo de E/S Multifunción,” *National Instrument*. [Online]. Available: https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6211. html

[5] AEADI, “ Asociación Ecuatoriana Automotriz del Interior AEADI,” *AEADI*, vol. 62, p. 6, Octuber 2021. [Onli- ne]. Available: https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/12/11. -Sector-en-Cifras-Ingles-Resumen-Noviembre.pdf

[6] ARCERNNR, “Regulacion ARCERNNR 002/20,” *RESOLUCIÓN NRO. ARCERNNR-017/20*, p. 8, year 2020. [Online]. Availa- ble: https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/ downloads/2021/01/Regulacion-002-20.pdf

[7] S. Flores, “ Aspectos de sustentabilidad y sostenabilidad social y ambiental,” vol. IV, pp. 27–77, 2013-2022. [Online]. Available: https://www.

regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf

[8] S.X.Medina and M.Merchan, " Short term forecast for electri vehicles integration in Cuenca — Ecuador,"2017 Congreso Internacional de Innovacion y Tendencias en Ingenieria (CONIITI)," *doi: 10.1109/CONIITI*, vol. 2, pp. 1–6, 2017. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8273337/authors#authors

[9] A. de Paris, " Requirements analysis of operation monitoring for electric vehicle in transportation industry." *Naciones Unidas*. [Online]. Available: https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris

[10] L. O. D. E. ENERGÉTICA, " LEY ORGÁNICA DE EFI- CIENCIA ENERGÉTICA," vol. IV, pp. 1–380, 2019. [Online]. Available: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf

[11] J. Caicedo, "APORTE METODOLÓGICO A LA EVALUACIÓN DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN RESIDENCIAL, CONSIDERANDO LA PENETRACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS," *Georgia tech*, 2018.

[12] Bas, "Residential Harmonic Loads and EV Charging," *Georgia tech*, 2018.

[13] IEEE, " IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard II59-1995," *IEEE*. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/1159-2019.html

[14] IEEE., " IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Standard 519," *IEEE*. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/519-2014.html

[15] S. G. P. Rafael and D. David, "Balance Energético Nacional,"Ministerio Coordinador de Sectores Estratégico."

[16] L. O. D. Eficiencia, " Ley Orgánica De Eficiencia, Asamblea Nacional del Ecuador," *Asamblea Nacional*, vol. 1, pp. 1–8, 2019.

[17] Endesa, " Gestor de Carga. Jornada técnica de Movilidad Barcelona," *Universidad de Barcelona*, vol. 1, pp. 1–8, 2017. [Online]. Available: http://docplayer.es/8012909-Gestor-de-carga-jornada-tecnica-de\ protect\begingroup\immediate\write\@unused\def\ MessageBreak˙\let\protect\edefYoumayprovideadefinitionwith\ MessageBreak\DeclareUnicodeCharacter\errhelp\let\def\ MessageBreak˙(inputenc)\def\errmessagePackageinputencError: Unicodecharacterˆ(U+0002)\MessageBreaknotsetupforusewithLaTeX. ˙˙Seetheinputencpackagedocumentationforexplanation.˙TypeH<return> forimmediatehelp\endgroupmovilidad-barcelona-25-de-enero.html

[18] C. M. Julián A. Gómez-Gélvez, "Incorporacion de Vehiculos eletricos en Latinoamerica ," vol. 1, 2020.

[19] W. E.Armijos, "Analisis de Consumo Energetico del Vehiculo Elctrico KIA SOUL para la Utilizacion del Sistema de Calefaccion y Audio en la Ciudad de Cuenca."

[20] G.Cueva, ".Análisis de factibilidad de implementación de buses 100% eléctricos (EBuses) para impulsar la movilidad sostenible en el sistema de transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito
."

[21] Balcells, "Impact of plug-in electric vehicles on the supply grid." *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008, Lille France.

[22] A. G. C. España., " Factibilidad para la integración de vehículos eléctricos al sistema de distribución eléctrico." 2015.

[23] M. R. Lumbreras, " Filtros activos de potencia para la compensación instantánea de armónicos y energía reactiva. Universitat Politècnica de Catalunya," 2006.

[24] W. L. Cong Zhu, Lin Wang and B. Li, " Requirements analysis of operation monitoring for electric vehicle in transportation industry." *Springer*, vol. In International Conference on Green Intelligent Transportation System and Safety, 2016.

[25] Servicities, " Ley Orgánica De Eficiencia, Asamblea Nacio- nal del Ecuador," vol. 1, 2020. [Online]. Available: https:

//servicities.com/buscar-proveedor/Suministros-de-Luz-Agua-y-Gas/Eficiencia-energetica

[26] M. del Ambiente, " GUÍA PRÁCTICA PARA el AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA," pp. 1–48, 2020. [Online]. Available: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/GUIA-PRACTICA-PARA-EL-AHORRO-Y-USO-EFICIENTE-DE-ENERGIA-22NovBAJAa.pdf

[27] R. Q. F, " Energía reactiva y disminución de las pérdidas en distribución de energía eléctrica. Energía. Revista de ingeniería energética y medioambiental," 1998.