



Disertación

Maestria en Ingenieria Eletrotécnica - ramo de Energía y
Automatización

***Impacto de las estaciones de carga para
vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca -
Ecuador***

JULIO ROBERTO GOMEZ PEÑA

Leiria, septiembre 2017



Disertación

Maestria en Ingenieria Eletrotécnica - ramo de Energía y
Automatización

***Impacto de las estaciones de carga para
vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca -
Ecuador***

JULIO ROBERTO GOMEZ PEÑA

Disertación de Maestría realizada bajo la co-orientación del Doctor Luis Gerardo González, Profesor del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de Cuenca – Ecuador y orientación de la Doctora Paula Sofia Castro Vide, Profesora de la Escola Superior de Tecnologia y Gestão del Instituto Politécnico de Leiria - Portugal y Doctora Natalia Gameiro, Profesora de la Escola Superior de Tecnologia y Gestão do Instituto Politécnico de Leiria – Portugal.

Leiria, septiembre 2017

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Dedicatoria

A mis padres Julio y Mariana y mi hermano Juan Carlos por su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos, inculcarme valores que me han permitido desarrollarme tanto en el campo profesional, así como en lo personal.

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Agradecimientos

A mis tutores Natalia Gameiro, Luis González, y Paula Vide por su orientación, apoyo y experiencia que han brindado para realizar esta tesis.

A la Universidad de Cuenca y al Politécnico de Leiria, que han colaborado por medio de sus docentes en la formación profesional.

A la SENESCYT por la colaboración económica, que me ha permitido realizar los estudios de cuarto nivel.

A la empresa eléctrica Centrosur por la información facilitada.

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Resumen

En la presente tesis se presenta un estudio del impacto producido al utilizar las estaciones de carga para vehículo eléctrico de forma masiva. Para ello se utilizan dos tipos de estaciones clasificadas por la IEC 61851-1 según los modos de carga, en este trabajo se analiza la estación modo 3 alimentación en AC y modo 4 alimentación DC.

Para evaluar el impacto producido por las estaciones de carga modo 3 y definidas por el estándar SAE J1772 como nivel 2, se realizó mediciones de corriente, tensión, potencia y nivel de armónicos producidos durante la recarga de las baterías del vehículo eléctrico. Estos datos son utilizados para simular la estación de carga en el software PSIM®, en el cual también se implementa un alimentador de la ciudad de Cuenca. Mediante la imposición de varios casos con diferentes números de estaciones de carga se analiza el impacto en la capacidad del sistema y en la calidad de la energía, obteniendo que la capacidad del alimentador no presenta mayor afectación, más aun tomando en cuenta que se analizó bajo las condiciones desfavorables. Desde el punto de vista de calidad no presenta afectación siendo el valor más elevado el THD_i de 6.93% y 1.36% el THD_v , valores que se encuentra por debajo de la de normativa 004/01 del ARCONEL y el estándar IEEE 519-2014.

El segundo tipo de estación estudiada es de carga rápida, para la caracterización se realiza un diseño de la estación en PSIM®, que cumpla con el estándar CHAdeMO, se utiliza dos etapas AC/DC y DC/DC cumpliendo las especificaciones de dicho estándar. Con el simulador se obtienen las mediciones de voltaje, corriente y potencia, así como el nivel de armónicos. El análisis se realiza de forma similar del caso de una estación de carga nivel 2, empleando la información de la empresa de distribución de energía local y el software CYME. Se obtuvo menor nivel de armónicos frente a la primera estación con valores de THD_i de 2.87 % y un THD_v de 0.49%, y menores comparados con otro tipo de estaciones existentes.

Por último, se evalúa como el ingreso de estas nuevas cargas modifican la curva de demanda actual, al evaluar siempre se usa las peores condiciones. El esquema tarifario ayuda a la utilización en horas de bajo consumo, sin embargo, con el objetivo de la utilización eficiente de la energía es necesario la utilización de la recarga inteligente para repartir la demanda de las estaciones en el horario de bajo consumo.

Palabras-clave: Armónicos, curva de demanda, esquema tarifario, estaciones de carga de vehículo eléctrico, recarga inteligente

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Abstract

In this thesis an impact study is presented when using the electric vehicle charging stations in a massive way. For this, two types of stations are used, classified by IEC 61851-1 according to the load modes. In this work the mode 3 AC power supply and mode 4 DC supply are analyzed.

To evaluate the impact produced by station charging with mode 3 and definitions by SAE standard J1772 as level 2, measurements of current, voltage, power and harmonics are taken during the recharge of the batteries of the electric vehicle. These data are used to simulate the charging station in the PSIM® software, in which a feeder of the distribution network of city of Cuenca is also implemented. By imposing several cases with different numbers of charging stations, the impact on system capacity and power quality is analyzed, and it is demonstrated that the capacity of the feeder is not affected. From the quality point of view, it presents no affectation, the highest value of THD_i is 6.93% and THD_v 1.36%, which are values that are below the ARCONEL 004/01 standard and the IEEE 519-2014 standard. The second type of charging station studied was fast charging.

To characterize it, the station was implemented in PSIM®, according to the CHAdeMO standard. The two steps, AC / DC and DC / DC, are used, complying with the specifications of the standard. Measurements of voltage, current and power as well as the level of harmonics are obtained using the simulator. The analysis is like the case of the level 2 charging station, using the information from the local utility and CYME software. A lower level of harmonics was obtained when compared to the first station, presenting THD_i values of 2.87% and THD_v values of 0.49%, also lower when compared to other types of existing stations.

Finally, it is evaluated how the income of these new stations chargers can modify the current demand curve, assessing it using cases always under the worst conditions. The tariff scheme promotes the use of the chargers in hours of low consumption, however, with the objective of an efficient use of the energy it is necessary the use of intelligent chargers to distribute the station loads in the moment of the low consumption.

Key-words: Harmonic, charging station, load curve, tariff scheme, Smart charging.

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Lista de figuras

Figura 2-1. Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable	6
Figura 2-2. Vehículo 100% eléctrico	6
Figura 2-3. Vehículo eléctrico de autonomía extendida	6
Figura 2-4. Modo de carga 1	7
Figura 2-5. Modo de carga 2	7
Figura 2-6. Modo de carga 3	8
Figura 2-7. Modo de carga 4	8
Figura 2-8. Conector J1772	10
Figura 2-9. Conector Mennekes	10
Figura 2-10. Conector Scame	10
Figura 2-11. Pines del conector CHAdeMO	12
Figura 2-12. Pasos del proceso de carga del vehículo eléctrico	13
Figura 2-13. Conector CCS combo 1 y 2	13
Figura 2-14. Curva típica de 100 usuarios domésticos en Reino Unido	15
Figura 2-15. Perfil de carga sin incentivos	15
Figura 2-16. Curva de carga en el escenario 2	16
Figura 2-17. Curva de carga en el escenario 3	16
Figura 2-18. Recorridos realizados antes de la instalación de la estación de carga rápida	17
Figura 2-19. Recorridos realizados después de la instalación de la estación de carga rápida	18
Figura 2-20. Estructura básica cargador rápido	19
Figura 2-21. Estructura cargador rápido	19
Figura 3-1. Ciclo de trabajo estación de nivel 2	25
Figura 3-2. Punto de conexión común	26
Figura 3-3. Transformador monofásico con toma central	28
Figura 3-4. Conexión estación de carga y usuarios en conexión monofásica	29
Figura 3-5. Conexión de la estación de carga VE y usuarios en transformador trifásico	29
Figura 3-6. Equipo para realizar las mediciones	30
Figura 3-7. Voltaje, corriente y potencia en modo stand-by	31
Figura 3-8. Armónicos de corriente en modo stand-by	31

Figura 3-9. Perfil de carga	32
Figura 3-10. Forma de onda de corriente y tensión en modo de carga	32
Figura 3-11. Armónicos de corriente medidos en modo de carga (5.5Kw)	33
Figura 3-12. Conexión y mediciones.....	34
Figura 3-13. Corriente, voltaje y potencia de entrada.....	34
Figura 3-14. Corriente, voltaje y potencia de salida	35
Figura 3-15. Estación nivel 1	36
Figura 3-16. Carga típica de la estación de carga implementada en el simulador	37
Figura 3-17. Corriente y tensión de la estación de carga de VE obtenidos en mediante simulación.....	38
Figura 3-18. Armónicos de corriente obtenidos en la simulación de la estación de carga.....	38
Figura 3-19. Ubicación geográfica Subestación No. 1	39
Figura 3-20. Simulación de una carga en el software Psim®.....	40
Figura 3-21. Parte del alimentador 0102 para el análisis	41
Figura 3-22. Formas de ondas de la corriente en la carga 5	43
Figura 3-23. Armónicos de corriente de la carga 5.....	43
Figura 3-24. Alimentador con las estaciones de carga de VE	47
Figura 4-1. Partes de la estación de carga rápida según CHAdeMO	53
Figura 4-2. DC-link	55
Figura 4-3. Esquema del convertor AC/DC	57
Figura 4-4. Filtro con topología LCL.....	58
Figura 4-5. Estrategia de control AC/DC	60
Figura 4-6. Conexión con la red.....	61
Figura 4-7. Esquema de un rectificador trifásico con PWM	61
Figura 4-8. Diagrama de control de la corriente	62
Figura 4-9. (a) Lazo de corriente de corriente directa, (b) lazo de corriente cuadratura.....	63
Figura 4-10. Lazo de control de corriente	64
Figura 4-11. Respuesta en frecuencia, ganancia de lazo (T_{id} y T_{iq}).....	64
Figura 4-12. Control de corriente en Psim® (a) corriente eje directo, (b) corriente eje cuadratura.....	65
Figura 4-13. Diagrama de bloque del control de voltaje del bus DC.....	66
Figura 4-14. Bloque de control de voltaje.....	66

Figura 4-15. Respuesta en frecuencia de la ganancia del lazo T_v	67
Figura 4-16. Bloque de control de voltaje implementado en Psim®	67
Figura 4-17. Esquema de control convertidor AC/DC	69
Figura 4-18. Alimentación al conversor AC/DC.....	69
Figura 4-19. Comportamiento dinámico del convertidor AC/DC, voltaje DC_link.....	69
Figura 4-20. Potencia activa reactiva de entrada y potencia de salida del conversor AC/DC	70
Figura 4-21. Topología del convertidor DC/DC	70
Figura 4-22. Modelo de batería de ion-litio.....	73
Figura 4-23. Modelo equivalente de DC-DC	74
Figura 4-24. Bloque de control de corriente	74
Figura 4-25. Diagrama de bode ganancia de lazo abierto (T_{iL})	75
Figura 4-26. Bloque lazo de control de voltaje	75
Figura 4-27. Diagrama de Bode control de voltaje	76
Figura 4-28. Forma de onda de corriente de entrada (SOC menor 80%).....	77
Figura 4-29. Armónicos del cargador rápido (Corriente constante)	78
Figura 4-30. Comportamiento estación de carga rápida (SOC, corriente, voltaje)	78
Figura 4-31. Forma de onda de a corriente (SOC mayor 80%)	79
Figura 4-32. Nivel de armónicos de corriente (SOC mayor 80%).....	79
Figura 4-33. Comportamiento de corriente y voltaje de salida (SOC mayor 80%)	80
Figura 4-34. Ciclo de carga de la batería	80
Figura 4-35. Objetivos por cumplirse con la estación de carga rápida	83
Figura 4-36. Ubicación según los objetivos a cumplir	84
Figura 4-37. Filtro de las zonas seleccionadas	84
Figura 4-38. Restricciones de funcionamiento	85
Figura 4-39. Consideraciones económicas	85
Figura 4-40. Impacto en la comunidad.....	86
Figura 4-41. Criterios de atractivo del lugar seleccionado.....	86
Figura 4-42. Nivel de voltaje en alimentador 0202	87
Figura 4-43. Ingreso de nivel de armónicos en CYME	88
Figura 4-44. Estación de carga rápida en el sistema de distribución.....	88

Figura 4-45. Capacidad del alimentador 0204 con la estación de carga rápida.....	89
Figura 4-46. Red analizada con el uso de la estación de carga rápida	90
Figura 4-47. Forma de onda y nivel de armónicos de corriente.....	90
Figura 4-48. Forma de onda y nivel de armónicos de voltaje	90
Figura 4-49. Formas de onda corriente de estación A	92
Figura 4-50. Formas de ondas voltajes estación A	93
Figura 4-51. Forma de ondas de corriente estación B	93
Figura 4-52. Forma de onda de voltaje estación B.....	94
Figura 4-53. Forma de onda de corriente estación C	94
Figura 4-54. Forma de onda de voltaje estación C.....	94
Figura 4-55. Ubicación de la estación de carga, sector Plaza Cívica	95
Figura 4-56. Estación de carga rápida sector Plaza Cívica (Mercado 9 de octubre)	96
Figura 4-57. Ubicación de estación de carga rápida Portal Artesanal	97
Figura 4-58. Estación de carga rápida sector San Blas	97
Figura 5-1. Reducción de la curva de demanda.....	101
Figura 5-2. Llenado de valles.....	102
Figura 5-3. Reducción del pico	102
Figura 5-4. Horario diferenciado	103
Figura 5-5. Discriminación tarifaria en función del horario de uso.	104
Figura 5-6. Ubicación de las zonas en la ciudad de Cuenca.....	105
Figura 5-7. Área de la subestación No. 1	106
Figura 5-8. Área subestación No. 3	107
Figura 5-9. Área subestación No. 4	107
Figura 5-10. Curva de carga típica, usuarios con comportamiento mayoritario comercial.....	108
Figura 5-11. Curva de carga diaria típica, con usuarios con comportamiento de tipo residencial	108
Figura 5-12. Curva de carga diaria sector industrial.....	109
Figura 5-13. Curva de demanda residencial, con uso de VE en distintos escenarios	113
Figura 5-14. Curva en sector comercial con ingreso de VE	114
Figura 5-15. Curva de carga sector Industrial con la introducción del VE	114

Figura 5-16. Tiempo de uso en el esquema tarifario de la estación de nivel 2	116
Figura 5-17. Curva de carga sector residencial con ingreso del VE con esquema tarifario	116
Figura 5-18. Curva de carga sector comercial con VE esquema tarifario.	117
Figura 5-19. Curva de carga sector industrial con esquema tarifario con el ingreso del VE.....	118
Figura 5-20. Curva de carga con ingreso del VE y carga inteligente escenario 1	119
Figura 5-21. Curva de carga con ingreso de VE y carga inteligente escenario 2.....	119
Figura 5-22. Curva de carga con ingreso de VE y carga inteligente escenario 3.....	120

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Lista de tablas

Tabla 2-1. Especificaciones del conector CHAdeMO	11
Tabla 3-1. Funciones de los contactos nivel 1 y 2 AC	23
Tabla 3-2. Comunicación de estado de la estación de carga y el vehículo eléctrico	24
Tabla 3-3. Ciclo de trabajo y capacidad de corriente	25
Tabla 3-4. Armónicos de voltaje permitidos por la norma 004/01	26
Tabla 3-5. Niveles de armónicos de voltaje permitidos	27
Tabla 3-6. Distorsión armónica de corriente.....	27
Tabla 3-7. Características de la estación de carga de VE.....	30
Tabla 3-8. Datos obtenidos de las mediciones de la estación de carga en modo de carga	33
Tabla 3-9. Medición de Potencia de entrada y salida al usar la estación de carga nivel 2.....	35
Tabla 3-10. Mediciones obtenidas al utilizar la estación de carga de nivel 1.....	36
Tabla 3-11. Datos de un tramo del alimentador 0102	41
Tabla 3-12. Número de estaciones de cargas conectadas.....	42
Tabla 3-13. Mediciones obtenidas	42
Tabla 3-14. Factor de sobre carga.....	44
Tabla 3-15. Distribución de estaciones de carga en el alimentador 0102.....	46
Tabla 4-1. Especificaciones para el cargador rápido.....	52
Tabla 4-2. Características técnicas del conversor DC/DC.....	71
Tabla 4-3. Nivel de armónicos obtenidos menor a 80%	77
Tabla 4-4. Nivel de armónicos obtenidos AC/DC, con SOC mayor 80%.....	79
Tabla 4-5. Nivel de armónicos CCL_QPC_CH_CCS.AC63	91
Tabla 4-6. Nivel de armónicos QC50	91
Tabla 4-7. Nivel de armónicos Enel	91
Tabla 4-8. Resultados cargadores rápidos en red de distribución.....	92
Tabla 5-1. Estimación de recorrido por día de los vehículos en la ciudad de Cuenca	110

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Lista de siglas

VE	Vehículo eléctrico
THD	Distorsión armónica total
I	Corriente
V	Voltaje
L	Inductancia
C	Capacitancia
R	Resistencia
IGTB	Transistor bipolar de puerta aislada
PWM	Modulación de ancho de pulso
m_a, D_q	Índice de modulación
ΔV_{dc}	Variación de tensión del DC-link
V_{DC}	Tensión del DC-link
I_{dc}	Corriente que se suministra al inversor
B_d, B_q	Ganancias sensado de corriente reactiva y activa
G_{cd}, G_{cq}	Ganancias de lazo de control para corriente reactiva y activa
G_{PWM}	Ganancia del PWM

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Tabla de contenidos

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	v
Resumen.....	vii
Abstract	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tablas	xvii
Lista de siglas	xix
Tabla de contenidos	xxi
1. Planteamiento de tesis	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Alcance.....	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
2. Generalidades	5
2.1. Introducción	5
2.2. El vehículo eléctrico.....	5
2.3. Modos de carga IEC 61851-1	6
2.4. Tipos de recargas.....	9
2.5. Conectores utilizados	9
2.6. Estaciones de carga en la red de distribución.....	14
2.7. Importancia de las electrolineras	17
2.8. Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de la carga rápida	18
2.9. Conclusiones.....	20
3. Estación de carga para vehículo eléctrico nivel 2 en la red de distribución eléctrica	21
3.1. Introducción.....	21
3.2. Estación de carga para vehículo eléctrico de uso domestico	22

3.3.	SAE J1772	22
3.3.1.	Comunicación entre el VE y la estación de carga	23
3.4.	Regulaciones Técnicas sobre Calidad de Energía Eléctrica	25
3.5.	Conexión de la estación de carga nivel 2 con la red de distribución eléctrica en la ciudad de Cuenca - Ecuador	27
3.6.	Estimación de la carga típica de una estación de carga VE nivel 2.....	30
3.7.	Estudio de eficiencia del uso de la estación de carga nivel L2.....	33
3.8.	Simulación de la carga típica de la estación de carga de vehículo eléctrico nivel 2.....	37
3.9.	Simulación de la estación de carga eléctrico en un alimentador	38
3.9.1.	Impacto en una sección del Alimentador 0102.....	40
3.9.2.	Impacto del uso de las estaciones de carga en el alimentador 0102	45
3.10.	Conclusiones.....	47
4.	Modelado de estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos, y su influencia en el sistema de distribución.....	49
4.1.	Introducción.....	49
4.2.	La estación de carga rápida.....	50
4.3.	Estándar CHAdeMO	50
4.4.	Diseño de la estación de carga rápida.....	54
4.4.1.	Convertidor AC/DC.....	54
4.4.2.	Convertidores DC/DC:.....	70
4.5.	Comportamiento del Cargador rápido.....	76
4.6.	Criterios para ubicar una estación de carga rápida	81
4.7.	Simulación en la red eléctrica de la ciudad de Cuenca	86
4.8.	Conclusiones.....	98
5.	Gestión de la demanda.....	99
5.1.	Introducción.....	99
5.2.	Demanda de la energía	99
5.3.	Estrategias de gestión de la demanda.....	100
5.4.	Incentivos Gubernamentales para la adquisición y uso del vehículo eléctrico.....	103
5.5.	Ubicación espacial del estudio (Zona geográfica de estudio).....	105
5.6.	Curvas de demanda energética en la Ciudad de Cuenca	107
5.7.	Estimación del uso del Vehículo Eléctrico en la ciudad de Cuenca.....	109

5.8.	Gestión de demanda con el ingreso del VE en la Ciudad de Cuenca ..	111
5.8.1.	Eficiencia energética.....	111
5.8.2.	Esquema tarifario	115
5.8.3.	Esquema tarifario y Carga inteligente	118
5.9.	Conclusiones	120
6.	Conclusiones Generales	123
	Trabajos futuros.....	126
	Trabajos derivados	128
	Bibliografía	132
	ANEXOS.....	137
	ANEXOS B. Datos de los consumidores del alimentador 0102	139
	ANEXO C. Cargadores conectados	141
	ANEXO D. Resultados obtenidos en el alimentador 0102 con la estación de nivel 2	142
	ANEXO E. Impact of Electric Vehicle Charging on the Distribution System in Cuenca, Ecuador	145
	ANEXO F. Estudio de eficiencia energética en la carga de vehículos eléctricos con estaciones domésticas	151
	ANEXO G. Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la curva de carga de la Ciudad de Cuenca	162

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Capítulo 1

1. Planteamiento de tesis

1.1. Introducción

En la actualidad con el continuo deterioro de la capa de ozono, en los últimos años ha venido tomando gran importancia la correcta utilización de la energía que permite el desarrollo de las distintas actividades que realiza la humanidad (industria, transporte, comunicaciones), el buscar la eficiencia energética ha venido permitiendo satisfacer las necesidades de la generación actual, sin comprometer los recursos para las siguientes generaciones.

Gran parte de energía a nivel mundial es empleada para impulsar los medios de transporte para la movilidad, los cuales actualmente en su mayoría emplean como fuente primaria los derivados de petróleo, los cuales al realizar la combustión liberan distintos gases que contaminan el medio ambiente.

Una alternativa al uso de los derivados de petróleo es el impulsar el uso de la energía eléctrica como fuente de energía para el impulsar a los vehículos, si bien la energía eléctrica no es 100% limpia, es mucho más amigable con el medio ambiente [1].

La eficiencia energética del vehículo con motor eléctrico es casi el doble que la de un vehículo con motor de combustión interna [2], con lo que también permite ser una alternativa viable económicamente.

Si bien el vehículo eléctrico (VE) presenta problemas como la autonomía, esto con el continuo avance de la tecnología va permitiendo que se pueda superar este problema, con el uso de baterías de mayor capacidad y sistemas de carga que permiten realizarlas en un menor tiempo [3].

En los últimos años el vehículo eléctrico a recibido un gran impulso y actualmente se va viendo que se uso es posible, es importante seguir analizando sus problemas y desventajas para seguir fortaleciéndolas de manera que en un futuro cercano su uso sea masificado [4].

1.2. Justificación

En la República del Ecuador se ha invertido en importantes proyectos de generación de energía eléctrica con el fin de producir energía más limpia y dejar la dependencia de las fuentes de energía basadas en el uso de los derivados de petróleo, obteniendo así un cambio en la matriz energética [5].

Con el cambio en la matriz energética también nos trae el desafío de dar un uso eficiente a esta energía, puesto que de nada nos sirve tener fuente de energía más limpias si continuamos con el uso de los derivados de petróleo para el desarrollo de las distintas actividades.

Una de las ideas que se ha venido implementado es el uso de la energía eléctrica para la sustitución del uso de gas natural como fuente de energía en las cocinas para cocción de alimentos, si bien va introduciéndose, aún no ha tenido una acogida mayoritaria. En vista de este antecedente para masificación del uso del vehículo eléctrico es importante realizar importantes estudios técnicos y sociales previos para lograr una masificación exitosa de este medio de transporte.

Este trabajo pretende realizar estudios relacionados con el impacto de la inserción de estaciones de carga en el sistema de distribución de energía eléctrica, con el fin de analizar qué problemas con lleva este tipo de cargas, y poder dar pautas para una utilización amigable con el sistema de distribución de energía eléctrica.

1.3. Alcance

Este trabajo en su primera parte mostrará una recopilación de información sobre las características de los distintos tipos de cargadores existentes para vehículos eléctricos enfocándose la carga semi-rápida y rápida que será el objeto principal de estudio.

Conociendo la característica podremos analizar cuál es el que mejor se acopla con las características del sistema de distribución, particularizando cómo caso de estudio la zona geografía de la ciudad de Cuenca – Ecuador.

Para realizar el análisis de impacto de la estación de carga conectada a un punto de la red, se realiza determinación del nivel de armónicos producidos por la estación

de carga semi-rápida y por medio de simulación del cargador rápido mediante herramientas computacionales también se determina el nivel de armónicos, haciendo casos de conexión de forma aleatoria y estudiando los peores casos, de manera de obtener su impacto sobre el sistema de distribución de energía eléctrica.

Con la información obtenida en la simulación se podrá analizar y dar recomendaciones de como mitigar los efectos que se produzcan o dar las pautas sobre cuales condiciones debería cumplir para realizar una instalación de las electrolineras buscando que se produzca el menor impacto en la red.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar el impacto de la inclusión de estaciones de carga de vehículos eléctricos en el sistema de distribución de energía eléctrica (Caso de estudio: Ciudad de Cuenca-Ecuador).

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre distintos cargadores para vehículos eléctricos existen.
- Estimar el nivel de armónicos producido por una estación de carga semi-rápida.
- Plantear escenarios que permitan determinar la afectación producida al sistema de distribución por el uso masivo de las estaciones de carga semi-rápida.
- Desarrollar un modelo que permita realizar una simulación de la estación de carga rápida permitiendo determinar el nivel de armónico producido.
- Estudiar los efectos producido con la introducción de las estaciones de carga rápida en un punto de la red.
- Analizar los datos de las simulaciones para dar criterios de solución para minimizar los distintos problemas que se presenten con la inserción de los sistemas de cargador vehicular.

- Analizar los posibles cambios que se producen en la curva de demanda típica de la ciudad de Cuenca.
- Plantear estrategias para minimizar la afectación de a curva de demanda.

Capítulo 2

2. Generalidades

2.1. Introducción

Con la popularización que está alcanzando el vehículo eléctrico, es importante conocer los conceptos básicos sobre él, así como los aspectos que involucra su uso, es por esto por lo que en este capítulo se presenta ideas generales acerca del vehículo eléctrico, y los aspectos relacionados para realizar la recarga de baterías como son los conectores utilizados, los niveles de tensión, corriente y potencia en cada modo y grado de comunicación. Así también se da a conocer los problemas y fortalezas que se presentan con la utilización de forma masiva de los vehículos eléctricos.

2.2. El vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico es aquel que para moverse emplea total o parcialmente un motor eléctrico, el cual se encuentra alimentado por baterías que se cargan mediante la red eléctrica. Existen 3 tipos de vehículos eléctricos:

PHEV (Vehículos Eléctricos Híbridos Enchufables): Emplean un motor de combustión interna y un motor eléctrico generalmente de imán permanente. El motor de combustión interna se emplea para la marcha normal, mientras el motor eléctrico es usado en bajas velocidades y en adelantamientos. Las baterías se recargan mediante la frenada regenerativa y también mediante la conexión de la red eléctrica, como se puede observar en la Figura 2-1.

EV (Vehículos 100% eléctrico): con sigas en español VE, utilizan únicamente la energía de las baterías para impulsar al motor eléctrico. En la Figura 2-2 se aprecia los componentes principales de un VE los cuales son un conector para realizar la carga de las baterías, motor eléctrico para impulsar el VE, el VE puede contar con sistema de frenos regenerativos los cuales también recargan la batería.

EREV (Vehículos Eléctricos de autonomía extendida): Presentan las características de un VE, se diferencia ya que posee un motor térmico el cual gira un

número constante de revolución para producir electricidad con el objetivo de alimentar el motor eléctrico y recargar la batería, el esquema de este tipo de vehículo se aprecia en la Figura 2-3.

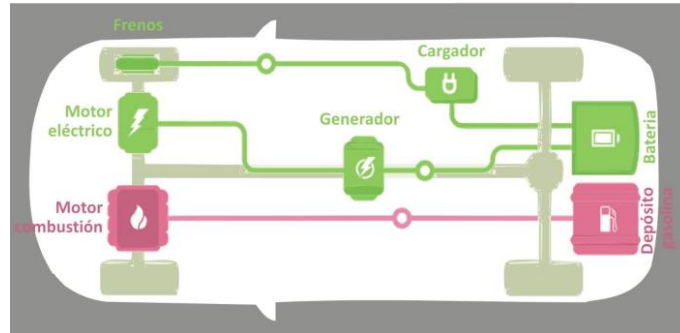


Figura 2-1. Vehículo Eléctrico Híbrido Enchufable [6]

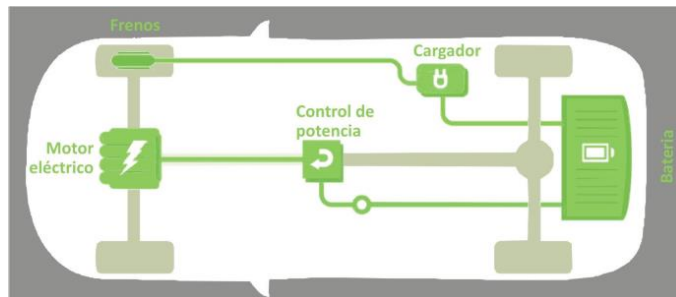


Figura 2-2. Vehículo 100% eléctrico [6]

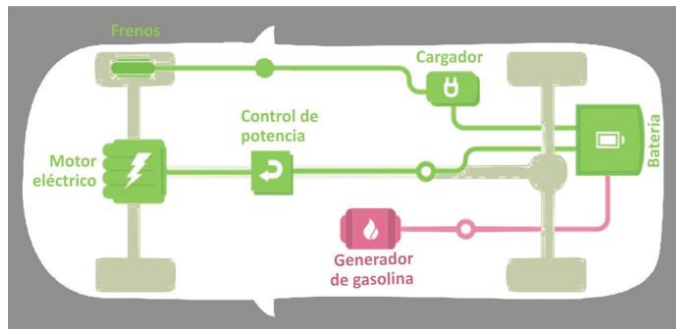


Figura 2-3. Vehículo eléctrico de autonomía extendida [6]

2.3. Modos de carga IEC 61851-1

El modo de carga hace referencia al nivel de comunicación que existe entre la estación de carga y el vehículo eléctrico teniendo así 4 modos los cuales están bajo la norma internacional IEC 61851-1 [7], [8] teniendo así:

Modo 1 (AC): La recarga se realiza en una toma de corriente monofásica, en la red tenemos un enchufe convencional, la cual es normalizada pero no es para uso exclusivo de los VE. Soporta una corriente máxima de 16 A y una tensión de 250 V, con una potencia máxima de 3.7 kW. Existe también una variante de este modo a trifásico con una tensión máxima de 400 V y hasta 11 kW de potencia máxima. En el lado del vehículo se tiene un conector específico que puede variar según el fabricante. Este modo de carga es usado para vehículos eléctricos pequeños como bicicletas ciclomotores. En la Figura 2-4 se presenta un VE y un conector de este modo.



Figura 2-4. Modo de carga 1

Modo 2 (AC): al igual que en el modo 1 no cuenta con una toma de corriente de uso exclusivo con la red, pero tiene un sistema de protección incluido en el cable, el cual posee un piloto de control entre el vehículo y la conexión, así también cuenta con un sistema de protección diferencial. La intensidad máxima usual de 16 A en teoría se puede llegar hasta 32 A, con potencia similares a la del modo 1, existiendo también una variante en sistema trifásico con tensión de 400 V y potencia de 22 kW. En el lado de la red se tiene una toma típica doméstica y en VE se tiene un conector el cual depende de su fabricante, siendo los más usados Mennekes y SAE J1772, los cuales cuenta con al menos una toma destinada para comunicación entre el VE y la red, siendo esta usada como piloto el cual indica la correcta conexión del conector. En la Figura 2-5 se tiene una ilustración del VE y el cargador utilizado en este modo.



Figura 2-5. Modo de carga 2

Modo 3 AC: En este modo se emplea un terminal de recarga, el cual dispone de un sistema de alimentación específico para el VE, con funciones de control y protección del lado de la instalación fija. Tiene a capacidad de monitorizar la carga y cortar el suministro cuando no detecta el VE conectado. Este modo soporta una corriente máxima de 63 A siendo el más común 32 A con niveles de tensión máximo de 250 V. En la Figura 2-6 se muestra el modo 3 donde se observan las particularidades ya descritas de este modo.



Figura 2-6. Modo de carga 3 [8]

Modo 4 CC: El vehículo eléctrico se conecta a la baja tensión a través de una estación de carga, la cual convierte la corriente AC en DC para entregar al VE. Tiene la función de protección y control. Los conectores del lado vehículo utilizados principalmente son el CHAdeMO, el CCS combo o el SAE J1772 con pin extra para DC. Este es un modo rápido con corrientes de hasta 400 A y una potencia máxima de 240 kW, con niveles de tensión máximo de 480 V. En la Figura 2-7 se presenta el modo de 4.



Figura 2-7. Modo de carga 4

2.4. Tipos de recargas

La clasificación de tipos de recargas se realiza basándose en el tiempo que le toma realizar una carga completa del VE [9].

Recarga super lenta: con una corriente máxima de 10 A. la carga puede demorar más de 12 horas.

Recarga lenta: conocida también como convencional, con corriente máxima de 16 A y potencia de hasta 3.6 kW.

Recarga semi-rápida: soporta hasta potencia de 22 kW, con tiempo de carga entre una hora cinco horas.

Recarga rápida: La potencia que demanda es de 44 a 50 kW. El tiempo de carga es de 22 a 25 minutos para tener el 80% a 90% de la batería cargada.

Recarga ultra-rápida: se considera experimental con potencia de carga muy elevadas en un tiempo de cinco a diez minutos.

2.5. Conectores utilizados

Actualmente no existe un consenso entre los fabricantes de vehículos eléctricos sobre cual conector utilizar por lo que existen varios conectores que varían en sus tamaños y propiedades en el anexo A se tiene un listado de las marcas de vehículos y los conectores que utilizan. En la norma IEC 62196 de conectores y clavijas para vehículo eléctrico se encuentran los más utilizadas que se detallan a continuación.

Tipo 1: SAE-J1772 es un estándar americano y adoptado por los japoneses y aceptados por la Unión Europea, conocidos también como yazaki. Con norma IEC 62196-2, soporta una corriente máxima de 16 A para carga lenta con una potencia de 1.92 kW y 80 A para carga rápida con potencia de 19.2 kW, en nivel 1 de estación de carga de 120 V y nivel 2 de 240 V. Es usado en modo de carga 3. En la Figura 2-8 se presenta el conector J1772.



Figura 2-8. Conector J1772 [10]

Tipo 2: O Mennekes con estándar IEC 62196-2 es una alternativa propuesta por los alemanes homologado como estándar europeo, también optado por los norteamericanos como ejemplo de esto tenemos el tesla que utiliza este conector para carga lenta. Este conector permite cargas lentas en monofásico, y en trifásico teniendo potencias desde 3.7 kW hasta 44 kW. El conector se lo presenta en la Figura 2-9.



Figura 2-9. Conector Mennekes [10]

Tipo 3: También conocido como Scame, creado en el 2010 por la asociación EV plug Alliance, que está integrada por Schneider Electric, Legrand, Scame. Solo se usa en Italia y Francia, con lo que cae en desuso. Posee 5 o 7 bornes para corriente monofásica o trifásica respectivamente tierra y comunicaciones con la red. Soporta hasta 32 A usado en carga semi-rápida. La Figura 2-10 se indica el conector.



Figura 2-10. Conector Scame

A nivel de carga rápida se cuenta con:

CHAdeMO: Fue el primer método de carga rápida en el mundo, desarrollado por los fabricantes japoneses en el 2010, las empresas Toyota Motor Corporation, Nissan Motor Co.Ltd., Mitsubishi Motors Corporation, Fuji heavy Industries Ltd., and Tokyo Electric Power Company Inc. forman CHAdeMO Association.

Este estándar no solo se encuentra en vehículos eléctricos de fabricación japonesa también se manufacturan en otras regiones del mundo como ejemplo tenemos el Peugeot modelo ION o el Citroën modelo c-ZERO. Además, en estados Unidos, Europa y Japón desarrollan cargadores con especificaciones CHAdeMO. Actualmente CHAdeMO es el único que ha desarrollado un certificado del sistema de carga eléctrica que permite la interoperación entre el vehículo eléctrico y el cargador, actualmente se ha certificados a 233 modelos de estaciones de carga [11].

El 32% de los vehículos eléctricos en el mundo están equipados con el conector CHAdeMO, el 19% vehículos eléctricos son de la marca Tesla los cuales son compatibles utilizando un adaptador Tesla CHAdeMO, y el 21% de los vehículos híbridos enchufales son compatibles con CHAdeMO [11].

Actualmente el carga rápida el conector con más estaciones a nivel mundial es el CHAdeMO con un total de 13918 a nivel mundial distribuidas con 4052 en Europa, 7133 en Japon, 2146 en USA,y en otros lugares 587 [11].

Para la comunicación entre el vehículo y el cargador utiliza el protocolo de comunicación bus CAN, con el fin de saber los requerimientos de corriente y voltaje requeridos para realizar la carga. Las especificaciones son definidas por CHAdeMO pero también cumplen con el estándar IEC 62196-3. Siendo las características principales las de la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Especificaciones del conector CHAdeMO

Conector CHAdeMO	
Corriente máxima	120 A DC
Voltaje máximo	500 V DC
Potencia máxima	50 kW
Corriente máxima (sistema de control)	7 A (DC)
Voltaje máximo (sistema de control)	12 V (DC)
Protocolo de comunicación	CHAdeMo
Nivel IP	44

El conector CHAdeMO cuenta con 10 pines como se puede observar en la Figura 2-11, de los cuales 2 son dedicados para la transferencia de corriente continua a la batería, específicamente el pin 6 y 5. El pin 8 y 9 son usados para la comunicación

bus CAN. El pin 1, 2,4,7 y 10 son pines de control, cuyas funciones son el 2 y 10 dar señales de secuencia, el 7 dar señal de proximidad y el 1 es señal de tierra.

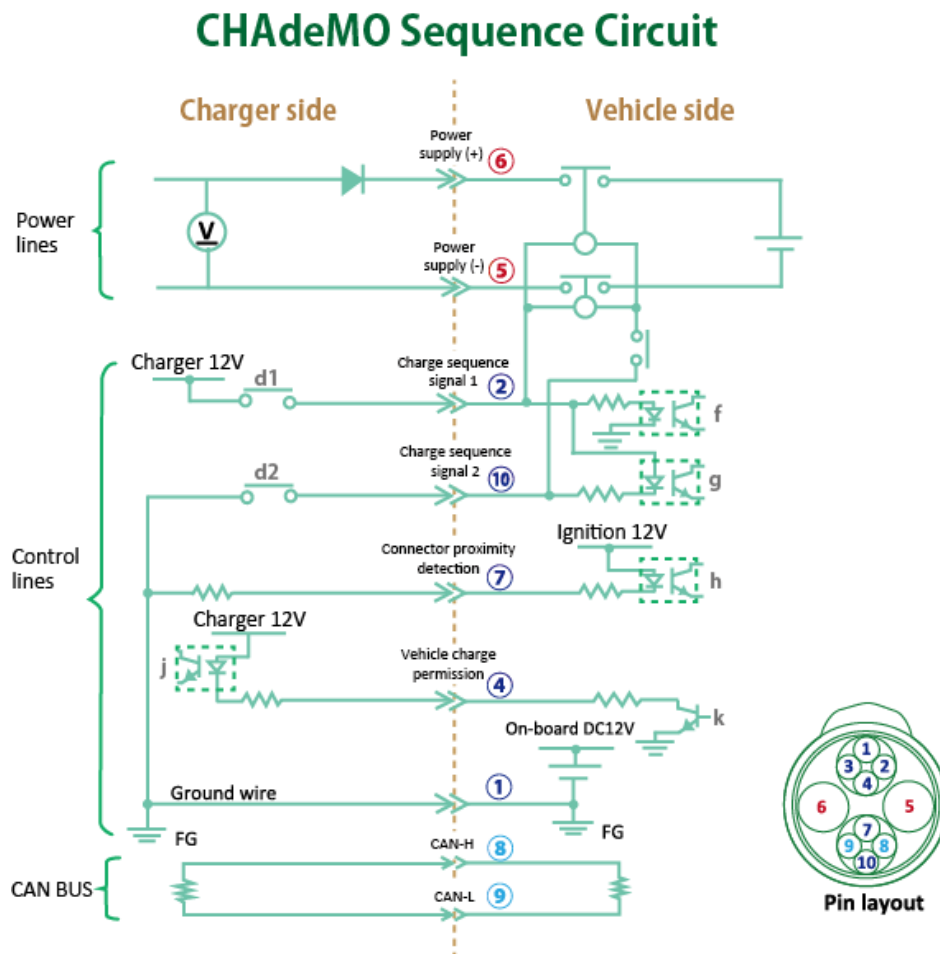


Figura 2-11. Pines del conector CHAdEMO [12]

Los pasos que se realiza durante un proceso de carga rápida se realizan de forma secuencial y son descritos en la Figura 2-12. En donde se aprecia la acción realizada en cada paso, así como la interacción entre la estación de carga y el vehículo eléctrico.

Combo CCS: El combined Charging System (CCS), Integra pines para AC ya sea monofásico o trifásico para realizar carga lenta y semi-rápida y pines para DC, los cuales permiten realizar la carga rápida del vehículo con la facilidad de utilizar un solo conector. Existen dos versiones, la primera se basa en el estándar SAE J1772 y el segundo implementa un conector IEC tipo 2, a estas dos variantes se les denomina como el combo 1 y combo 2 respectivamente. La potencia va desde 43 kW hasta 100 kW en corriente continua. En la Figura 2-13 se presenta las dos versiones del combo.

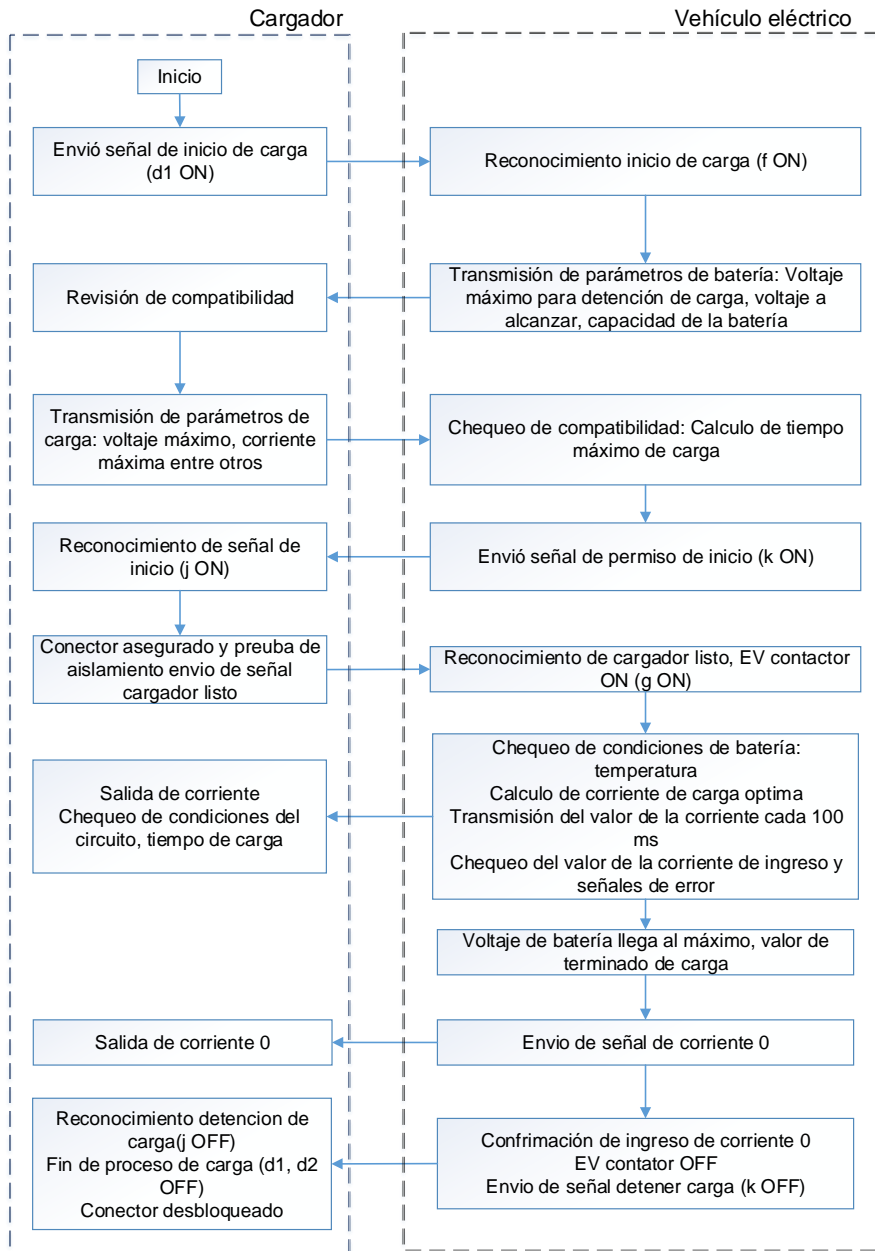


Figura 2-12. Pasos del proceso de carga del vehículo eléctrico



Figura 2-13. Conector CCS combo 1 y 2 [13]

Al inicio del 2013 La unión europea eligió al conector Mennekes como estándar para la recarga de vehículos eléctricos, basándose en la importancia de tener un solo conector a nivel europeo y que es el más difundido en Alemania, Italia y Reino Unido. Posteriormente el parlamento europeo propone la prohibición de uso del sistema de recarga CHAdeMO, dando un claro beneficio al sistema CCS, sin embargo, la unión europea desistió de esta propuesta y permitiendo la convivencia del estándar CHAdeMO en Europa teniendo en cuenta su gran recorrido e implantación en la actualidad.

La convivencia entre los estándares existentes para estaciones de carga rápida en DC, así como la recarga semi-rápida en AC, mencionados anteriormente actualmente es posible y una muestra de ello es que los fabricantes de estaciones de carga han desarrollado estaciones de carga rápida que integran más de un conector como por ejemplo el modelo Terra 53 CJG de ABB la cual posee conectores CHAdeMO, CCS, tipo 2 AC. En gran medida este tipo de estaciones permite al usuario tener más variedad a la hora de escoger cual VE adquirir, sabiendo que cuenta con estaciones multiestandar disponibles.

2.6. Estaciones de carga en la red de distribución

Con el ingreso del VE al medio, también se requiere la introducción de las estaciones de carga, las cuales con el uso de forma masiva producen un impacto en la red de distribución tanto en la calidad como en la capacidad del sistema. En la referencia [14] se presenta un caso de estudio donde se evalúa como cambia el perfil de carga bajo distintos escenarios de penetración del VE, el escenario base se presenta una con la curva típica de carga de consumo 100 usuarios domésticos en invierno y verano en Reino Unido Figura 2-14. Observándose que se utiliza mayor cantidad de energía en invierno.

El estudio plantea una penetración del 10%, 20% y 30% de vehículos eléctricos, además propone 3 escenarios, el primero en el que las recargas se realizan sin incentivos de uso en horarios. Tomando en cuenta que la mayoría de usuarios llega a la casa del trabajo y conecta al vehículo aproximadamente a las 18:00, se produce un aumento en el pico de carga en un 18% y con aumento de 10% en cada nivel de penetración del VE como se muestra en la Figura 2-15.

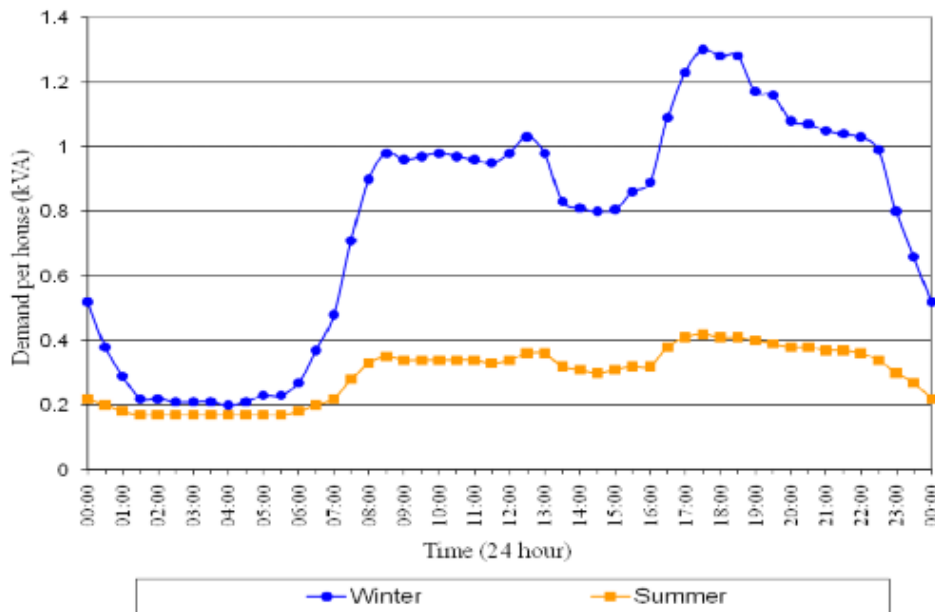


Figura 2-14. Curva típica de 100 usuarios domésticos en Reino Unido [14]

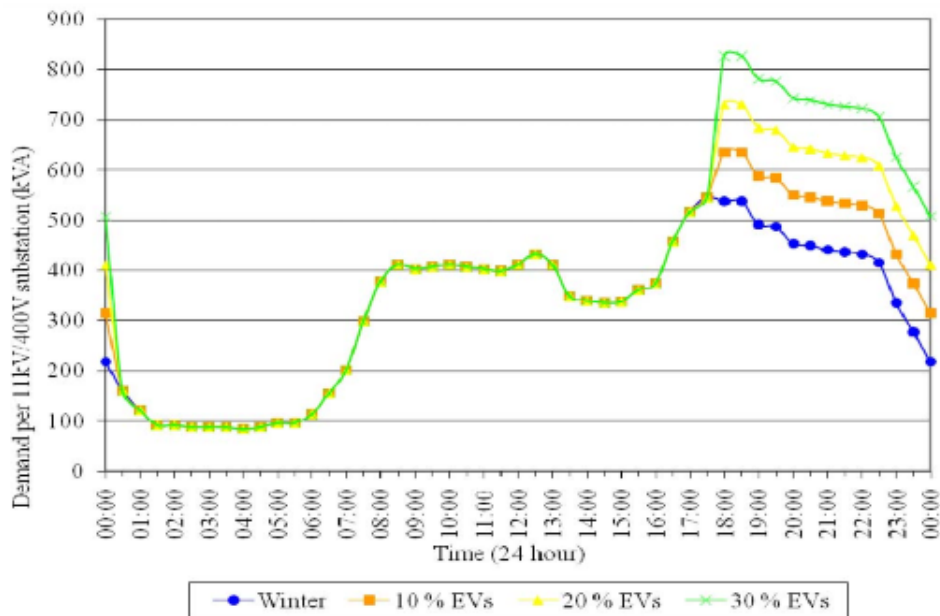


Figura 2-15. Perfil de carga sin incentivos [14]

El escenario 2 se plantea con uso de incentivos para fomentar el uso en horarios con menos consumo eléctrico, en este caso de 1:00 a 7:00, obteniéndose la curva de carga de la Figura 2-16. En tanto que en el escenario 3 se plantea una forma de escalonamiento al realizar el cargado con el fin de obtener una curva de carga tendiendo a ser plana en el intervalo de horario de menos demanda como se observa en la Figura 2-17.

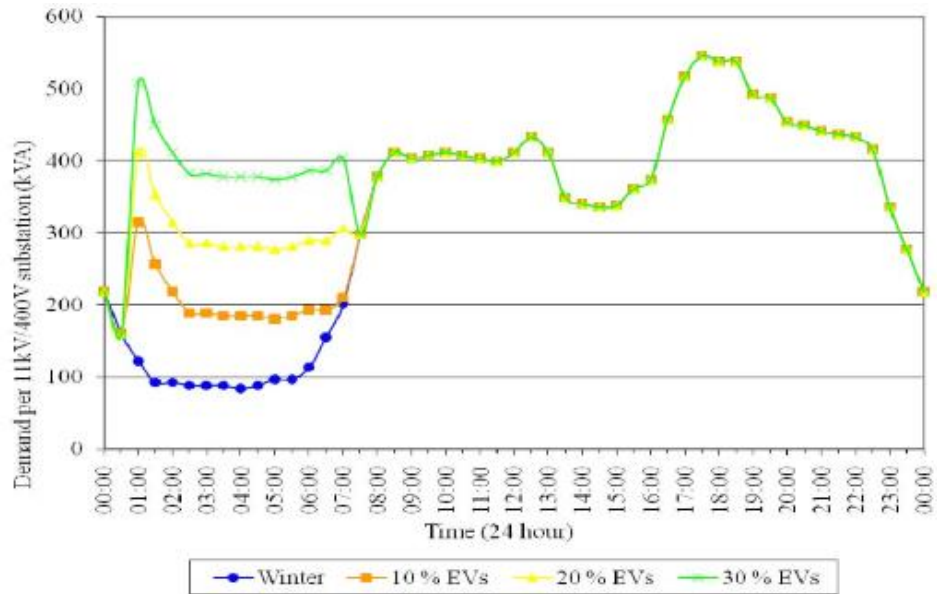


Figura 2-16. Curva de carga en el escenario 2 [14]

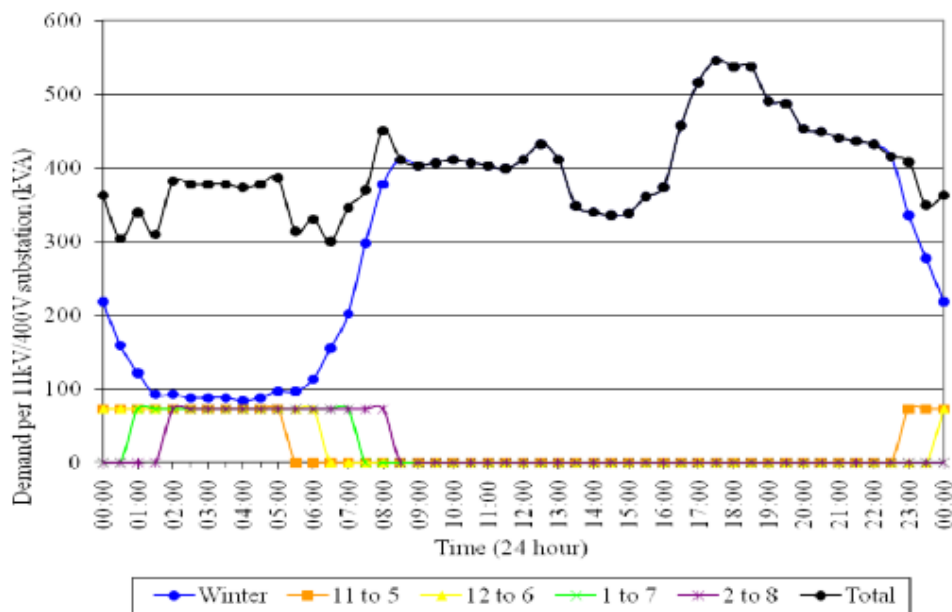


Figura 2-17. Curva de carga en el escenario 3

La variación de curva de carga lleva consigo una variación del perfil de voltaje siendo necesario realizar un estudio para determinar que se encuentre entre los límites definidos.

Así también tenemos los cargadores rápidos, que al igual que en las estaciones de carga lenta y semi-rápida con la masificación de su uso, surgen aspectos importantes que se deben estudiar con son la potencia de la red y la calidad de la energía un ejemplo de dichos efectos se lo estudia en [15], en el cual se compara 4

cargadores rápidos y se analiza los armónicos producidos por cada cargador, mostrando como resultado que el THD_v de los cuatro cargadores no sobrepasa el 3% de distorsión cumpliendo con la norma, mientras que el THD_i en dos de ellos no cumple con el estándar, evidenciando la necesidad de la utilización de filtros para disminuir los efectos.

2.7. Importancia de las electrolineras

El contar con una infraestructura de recarga, resulta de gran impacto para la masificación del uso de los vehículos eléctricos, esto se ve refleja en experiencias como la citada en [16], [17], donde la compañía Tokyo Electric Power Company introdujo el VE de prueba con una capacidad de 80 km en el 2007. En la Figura 2-18 se muestra el recorrido del VE en Yokomaha en octubre de 2007, la cual es un área compacta un vehículo de combustión interna recorre una distancia diaria de 40 km, lo que permite al VE recorrer fácilmente el área. Sin embargo, la distancia recorrida no alcanzo los 200 km, esto debido a que los conductores consideraron que la batería no tenía la suficiente capacidad.



Figura 2-18. Recorridos realizados antes de la instalación de la estación de carga rápida [17]

Con el propósito de reducir el denominado rango de ansiedad del conductor, se instala una segunda estación de carga rápida mostrada en la Figura 2-19, con lo que al mes se aumentó drásticamente el uso del VE, que excedió los 1400 km, incluso superando la distancia cubierta por los vehículos de combustión interna.



Figura 2-19. Recorridos realizados después de la instalación de la estación de carga rápida[17]

Un aspecto destacable de esta experiencia es que los conductores rara vez usaban las estaciones de carga rápida. Pudiéndose notar el efecto psicológico en los conductores, ya que el saber que cuentan con una estación en la que pueden recargar el VE les da mayor tranquilidad para recorrer mayor distancia.

El uso de los cargadores rápidos permite al conductor relajarse y permiten el incremento del uso de los VE, pero hay que tomar en cuenta que son sistemas caros y que su uso no es frecuente por lo que no es necesario contar con un gran número de estos sistemas de recarga.

2.8. Fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de la carga rápida

En la actualidad las estaciones de carga rápida tienen varias fortalezas como es la de realizar transferencia rápida de potencia. Las baterías del vehículo eléctrico pueden ser cargadas entre 15 a 30 minutos al 80%. Esto se traduce en que el usuario cuenta con mayor número de horas para la utilización del VE. Solo utilizando la estación de carga lenta se tiene que invertir 8 horas para alcanzar una autonomía de 150 km, con una disponibilidad de 16 horas del día. Al utilizar la carga rápida y lenta con disponibilidad de 15 horas, se aumenta a autonomía a 270 km. De usar solo la carga rápida se puede tener una disponibilidad de 23.5 horas del día y una autonomía de 240 km [3].

Otro de los puntos a favor que tienen las estaciones de carga es que utiliza tecnologías maduras. La estructura básica es un filtro y un convertor AC/DC [18]

(Figura 2-20). Siendo tecnología ya usadas con anterioridad en las que presenta variaciones en la forma de realizar el control para la conversión. Existen varios artículos en donde se presenta la topología y el sistema de control, alguna de estas es [18] donde se plantea un cargador trifásico con conversor Boost, en [19] se plantea el control del rectificador usando control PWM, con salida de voltaje DC controlada obteniéndose $THDi$ menor a 5%. Una estructura más completa de un conversor es presentada en [20], (Figura 2-21) que también poseen tecnología empleadas con anterioridad en varias aplicaciones.

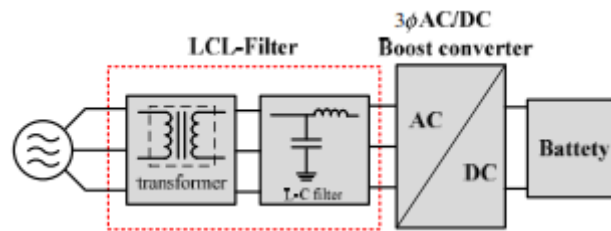


Figura 2-20. Estructura básica cargador rápido[18]

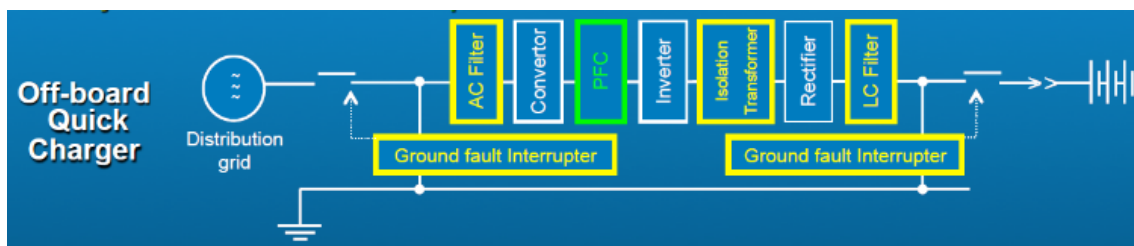


Figura 2-21. Estructura cargador rápido[20]

Cuenta con soporte de manufactura combo CCS y CHAdeMO. La existencia de los estándares permite a los fabricantes la construcción de estaciones que cumplan los requisitos para realizar el cargado de forma segura y dentro del rango de potencia permitidos.

Con la constante preocupación por el calentamiento global existe un alto compromiso de las autoridades públicas a incentivar el uso del vehículo eléctrico [21].

Así también existen debilidades como la necesidad de mayor potencial generando un impacto en la red eléctrica. Costo relativamente alto de equipos, instalación y operación de los puntos de carga [22].

Por otra parte el uso de las estaciones de carga rápida crea oportunidades ya que es la mejor opción para solucionar los problemas de autonomía del vehículo [3],

[17]. Además de poder integrarse con las redes inteligentes y generación distribuida, como ejemplo el uso de paneles solares.

Entre las amenas que tiene los cargadores rápido son la falta de políticas y legislación adecuadas.

2.9. Conclusiones

Con el uso de las estaciones de carga se observa la necesitada de realizar estudios como se ha observado, con la utilización de las estaciones de carga se requiere mayor energía por parte del sistema eléctrico, dando como resultado una afectación en la curva de demanda. Así también las estaciones de carga utilizan convertidores AC/DC los cuales generar armónicos siendo importante determinar el nivel de afectación al ser utilizadas de forma masiva.

Los sistemas de recarga tienen gran importancia para la masificación del uso de los VE, la estación de carga rápida permite reducir el rango de ansiedad de los conductores permitiéndole realizar recorridos por la ciudad con mayor seguridad sabiendo que puede realizar una recarga, un punto importante es que no se requiere de gran numero sistemas de carga rápida ya que su uso no resulta frecuente resultando que lo importante es colocarlas estratégicamente en la ciudad. Así también el ingreso de estas estaciones con la conversión de la energía AC/DC con lleva la generación de armónicos y mayor requerimiento de potencia siendo necesario realizar un estudio de impacto en el lugar a ser instalados.

CAPÍTULO 3

3. Estación de carga para vehículo eléctrico nivel 2 en la red de distribución eléctrica

3.1. Introducción

Con el ingreso del vehículo eléctrico al sector automotriz ecuatoriano, surge la necesidad de crear una infraestructura básica la cual permita su uso, como son las estaciones de carga las cuales tienen la función de realizar el proceso de carga de las baterías del VE.

En este capítulo se realiza un estudio del impacto producido en la red eléctrica de distribución eléctrica, con la utilización de esta nueva carga de forma masiva, específicamente se tratará del uso de estaciones de carga con capacidad de 5.5 kW aproximadamente, las cuales se pretende sean utilizadas a nivel doméstico dado a su capacidad de carga, dichas estaciones cumplen los estándares internacionales y se encuentran clasificadas en el nivel 2 según el estándar SAE J1772.

Para determinar el modelado de la estación de carga, para el análisis dentro del sistema de distribución de energía, se procedió de forma experimental al tomar mediciones de corriente, tensión y potencia con el objetivo de determinar una carga típica durante el ciclo de carga de batería. Con los datos obtenidos permite el reproducirla en herramientas computacionales y estudiar su efecto en el sistema de distribución.

Para realizar un estudio de evaluación de afectación en un alimentador de la ciudad de Cuenca – Ecuador, se proponen casos para evaluar el impacto del uso masivo, al conectar diferente número de estaciones de carga en puntos distintos del alimentador seleccionado.

3.2. Estación de carga para vehículo eléctrico de uso domestico

Las estaciones de carga conocidas en inglés como (*electric vehicle supply equipment* “EVSE”), tienen como función, la entrega de energía para cargar la batería del vehículo eléctrico en forma segura cumpliendo los estándares establecidos. A nivel doméstico es importante destacar que existen estaciones de carga de nivel 1 con una tensión de 120 V y nivel 2 con 240V según el estándar SAE J1772 [23] con conector J1772. En este trabajo se utiliza se estudia el comportamiento de una estación de carga de nivel 2, la cual se encuentra disponible en el laboratorio de microrred de la Universidad de Cuenca.

La estación de carga es la encargada de proveer de energía en AC al VE, siendo el VE el cual posee un equipo para convertir la corriente AC entregada en DC para ser almacenarla en las baterías. Estos equipos se encuentran limitados por tamaño, puesto que van embebido dentro del VE, por lo que no contienen filtros para reducir los armónicos generados en el proceso de conversión AC/DC.

3.3. SAE J1772

El estándar SAE J1772 fue desarrollado por la Society of Automotive Engineers (SAE) [24] para conexión de VE con la estación de carga, bajo condiciones seguras de operación. Este estándar especifica las características físicas y eléctricas que debe cumplir el conector del vehículo eléctrico.

Las funciones del conector es la vinculación de forma segura el vehículo eléctrico con la estación de carga, acoplado correctamente los contactos de carga, tierra y comunicación para el control. En total el conector dispone de 5 pines que se describen en la Tabla 3-1.

El piloto de control (CP): es la línea de comunicación utilizada para coordinar el valor de corriente que soporta para realizar la carga entre el VE y la estación de carga. Para ello se emplea una onda cuadrada de 1 kHz con modulación por ancho de pulso (PWM) y amplitud a 12 V generados por la estación de carga para detectar la presencia del VE, así como comunicar la máxima corriente de carga permitida en función al ciclo de trabajo, sus funciones son:

- Verificación de conexión del vehículo.
- Indicación del EVSE estado stand-by.
- Indicación del EVSE estado listo para suministrar energía.
- Indicación de EV listo para recibir energía.
- Determinación de salida de ventilación.
- Verificación la capacidad del corriente del EVSE.

Tabla 3-1. Funciones de los contactos nivel 1 y 2 AC

Contacto No.	Función del contacto	Función del contacto salida del vehículo	Descripción
1	AC Power (L1)	Línea 1	Alimentación AC nivel 1 y nivel 2
2	AC Power (L2)	Línea 2	Alimentación AC nivel 1 y nivel 2
3	Tierra	Chasis a tierra	Conexión a tierra del equipo EVSE y el chasis del vehículo
4	Control piloto	Control Piloto	Control primario
5	Detección de proximidad	Detección de proximidad	Permite al vehículo detectar la conexión con la EVSE

Detección de proximidad: su función es la de detectar la presencia del conector de la estación de carga con la salida del vehículo eléctrico. Así también debe dar una señal de desconexión a la estación de carga y al VE en caso de pérdida de conexión entre la estación de carga con el VE, de modo que se la estación de carga reduzca la energía entregada al momento de producirse la desconexión.

3.3.1. Comunicación entre el VE y la estación de carga

La línea de comunicación entre la estación de carga y el VE es mediante el control de piloto. Por medio del cual para determinar la corriente admitida por el VE la estación de carga genera una onda cuadrada con un voltaje de ± 12 V a una frecuencia de 1 kHz la cual se envía por medio del contacto del piloto del control. Para conocer el estado de la carga se emplea la conmutación de resistencias con lo que se puede determinar los diferentes estados en que se puede encontrar como se indica en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Comunicación de estado de la estación de carga y el vehículo eléctrico

Estado Estación de Carga	Estado Vehículo Eléctrico	Resistencia CP-PE	Resistencia R2	Voltaje, CP-PE
Estado A	Colocarse	Abierto		+12 V
Estado B	Vehículo detectado	2740		+9 V ± 1 V
Estado C	Listo (cargando)	882	1300	+6 V ± 1 V
Estado D	Con Ventilación	246	270	+3 V ± 1 V
Estado E	Sin alimentación (apagado)			0 V
Estado F	Error			-12 V

Para conocer la cantidad de corriente que se debe suministrar al VE, se emplea el ciclo de trabajo del PWM de la señal CP con una frecuencia de 1 kHz. La relación entre el ciclo de trabajo y la corriente se define mediante dos ecuaciones [25], que dependen del rango de corriente de carga (I_{carga}) teniendo en el rango de 6 a 51 A que el ciclo de trabajo se determina por medio de la ecuación (3-1). El ciclo de trabajo es utilizado para que la estación de carga al VE limite el valor de la corriente de suministrada.

$$Duty\ cycle = \frac{I_{carga}(A)}{0.6} \quad (3-1)$$

En el caso que la corriente de carga está limitada por el sistema de alimentación en el rango 51 a 80 A, la ecuación que determina ciclo de trabajo está dada por la ecuación (3-2):

$$Duty\ cycle = \frac{I_{carga}(A)}{2.5} + 64 \quad (3-2)$$

Empleando las ecuaciones mencionadas, se obtiene la Tabla 3-3, que corresponde al ciclo de trabajo manejado por la estación de carga para la limitación de corriente de carga al VE.

Para realizar la comprobación del ciclo de trabajo de forma experimental, se procede a realizar pruebas con la estación de carga de nivel 2 ya mencionada, las mediciones se realizan durante el proceso de carga del VE, obtenido la captura observada en la Figura 3-1. En la cual se puede observar un PWM con un ciclo de trabajo de 50.06% con una frecuencia de 1.015 kHz, manejando una corriente de 28.5A los cuales son valores similares a los presentados en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Ciclo de trabajo y capacidad de corriente

Ciclo de trabajo %	Corriente A
10	6
20	12
25	15
50	30
66.6	40
90	65
96	80

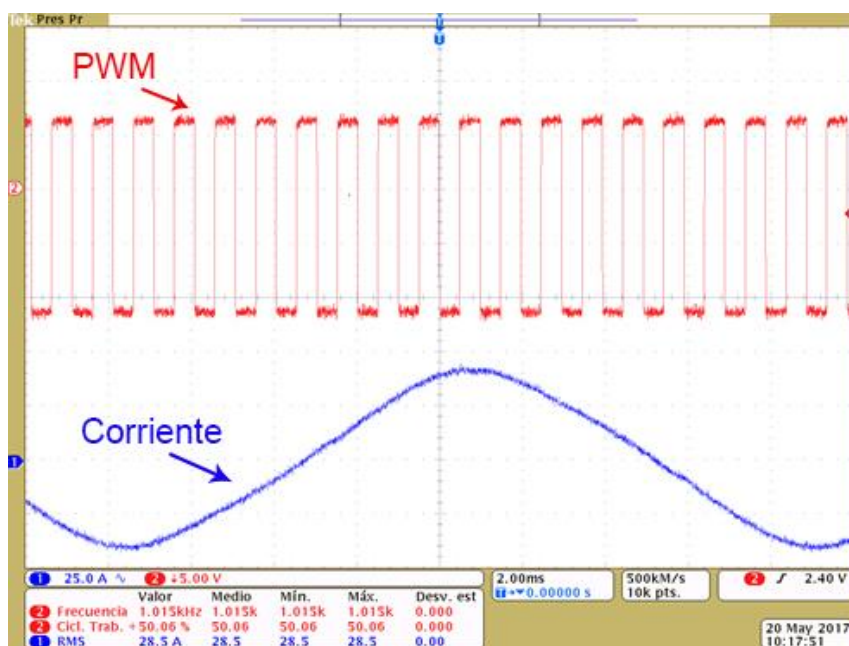


Figura 3-1. Ciclo de trabajo estación de nivel 2

3.4. Regulaciones Técnicas sobre Calidad de Energía Eléctrica

El Concejo nacional de electricidad (CONELEC) encargado de lo relacionado a la regulación de las normativas técnicas en materia de energía eléctrica en Ecuador, actualmente renombrado como ARCONEL dispuso en la normativa 004/01 los límites que debe cumplir las empresas distribuidoras de energía en lo que corresponde a la calidad de la energía. En lo referente al voltaje se tiene que se permite una variación del $\pm 8\%$ en media tensión. Así también indica los límites de armónicos permitidos como se muestran en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Armónicos de voltaje permitidos por la norma 004/01

Armónicos Impares no múltiplos de 3	V≤40KV % respecto al voltaje nominal	Impares múltiplos de 3	V≤40KV % respecto al voltaje nominal	Pares	V≤40KV % respecto al voltaje nominal
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			> 12	0.5
25	1.5				
>25	$0.2+1.3*25/n$				

En lo que se refiere a armónicos de corriente, la norma no completa los límites como referencia se puede optar por la norma IEC 61000-3-4. También se puede aplicar IEEE 519-2014 en la que los límites varían según el tipo de carga ya que, considerando la relación de la máxima corriente de cortocircuito y la máxima corriente de carga, siendo sus límites ligeramente más ajustados.

El estándar IEEE 519-2014 se enfoca en la medición de armónicos, y recomendación de los límites de armónicos de voltaje y corriente. Los límites de este estándar están enfocados a la aplicación de un punto de conexión común (PCC) el cual es un punto del sistema más cercano al usuario en el cual el operador puede ofrecer servicio a otros usuarios, en la Figura 3-2 se puede apreciar el PCC.

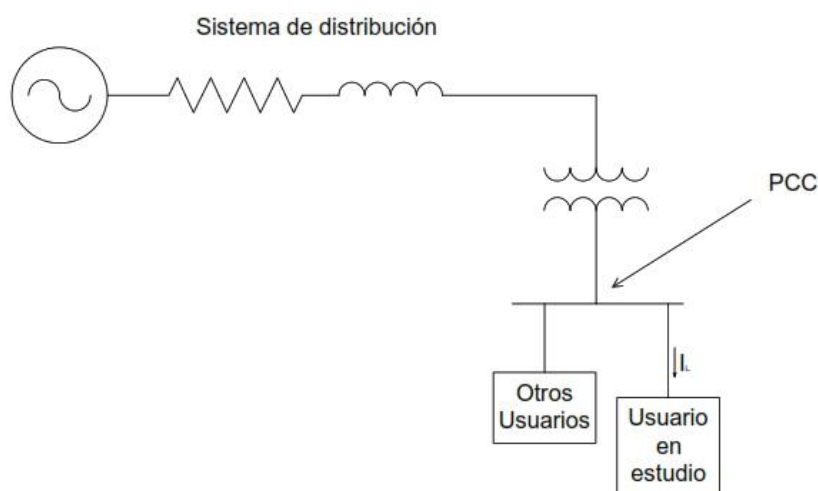


Figura 3-2. Punto de conexión común

Una recomendación dada por este estándar es que, el control de los armónicos es responsabilidad compartida tanto del operador del sistema como del usuario. El usuario debe utilizar cargas que emitan armónicos que se encuentren dentro de los límites permitidos, mientras el operador se debe encargarse de la disminución de la distorsión de voltaje. Los valores de armónicos permitidos para voltaje se presentan en la Tabla 3-5, siendo para nuestro interés voltajes menores de 1 kV. En la Tabla 3-6 se presenta los armónicos máximos permitidos de corriente.

Tabla 3-5. Niveles de armónicos de voltaje permitidos

Voltaje en PCC	Armónico Individual %	Distorsión total armónica (THD) %
$V \leq 1 \text{ kV}$	5	8
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3	5
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1	1.5

Tabla 3-6. Distorsión armónica de corriente

Máxima distorsión armónica de corriente % de I_L						
ISC/ I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	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

3.5. Conexión de la estación de carga nivel 2 con la red de distribución eléctrica en la ciudad de Cuenca - Ecuador

En la ciudad de Cuenca – Ecuador, la empresa encargada de la comercialización y distribución de la energía eléctrica es la Empresa Eléctrica Regional Centrosur (EERCS). La cual para la distribución de la energía eléctrica utiliza los siguientes niveles de tensión:

Media tensión: 6.3 kV en el caso de red subterránea y 22kV para redes aéreas.

Baja tensión: 240/120 V en transformadores monofásicos y 220/127 para transformadores trifásicos. La conexión de los transformadores en configuración delta en el lado de media tensión y configuración estrella en baja tensión.

Los usuarios pueden ser abastecidos de energía eléctrica mediante transformadores monofásicos o trifásicos con nivel de tensión de 110 V ó 127 V según sea el caso. Para la alimentación de la estación de carga de VE se emplea un circuito de uso exclusivo debido a la reglamentación establecida en ARCONEL 038/15, donde los usuarios deben disponer de un medidor de energía con características particulares, se diferencia ya que este permite identificar en que horario se utiliza la estación de carga para realizar un cobro diferenciado según las tarifas expresadas en la norma. Para el funcionamiento de la estación de carga se utiliza una tensión de 220 V suministrando al usuario de dos formas.

En el caso de alimentación del sistema de distribución con un transformador monofásico, estos son usados en clientes de bajo consumo eléctrico, se puede tener usuarios con conexión monofásica a 110 V, también usuarios con conexión bifásica con dos líneas de 110 V y con tensión línea-línea de 220 V.

Para entregar 220 V al usuario se emplea una configuración conocida como monofásico de 3 hilos. Para esta configuración se emplea la toma central del transformador de distribución como se indica en la Figura 3-3, teniendo un voltaje línea-neutro de 110 V y línea-línea de 220 V, se utiliza 2 hilos (conductores) para fase y 1 para el neutro como se puede observar en la Figura 3-4 en donde se observa los distintos consumidores que se pueden conectar habiendo usuarios residencial monofásico, bifásico y las estaciones de carga.

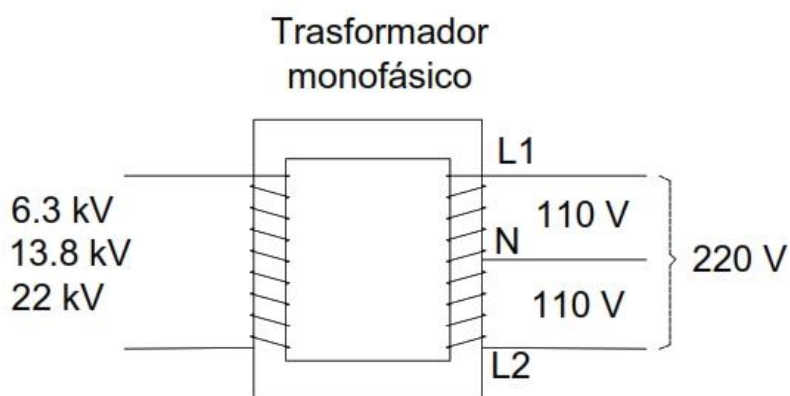


Figura 3-3. Transformador monofásico con toma central

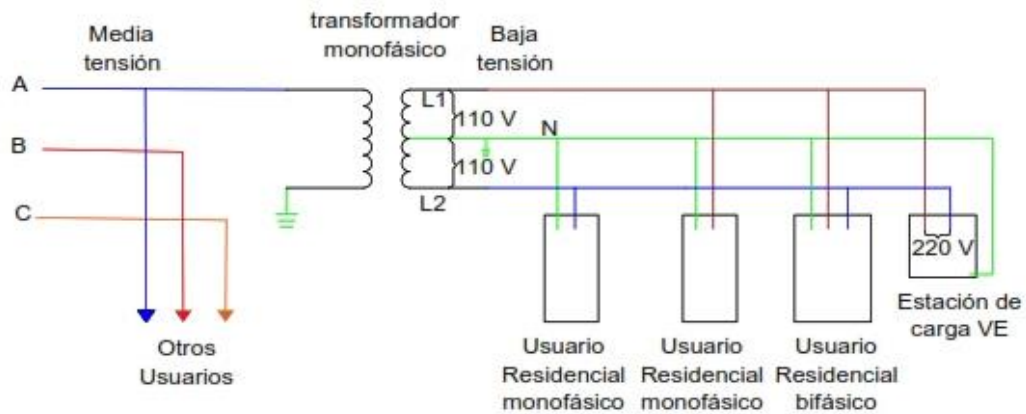


Figura 3-4. Conexión estación de carga y usuarios en conexión monofásica

En el caso de alimentación con transformador de distribución trifásico, los cuales son usados en zonas con mayor consumo energético, con niveles de 127 V línea – neutro y 220 línea – línea. Bajo esta configuración podemos encontrar usuarios con cargas monofásicas, bifásicas y trifásicas.

Para la alimentación de la estación de carga se emplea la conexión bifásica que consiste en utilizar 2 líneas de las 3 del sistema trifásico, las conexiones se pueden observar en la Figura 3-5.

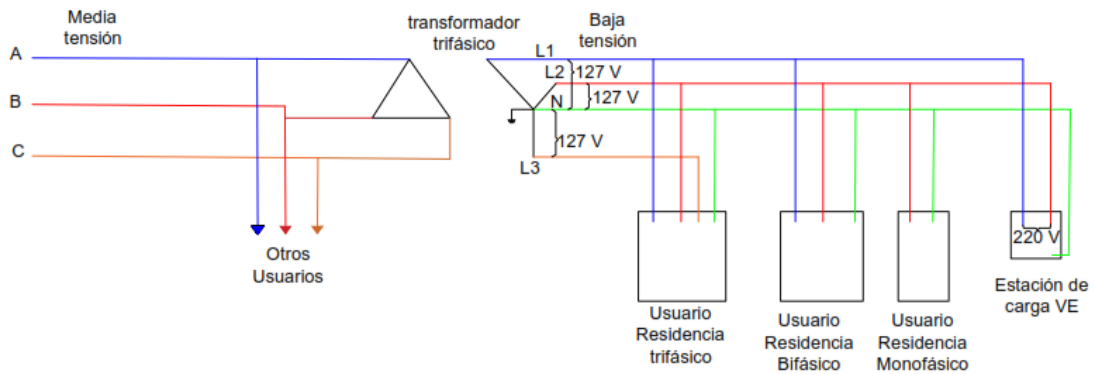


Figura 3-5. Conexión de la estación de carga VE y usuarios en transformador trifásico

Hay que tomar en cuenta que en el caso de la conexión de la estación de carga con la red (Figura 3-4 y Figura 3-5), la conexión del neutro en la estación de carga se coloca en la carcasa del equipo únicamente sirviendo de protección, existiendo circulación de corriente solo entre las fases a las que se conecta.

3.6. Estimación de la carga típica de una estación de carga VE nivel 2

La estimación de la carga típica de la estación de carga se realiza de forma experimental, para lo cual se emplea un vehículo eléctrico marca Kia modelo Soul EV, de disponible en el Laboratorio de Microrred Eléctrica de la Universidad de Cuenca. Así también se dispone de la estación de carga modelo EVSE-RS del fabricante “Aero Viroment” cuyas características principales se encuentran en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7. Características de la estación de carga de VE

Conector	SAE J1772
Voltaje AC	208/240 V
Corriente máxima	30 A
Frecuencia	60 Hz
Potencia	7.2 kW

Para obtener los valores de tensión y corriente producidos durante el ciclo de carga del VE, se realiza mediciones empleando un osciloscopio modelo DPO 4104, con una sonda de corriente TCP303 y sonda de tensión P5200A de marca Tektronix, en la Figura 3-6 se muestra los equipos empleados para la medición.



Figura 3-6. Equipo para realizar las mediciones

Con este equipamiento se procedió a realizar mediciones de las variables de interés (voltaje y corriente de carga) durante el estado stand-by de estación de carga que es cuando se encuentra conectado a la red sin realizar el proceso de carga de la batería del VE. Durante este estado se puede apreciar una gran distorsión en la

corriente presente, alrededor del 69.43%, más se debe tener en cuenta que la corriente producida está en el orden de los mA por lo que su efecto en la red es despreciable. La forma de onda obtenida se puede apreciar en la Figura 3-7, donde la corriente presenta un valor de 42.4 mA, la tensión 220 V y la potencia 2.24 W mientras que en la Figura 3-8, se observa los armónicos producidos también en orden de los mA. En esta figura se observa que el armónico predominante es el 3^{er} con 63.88% a una frecuencia de 180 Hz y una amplitud de 23 mA.

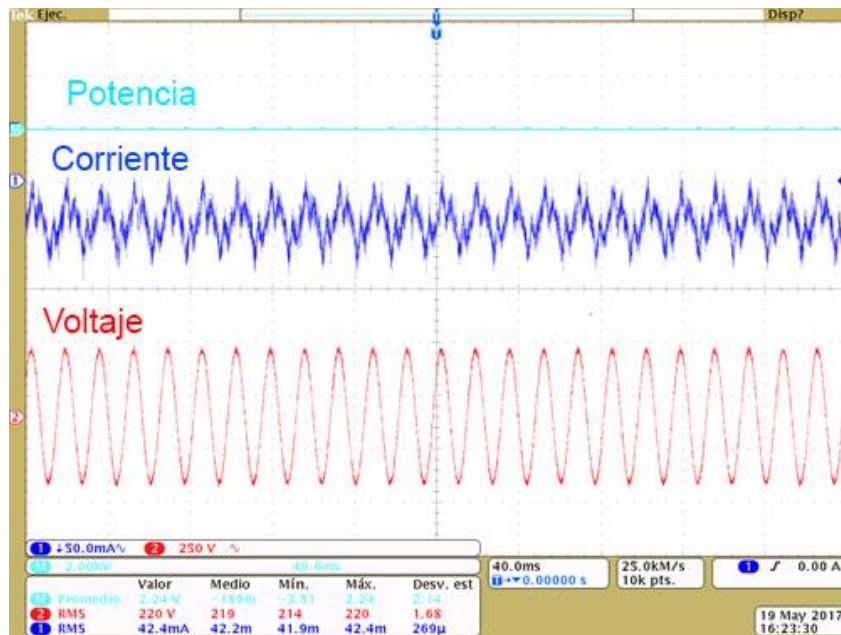


Figura 3-7. Voltaje, corriente y potencia en modo stand-by

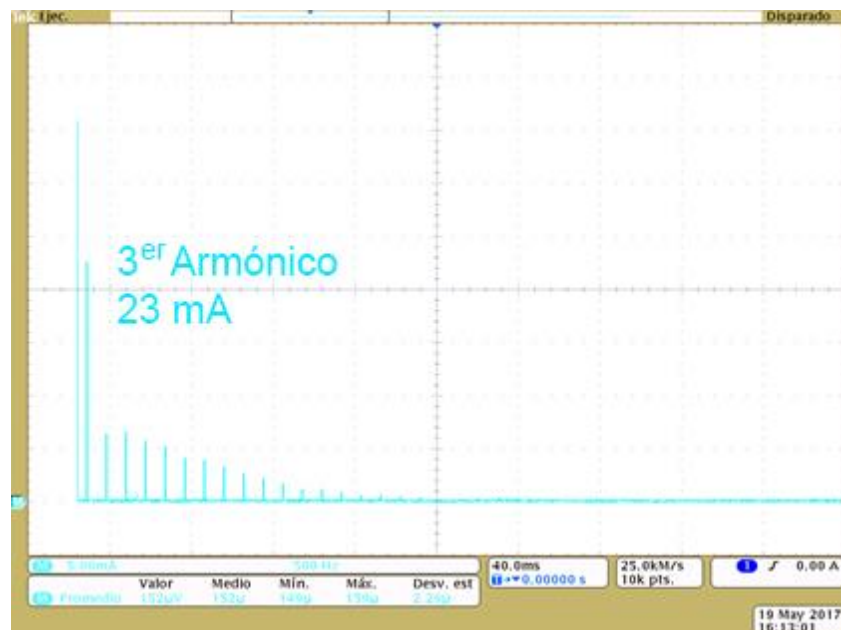


Figura 3-8. Armónicos de corriente en modo stand-by

Para la caracterización de la carga en el momento que la estación de carga se encuentra cargando la batería del VE, se realizó mediciones con el VE con un estado de carga (SOC) inicial del 15% de la carga de la batería hasta llegar al 100%. Durante este proceso se tomaron un conjunto de mediciones de voltaje y corriente con los equipos mencionados, observando la relación entre el estado de carga y tiempo de carga, de este proceso se logra apreciar el comportamiento lineal entre el SOC y el tiempo de carga, como se aprecia en la Figura 3-9. En la Figura 3-10 se muestra la forma de onda de la tensión y corriente durante el proceso de carga que permanece sin cambios significativos durante la carga desde el 15 al 100% de estado de carga, del comportamiento de la corriente en el proceso de carga, la Figura 3-11 presenta el componente espectral de la corriente de carga, donde armónicos de corriente medidos.

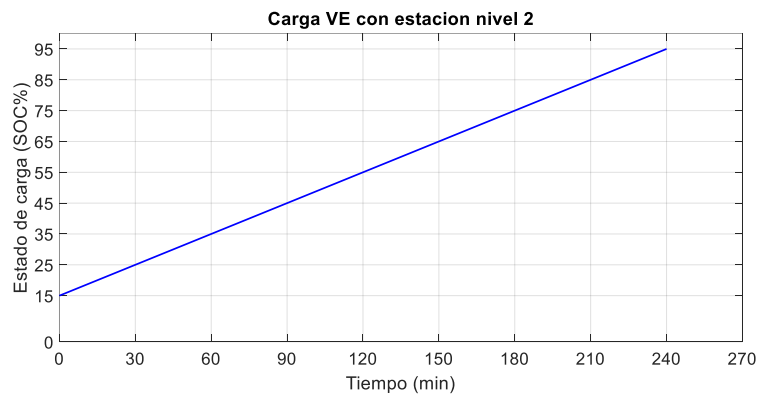


Figura 3-9. Perfil de carga

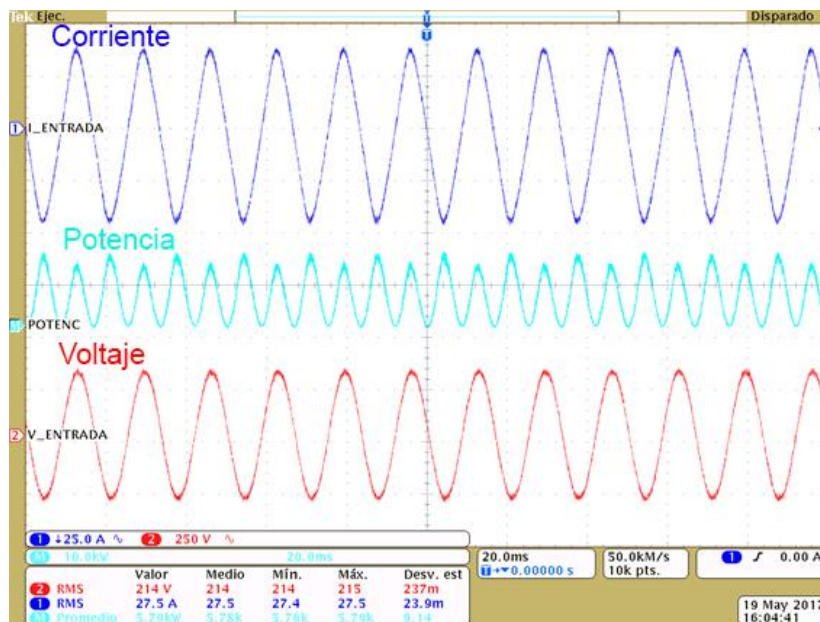


Figura 3-10. Forma de onda de corriente y tensión en modo de carga

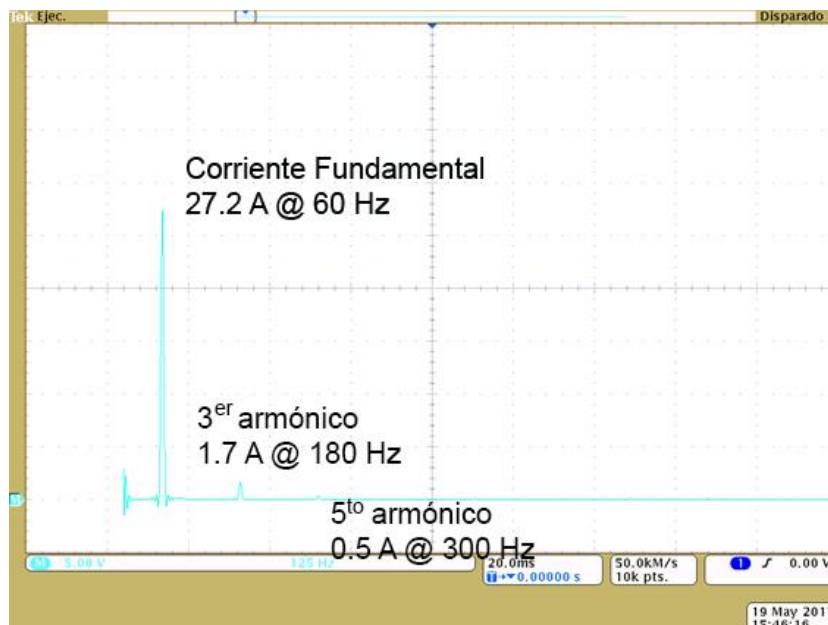


Figura 3-11. Armónicos de corriente medidos en modo de carga (5.5Kw)

De las mediciones realizadas con la Figura 3-11, se obtuvo los datos presentados en la Tabla 3-8, estos permiten realizar la caracterización de la carga con el propósito de reproducir los efectos del uso de este mediante simulación usando un software. De los datos se observa que los armónicos predominantes a partir del fundamental a 60 Hz, se tiene presente el 3^{er} armónico ubicado a una frecuencia de 180 Hz y 5^{to} armónico ubicado a 300 Hz. Presentando una distorsión armónica en corriente del 6.51%

Tabla 3-8. Datos obtenidos de las mediciones de la estación de carga en modo de carga

Voltaje	214 V
Corriente	27.2 A
3 ^{er} Armónico	1.7 A
5 ^{to} Armónico	0.5 A
THD corriente	6.51%

3.7. Estudio de eficiencia del uso de la estación de carga nivel L2

Para estudiar la eficiencia del proceso de carga con la estación de carga nombrada anteriormente, se realiza medición en la conexión de la estación de carga y la red eléctrica y en la salida en el bus DC del convertidor AC/DC del vehículo eléctrico

como se observa en la Figura 3-12, para ello se utilizó el mismo equipo de medición mencionado anteriormente.



Figura 3-12. Conexión y mediciones

En la Figura 3-13 se presenta la forma de onda de la corriente, tensión apreciándose que tiene forma de onda senoidal y potencia de entrada con su medición obtenida respectivamente, mientras que en la Figura 3-14 aprecia la corriente, tensión y potencia de salida hacia las baterías, las cuales presentan características de DC.

Las mediciones se realizaron desde un nivel de carga de batería del 18% al 95% obteniendo una potencia de entrada promedio del 5.87 kW y una de potencia de salida promedio de 5.12 kW. Obteniéndose una potencia de pérdidas con un valor de 0.73 kW. Estas pérdidas son el resultado de la transformación en calor debido a la conversión energética, con lo que se presenta una eficiencia del 87.41% en la Tabla 3-9 se presenta las mediciones de potencia de entrada del cargador y de salida del conversor, además la eficiencia obtenida.

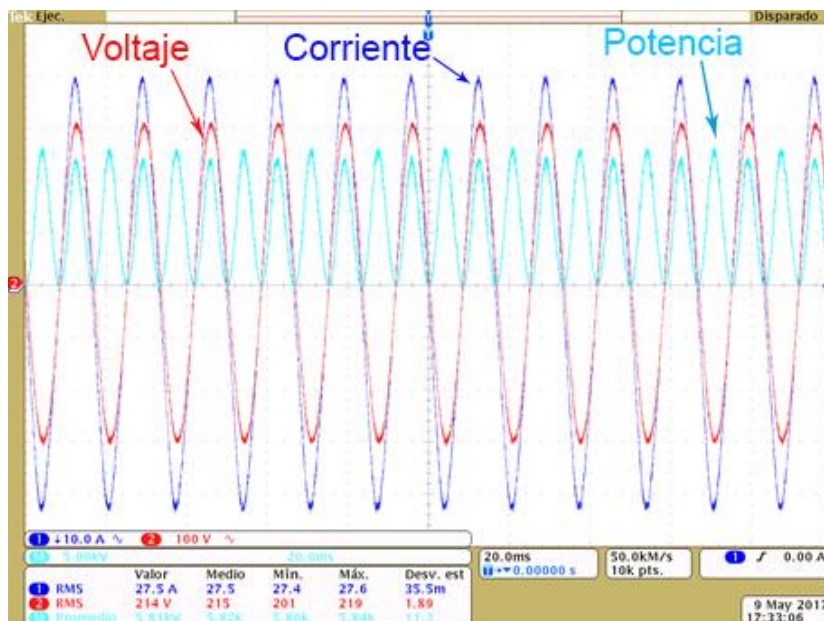


Figura 3-13. Corriente, voltaje y potencia de entrada

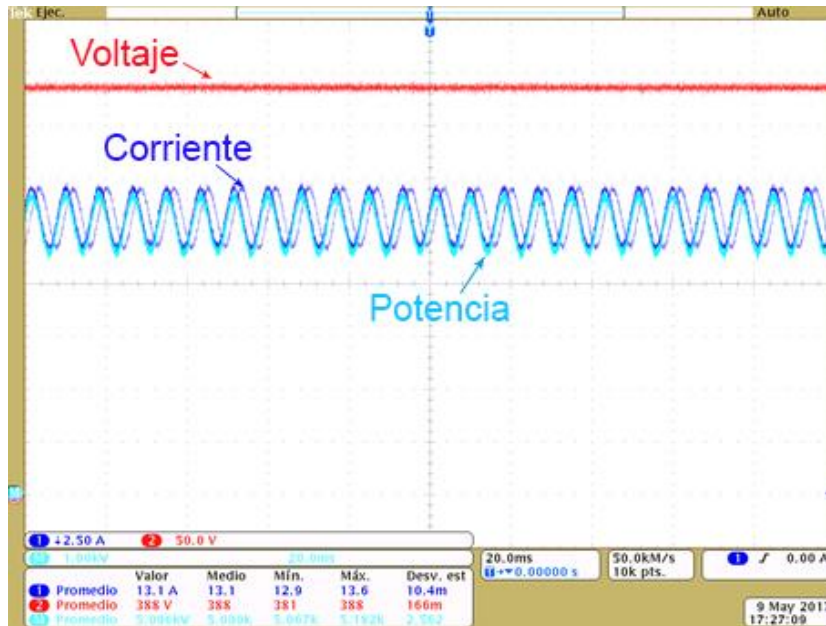


Figura 3-14. Corriente, voltaje y potencia de salida

Tabla 3-9. Medición de Potencia de entrada y salida al usar la estación de carga nivel 2

SOC %	Estación A (5.9 kW)			Voltaje en batería (VDC)
	P. Entrada (kW)	P. Salida (kW)	Eficiencia %	
18	5.88	4.93	83.84	342
24	5.87	5.12	87.22	349
31	5.88	5.12	87.07	349
38	5.68	5.02	88.38	353
43	5.86	5.07	86.52	357
50	5.81	5.13	88.30	361
55	5.8	5.18	89.31	365
65	5.9	5.17	87.63	373
75	5.83	5.16	88.51	381
85	5.83	5.1	87.48	388
95	5.87	5.12	87.22	395
Promedio	5.83	5.10	87.40	

Para el caso del vehículo de estudio, para una carga completa de la batería es necesario 27 kWh de energía. Con la estación de carga utilizada el convertor AC/DC entrega 5.10 kW tomándole un tiempo de 5.3 h. Tomando en cuenta el rango ideal de trabajo del SOC entre el 20% al 90% recomendado en [26] a fin de extender la vida útil del banco de baterías, se tendría que cargar únicamente 18.9 kWh de energía que representa el 70% bajo esta condición, para realizar la carga se emplearía un tiempo

de 3.7 h aproximadamente. Bajo estas condiciones al realizar la carga, la energía que se pierde es de 2.73 kWh.

El laboratorio de microrred de la Universidad de Cuenca también dispone de una estación de nivel 1 (Figura 3-15). Realizando el procedimiento al utilizado en la estación de nivel 2, se determina que la estación de nivel 1, la cual tiene una potencia de 1.4 kW presenta una eficiencia promedio 70.58%, los datos obtenidos se presentan en la Tabla 3-10. Para realizar la carga en las condiciones anteriores a esta estación le tomaría un tiempo de 20 h, con lo que se tiene pérdidas de 7.8 kWh, lo que sería 2.83 veces más perdidas que al utilizar la estación de nivel para cargar al VE.



Figura 3-15. Estación nivel 1

Tabla 3-10. Mediciones obtenidas al utilizar la estación de carga de nivel 1

SOC %	Cargador A (1.4 kW)			Voltaje en batería (VDC)
	P. Entrada (kW)	P. Salida (kW)	Eficiencia %	
18	1.3	0.855	65.77	342
24	1.34	0.841	62.76	349
31	1.34	0.948	70.75	349
38	1.3	0.962	74.00	353
43	1.36	0.969	71.25	357
50	1.35	0.969	71.78	361
55	1.34	0.998	74.48	365
65	1.34	0.93	69.40	373
75	1.34	0.992	69.40	381
85	1.34	0.96	71.64	388
95	1.34	0.944	70.45	395
Promedio	1.33	0.94	70.58	

3.8. Simulación de la carga típica de la estación de carga de vehículo eléctrico nivel 2

Para la simulación de la estación de carga EVSE-RS se emplea el software PSIM®, la cual es una herramienta utilizada para realizar simulación de electrónica de potencia y circuitos eléctricos con una interfaz gráfica que permite realizar los diferentes tipos de circuitos de forma intuitiva. En el software mencionado se van a carga los datos presentados en la Tabla 3-8. Para la caracterización del consumo de corriente utilizando la ley de ohm calculamos la resistencia que representa la utilización de la estación de carga, por lo tanto, tenemos que $R=V/I$, obteniendo una resistencia de 8.14 Ω .

Para simular el efecto de los armónicos se emplea fuentes de corriente con la amplitud del armónico a simular y con su respectiva frecuencia. En la Figura 3-16 se presenta la carga simulada en el software donde se aprecia el uso de la resistencia para simular el consumo energético y dos fuentes de corriente con los valores obtenidos de las mediciones las cuales inyectan armónicos a la red. En la Figura 3-17 se muestra la forma de ondas de corriente y de tensión obtenidas mediante la simulación, apreciando que se obtuvo valores y formas de onda similares a los medidos en el laboratorio presentados en el punto 3.6 (Figura 3-10).

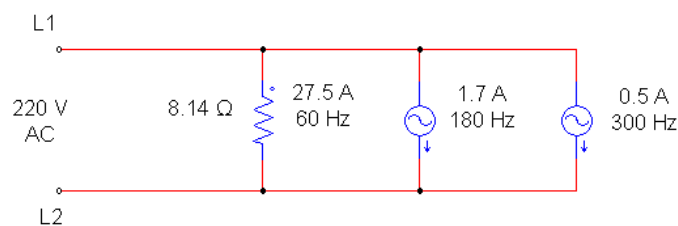


Figura 3-16. Carga típica de la estación de carga implementada en el simulador

El valor de distorsión armónica de corriente es del 6.52%. En la Figura 3-18 se puede observar los armónicos de corriente, teniendo valores RMS de 1.69 A y 0.49 A para el 3^{er} y 5^{to} armónico respectivamente, que son datos similares a los obtenidos con las mediciones en el laboratorio.

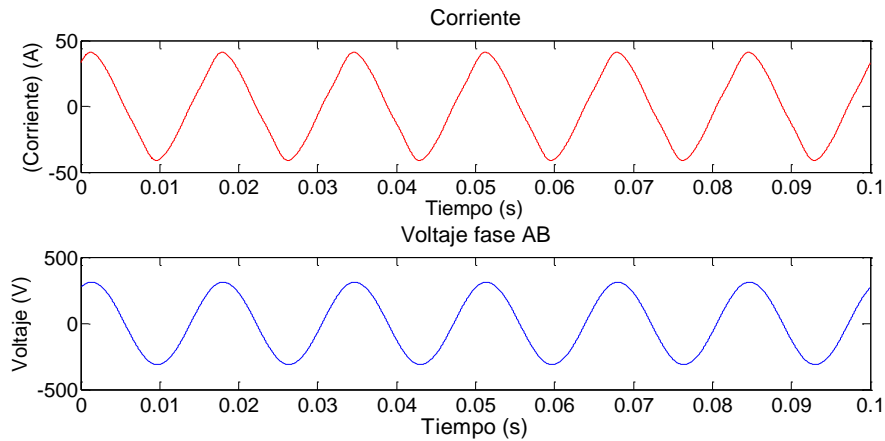


Figura 3-17. Corriente y tensión de la estación de carga de VE obtenidos en mediante simulación

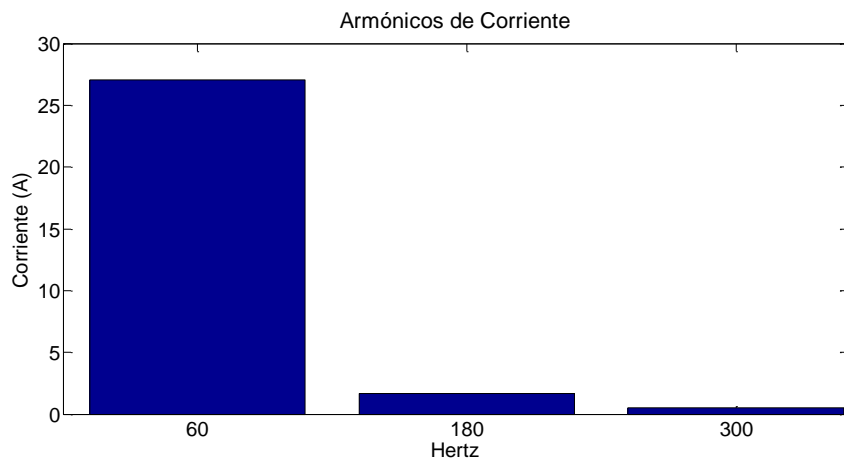


Figura 3-18. Armónicos de corriente obtenidos en la simulación de la estación de carga

3.9. Simulación de la estación de carga eléctrico en un alimentador

Para conocer la afectación que se produce en la red de distribución cuando se utiliza la estación de carga de VE se emplean datos reales de un alimentador de la ciudad de Cuenca, para ello se escogió un alimentador de la subestación No. 1, que suministra a la zona céntrica de la ciudad.

La subestación No. 1 está ubicada en las calles Luis Cordero y Alberto Muñoz Vernaza, con coordenadas grados decimales, longitud-2.889888 y latitud -79.002506. La subestación cuenta con 4 alimentadores con un nivel de tensión de 6.3 kV. El alimentador seleccionado para realizar el estudio es el 0102, el cual suministra energía

eléctrica a usuarios con características de consumo residencial y comercial (Figura 3-19).

El sistema de conducción del alimentador es subterráneo, con transformadores trifásicos con conexión delta-estrella, con tensión en el lado de baja tensión de 220 V línea-línea y 127 V línea-neutro.

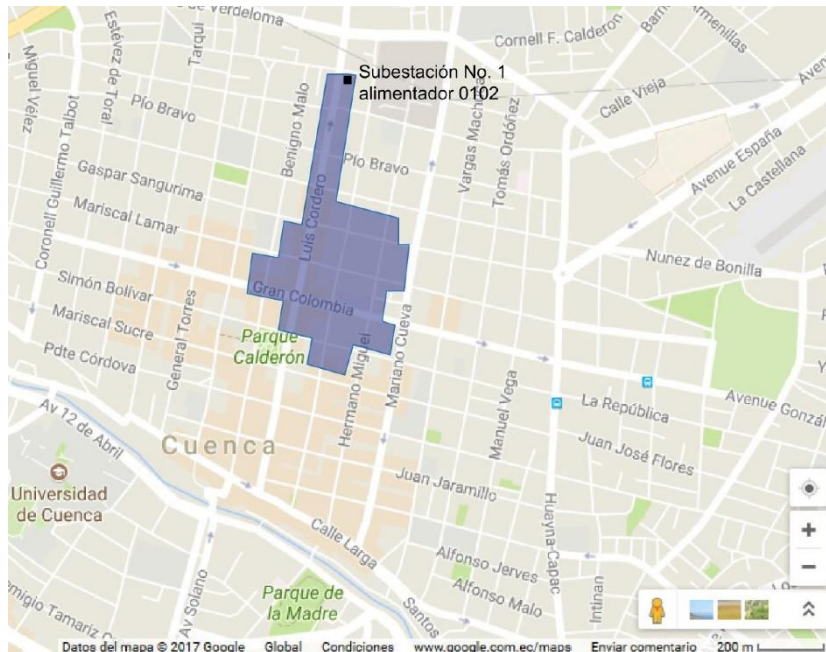


Figura 3-19. Ubicación geográfica Subestación No. 1

Mediante en software PSim® en el cual se implementó el alimentador 0102 con los datos de cargas, líneas y transformadores proporcionados por la EERCS. Se realiza medición de tensión en el lado de baja tensión para conocer si existe una caída de tensión a la salida del transformador, así como el nivel de distorsión en la tensión en el momento de utilizar las estaciones de carga. También se realiza mediciones de corriente en el lado de baja tensión, para analizar si se sobrepasa la capacidad de conducción de las líneas y para calcular el nivel de armónicos generados por el uso de la estación de carga. Además, se analiza la potencia consumida para verificar si con la nueva carga la capacidad del transformador es la adecuada, las conexiones se pueden observar en la Figura 3-20.

El alimentador seleccionado cuenta con 37 cargas concentradas, para la implementación de cada carga en el software de simulación se tomó en cuenta la impedancia de línea de media tensión la cual varía para cada carga dependiendo de la distancia el conductor empleado es modelo 15kV CU 250 con una capacidad de

conducción de 400 A, soporta una tensión de 15 kV. La potencia del transformador de distribución varía según la carga a la que va conectada, estos valores los podemos encontrar en el anexo B. La impedancia de línea de baja tensión se tomó con un valor igual para todas las cargas debido a que la distancia no es considerable por lo que se tendrá una caída de voltaje despreciable. Otro factor que se tomó en cuenta es la carga sea residencial o comercial, la simulación de la carga se la realizo de forma balanceada debido a que los datos proporcionados por la EERCS son balanceados. Si bien el tener un caso balanceado es un caso ideal el cual en la realidad no se daría debido a que es difícil predecir el comportamiento de uso energético de los usuarios, este estudio si permite determinar el nivel de afectación en lo referente a la capacidad del sistema de distribución y la distorsión producida con el ingreso de las estaciones de carga de VE.

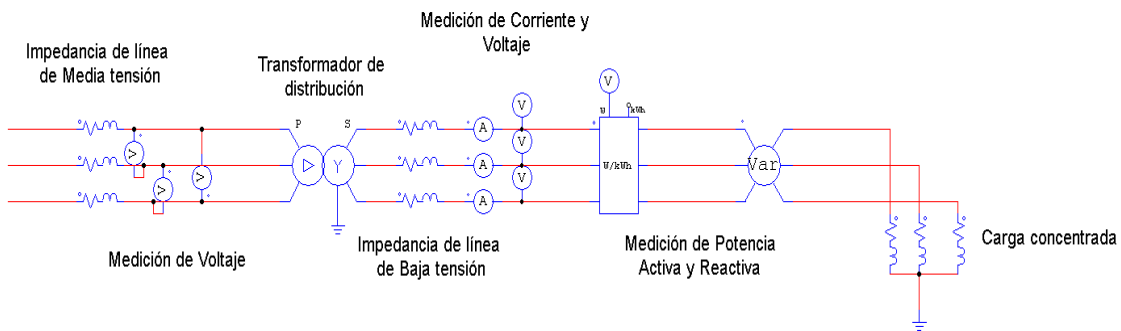


Figura 3-20. Simulación de una carga en el software Psim®

3.9.1. Impacto en una sección del Alimentador 0102

El análisis se inicia tomando una parte del alimentador con el objetivo de conocer la afectación que se produce en un punto de la red cuando se utiliza la estación de carga y si existe una afectación a los puntos cercanos en el cual fue conectada la estación de carga. En la Figura 3-21. Parte del alimentador 0102 para el análisis. En la Figura 3-21 se observa parte del alimentador a ser analizado. En la Tabla 3-11 se presentan los datos más relevantes de esta selección de red.

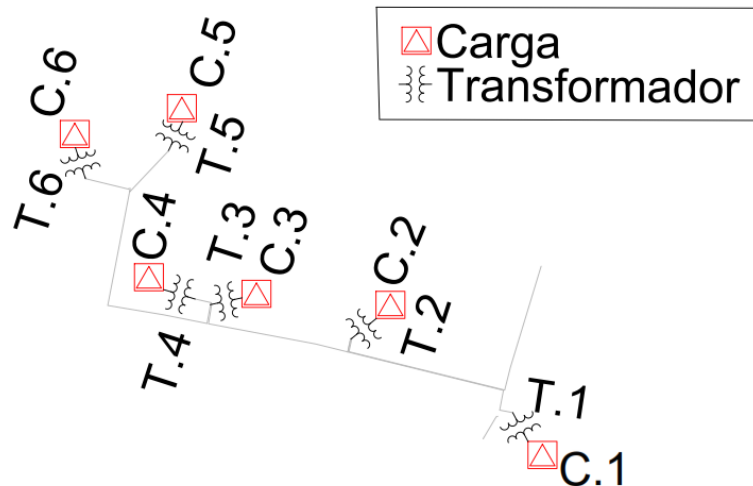


Figura 3-21. Parte del alimentador 0102 para el análisis

Tabla 3-11. Datos de un tramo del alimentador 0102

Carga N°	Capacidad del transformador (KVA)	Tipo de cliente	Número de clientes	Nivel de tensión (V)	Potencia Consumida (KVA)
1	250	Residencial Comercial	200	120	132.29
2	125	Residencial	1	120	48.24
3	150	Residencial Comercial	12	120	23.44
4	37.5	Residencial	1	120	5.72
5	45	Residencial Comercial	55	120	11.23
6	75	Comercial	1	120	19.01

Para el análisis se establece un escenario en el cual se conectan un total de 29 estaciones de carga de forma no determinística, debido a que pretende evaluar el peor caso, conectado más número de estaciones de carga en puntos en que existen clientes tipo residencial con mayor consumo energético. La estación de carga se conecta en 2 de las 3 fases del sistema trifásico, distribuidos en las cargas como se indica en la Tabla 3-12.

A la carga típica actual de los usuarios del sector, se procede a conectar 29 estaciones de carga, las cuales se establece que funcionan de forma simultánea con el fin de observar el peor caso tanto desde el punto de vista de la calidad, como de la capacidad del sistema, puesto que se ha visto estudios en los que al tener cargas no lineales (con distorsión armónica) al actuar de forma aleatoria existe mayor probabilidad que los armónicos se cancelan entre si [27], [28], en tanto que al estar conectados en forma simultánea existe mayor probabilidad que la amplitud de los armónicos aumenten, así también tendremos una mayor afectación desde el punto de

vista de la capacidad del sistema, debido que con el incremento en forma simultánea se requiere mayor energía que si tuviéramos un caso aleatorio. En la Tabla 3-13 se presenta las mediciones obtenidas.

Tabla 3-12. Número de estaciones de cargas conectadas

Carga No.	Estación de carga conectadas	Carga No.	Estación de carga conectadas	Carga No.	Estación de carga conectadas
1	11	3	1	5	14
2	1	4	1	6	1

Tabla 3-13. Mediciones obtenidas

Carga No.	Corriente	A	THD _i %	Voltaje	V	THD _v %	Potencia(kVA)
C1	I _{1a}	539.18	2.54	V _{3a}	119.67	0.20	195.94
	I _{1b}	517.55	0.58	V _{3b}	119.63	0.52	
	I _{1c}	520.32	2.47	V _{3c}	119.60	0.67	
C2	I _{2a}	160.04	1.08	V _{4a}	122.14	0.17	57.33
	I _{2b}	157.05	1.15	V _{4b}	121.96	0.52	
	I _{2c}	136.19	0.70	V _{4c}	122.12	0.67	
C3	I _{3a}	90.90	1.91	V _{5a}	122.59	0.17	30.92
	I _{3b}	88.14	1.98	V _{5b}	122.41	0.53	
	I _{3c}	66.42	0.70	V _{5c}	122.57	0.68	
C4	I _{4a}	40.53	4.31	V _{6a}	119.53	0.18	11.20
	I _{4b}	39.03	4.47	V _{6b}	119.45	0.53	
	I _{4c}	15.83	0.70	V _{6c}	119.57	0.68	
C5	I _{5a}	278.15	6.91	V _{7a}	121.36	0.22	90.30
	I _{5b}	235.07	2.19	V _{7b}	121.50	0.54	
	I _{5c}	213.10	6.67	V _{7c}	121.60	0.68	
C6	I _{6a}	78.53	2.21	V _{8a}	122.66	0.17	26.16
	I _{6b}	75.90	2.29	V _{8b}	122.48	0.53	
	I _{6c}	53.90	0.71	V _{8c}	122.65	0.68	

De la Tabla 3-13 podemos apreciar que los valores de THD_i están dentro de los límites de las normas permitidas siendo el valor más elevado el de 6.90% en la carga 5 las formas de onda de corriente tienen ligeras deformaciones debido a la distorsión además de presentar una mayor corriente en la fase A en donde se conectaron mayor cantidad de estaciones de carga, este resultado se puede apreciar en la Figura 3-22, mientras que los armónicos obtenidos son presentados en la Figura 3-23. Se puede apreciar que cuando la carga habitual es más elevada (cargas típicamente resistivas)

presentado corriente con valores elevados, el efecto de los armónicos al usar la estación de carga de VE tiende a disminuir como en el caso de la carga 1 que cuenta con 11 estaciones de carga conectadas con un THD_i del 2.54%. Los armónicos de voltaje son bajos llegando a tener una máxima distorsión del 0.68% con formas de onda senoidales.

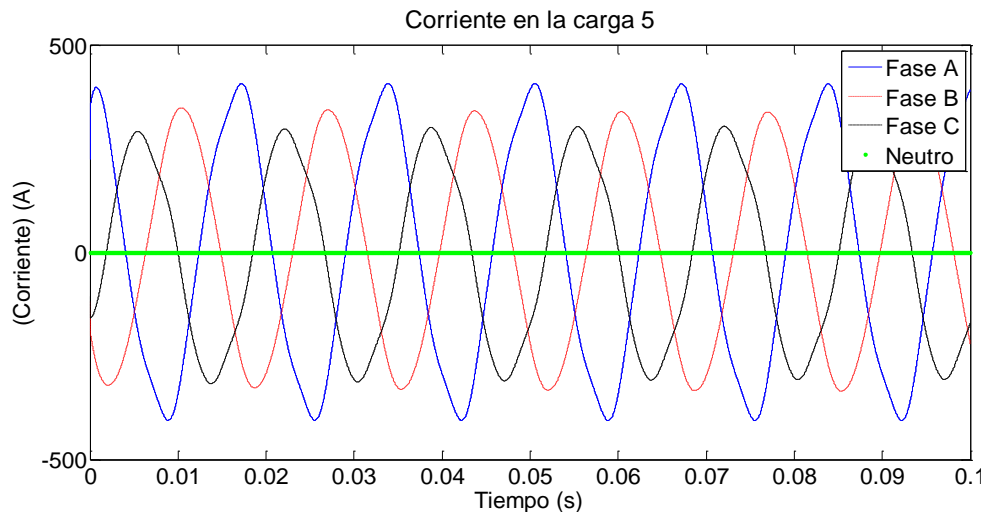


Figura 3-22. Formas de ondas de la corriente en la carga 5

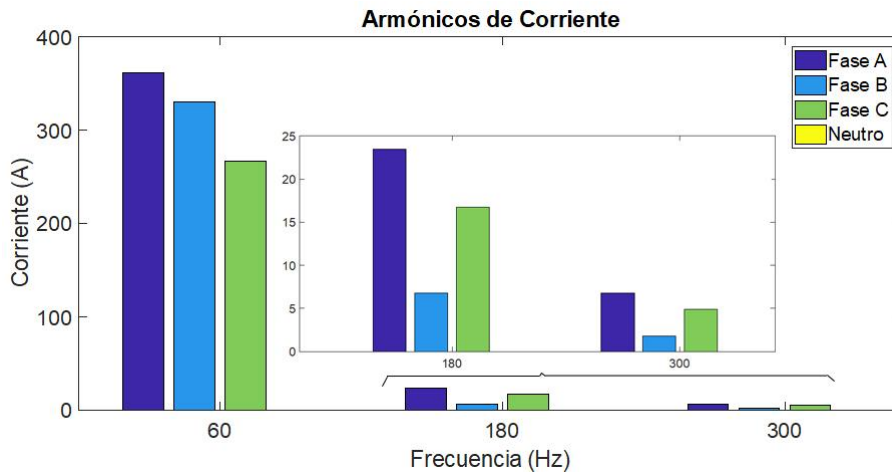


Figura 3-23. Armónicos de corriente de la carga 5

Desde el punto de vista de la capacidad del sistema se encontró dos problemas. El primero en la carga 1 donde se observa que se necesita 539.18 A, superando la capacidad de la conducción del cable, siendo necesario remplazar este conductor por uno de mayor capacidad, se lo puede remplazar por el 15kV CU 500 con una capacidad de conducción 685A.

El segundo problema se encuentra en la carga 5 en donde es superada la capacidad del transformador de 45 kVA requiriendo 90.29 kVA. Teniendo que ser redimensionando, si bien es cierto que los transformadores pueden trabajar con sobrecarga hasta un cierto límite como se indica en [29], hay que tomar en cuenta que el transformador estar trabajando con esta sobre carga por 5 horas aproximadamente lo que disminuye su tiempo de vida [30].

Para el dimensionamiento de los transformadores, la EERCS proyecta los transformadores de distribución para un tiempo de vida de entre 8 y 10 años. Uno de los métodos empleados para el dimensionamiento se describe a continuación.

Se inicia con la determinación de la demanda unitaria promedio proyectada ($DMUp$) de las tablas existentes, para este caso con un valor de 1.36 kVA [31]. Para calcular la demanda de diseño en la red de baja tensión y dimensionamiento del transformador de distribución se utiliza la ecuación (3-3):

$$DM_p = DMU_p * N * F_{coin} \quad (3-3)$$

Donde:

N: Número de clientes, F_{coin} : Factor de coincidencia para el caso de la EERCS tiene un valor dado por $N^{-0.0944}$ [31], DM_p : demanda máxima proyectada en el punto.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta también las demandas de las cargas especiales y el alumbrado público como para ello se utiliza la ecuación (3-4).

$$D = DM_p + A + Ce \quad (3-4)$$

Donde:

D es la Demanda de diseño (kVA), A es la carga alumbrado público (kVA) y Ce : cargas especiales (puntuales)(kVA).

Para determinar la capacidad de los transformadores de distribución, a los valores de demanda se multiplica por un factor de sobrecarga que se indican en la Tabla 3-14.

Tabla 3-14. Factor de sobre carga [31]

Categoría	Factor
A	0.9
B y C	0.8
D...H	0.7

Para dimensionar el transformador de la carga 5 se emplea la ecuación (3-3) obteniendo:

$$DM_p = 51.24 \text{ kVA}$$

Tomando en cuenta las estaciones de carga como cargas especiales, ya que las podemos tomar como cargas simultaneas [32] al conectar 14 estaciones de carga de 5.8 kVA aproximadamente usando la ecuación 4 se tiene:

$$DM = 51.24 \text{ kVA} + 5.8 * 14 = 132.44 \text{ kVA}$$

Finalmente aplicando el valor de sobrecarga tenemos en este caso de 0.7 se tiene un valor de:

$$DM = 92.7 \text{ kVA}$$

Al transformador existen se reemplazaría con un transformador con una capacidad de 100 kVA.

3.9.2. Impacto del uso de las estaciones de carga en el alimentador 0102

Para analizar el efecto producido en el alimentador seleccionado se colocan un total de 178 estaciones de carga de forma no determinísticas, En la Tabla 3-15 en se presenta el número de estaciones conectas en cada punto de carga, se conecta más estaciones en puntos con mayor número de usuarios residencial con mayor consumo energético. Las estaciones se conectan en 2 de las 3 fases del sistema trifásico de distribución, en el anexo C se encuentra en que cargas y cuantos se conectaron en cada fase, mientras en el anexo D se presenta los datos de corriente tensión armónicos y potencia en el alimentador obtenidos al conectar las estaciones de carga.

Se pudo observar que la mayor distorsión de corriente tiene un valor de 6.93%, que se producen en una carga en la que se encuentra conectado una estación de carga y sus cargas habituales. Se observa nuevamente que, al tener una mayor carga habitual y por lo tanto una corriente más elevada, el efecto de distorsión al conectar la estación de carga tiende a disminuir.

La distorsión de voltaje se mantiene en los rangos permitidos siendo el valor más elevado de 1.36%, con lo que podemos ver que la tendencia de no afectación se mantiene, con lo que al usar las estaciones de carga no presenta gran problema en lo que se refiera a la calidad. En lo que se refiere a la capacidad del sistema se presenta lugares donde se requiere un redimensionamiento de cable y transformadores.

Tabla 3-15. Distribución de estaciones de carga en el alimentador 0102

Carga No.	Usuarios	Usuarios Residencial	Cargadores conectados	Carga No.	Usuarios	Usuarios Residencial	Cargadores conectados
1	440	242	15	20	1	1	1
2	456	212	18	21	5	2	2
3	200	65	11	22	1	1	1
4	1	1	1	23	2	1	1
5	12	1	1	24	1	1	1
6	1	1	1	25	1	1	1
7	55	14	14	26	3	1	1
8	1	1	1	27	4	2	2
9	209	40	16	28	1	0	0
10	19	4	4	29	5	1	1
11	94	14	14	30	2	0	0
12	183	36	15	31	1	0	0
13	34	9	9	32	12	1	1
14	500	78	27	33	1	0	0
15	1	1	1	34	1	0	0
16	13	9	9	35	2	0	0
17	1	1	1	36	7	1	1
18	5	1	1	37	31	17	5
19	1	1	1				

Gráficamente se puede apreciar en la Figura 3-24 el alimentador con color verde distorsión del 0 al 2%, en amarillo del 2% al % 5 y del 5% al 7% en color rojo, observándose que se mantienen en verde para los armónicos de voltaje mientras que para corriente existe rojos y amarillos valores que son bajos y dentro de los límites permitidos.

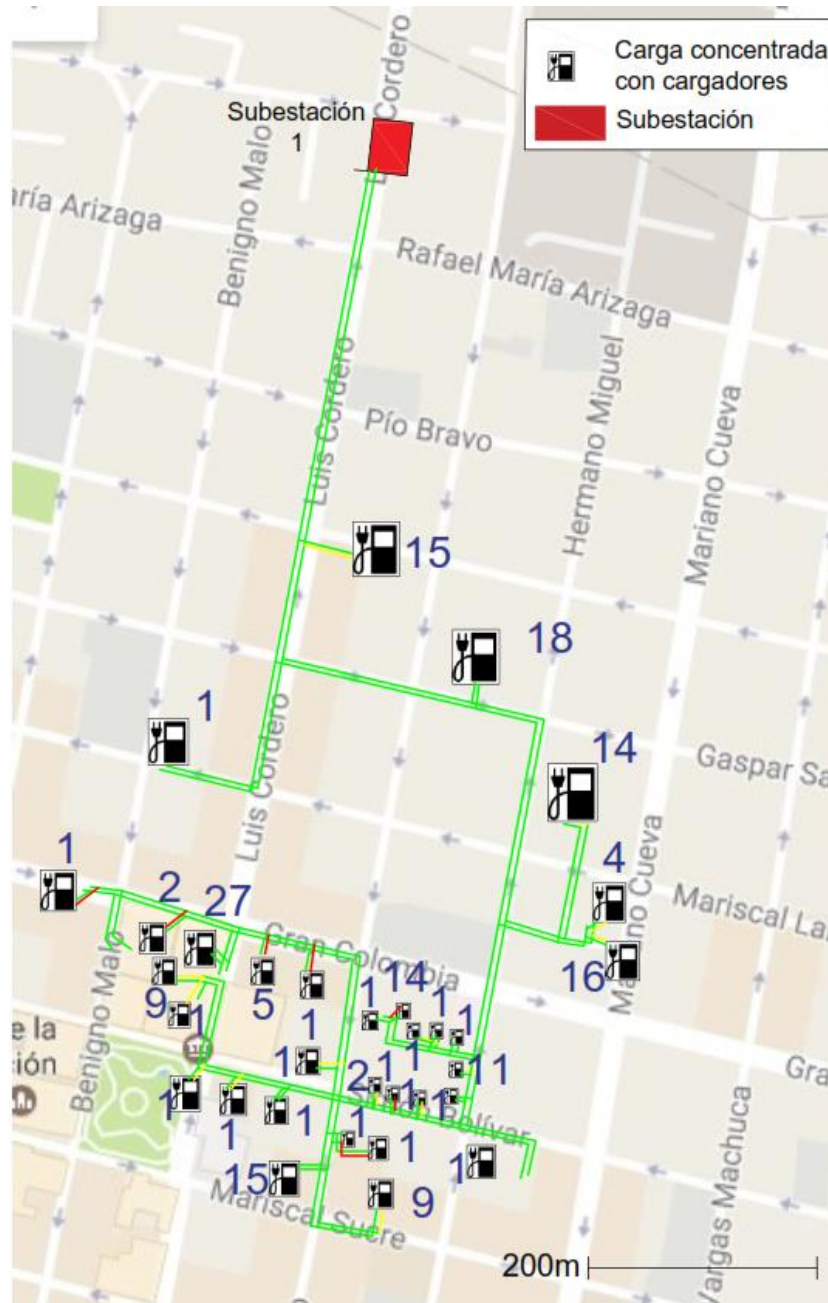


Figura 3-24. Alimentador con las estaciones de carga de VE

3.10. Conclusiones

Con los casos propuestos para analizar la utilización de la estación de carga de nivel 2, observado que el nivel de calidad de la energía con utilización de la estación de carga de los vehículos eléctricos, bajo el modelado de carga utilizado con distorsión armónica en corriente de 6.51% con una penetración estimada de hasta 178 vehículos no deberían presentar inconvenientes en la calidad del servicios eléctrico en la zona

de estudio, específicamente bajo el peor escenario de estudio la red de distribución presenta una THD_i 6.93% y 1.36% para el THD_v .

Desde el punto de vista de la capacidad del alimentador bajo algunos escenarios se encontró problemas de dimensionamiento siendo necesario realizar un análisis de la capacidad del sistema de distribución actual de la ciudad de Cuenca con el fin de conocer los puntos en los cuales es necesario realizar cambio de cables y/o transformadores con el fin de aumentar su capacidad según sea el caso.

Capítulo 4

4. Modelado de estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos, y su influencia en el sistema de distribución

4.1. Introducción

Con el ingreso del vehículo eléctrico al medio ecuatoriano, surge también la necesidad de crear una correcta infraestructura, la cual permita al público en general disponer de todas las herramientas necesarias para el uso del vehículo eléctrico, teniendo la certeza de encontrar estaciones de carga las cuales van a permitir realizar el proceso de cargado de las baterías del VE.

En el capítulo 3 se mencionó sobre las estaciones de carga semi-rápidas, técnicamente las de nivel L2, las cuales son destinadas para un uso doméstico y en lugares de acceso público, como son centros comerciales. Es importante destacar que los usuarios podrían no disponer del tiempo necesario para realizar una carga semi-rápida con un tiempo aproximado de 4.5 horas, con lo que surge la necesidad de la implantación de las estaciones de carga rápida o de emergencia, con las cuales en promedio se requiere unos 15 min. aproximadamente para realizar la carga de la batería hasta alcanzar un 80%.

En este capítulo se aborda los aspectos principales en referencia a las normas que debe cumplir este tipo de estaciones de carga, y en base a estas proponer una estación de carga con la cual mediante simulación podemos obtener los niveles de armónicos los cuales son de utilidad para insertarlos en la red, y observar la afectación producida tanto a nivel de calidad, como de la capacidad del sistema eléctrico en un punto de estudio, específicamente se estudia su aplicación es zonas urbanas de la Ciudad de Cuenca - Ecuador. Así también se da a conocer los puntos básicos a tomar en consideración para ubicar este tipo de estaciones dentro de las ciudades.

4.2. La estación de carga rápida

La estación de carga rápida es el equipo que provee de energía eléctrica al vehículo eléctrico para cargar su banco de baterías tan rápido como se lo permitan los niveles de seguridad dados por los estándares. En el caso de las estaciones de carga rápida la conversión de energía es comúnmente de AC/DC, y se realiza de forma externa al vehículo, diferenciándose a las estaciones semi-rápidas que emplean el conversor embebido en el vehículo. Una ventaja de las estaciones rápidas es que al ser externa no se encuentra limitadas por el tamaño por lo que cuenta con elementos de control que permiten reducir el nivel armónico producido en la conversión AC/DC, así también la utilización de filtros.

Actualmente el estándar más difundido y que más años tiene a nivel mundial cuyo nombre es registrado "CHAdeMO" que es el acrónimo de "CHArge de MOve", que se literalmente significa "carga para moverse", que ya que ha sido reconocido por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) como una recomendación para la carga de vehículos eléctricos de forma rápida mediante el estándar técnico "IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles", además de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) mediante el estándar "Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station", son presentadas las pautas que debe cumplir un cargador rápido en DC.

4.3. Estándar CHAdeMO

Las características que deben cumplir las estaciones de carga rápida son tomadas del estándar de CHAdeMO, puesto que es el más difundido actualmente y son detalladas a continuación [33].

Los requerimientos que debe cumplir la estación de carga:

1. El dispositivo debe indicar al usuario el estado del proceso de carga y de ser necesario tomar acciones correctivas.
2. Tanto el cargador como el vehículo deben estar equipados con medios que permitan la confirmación que se encuentran conectase durante la carga.

3. El cargador debe contar con medios para detener la carga en caso de que se produzca una interrupción con la comunicación entre el cargador y el vehículo.
4. Cuando se desconecta el cargador debe parar el proceso de carga dentro de 10s.
5. El cargador debe detectar pérdida de aislamiento, corto circuito y falla de tierra.
6. El cargador debe estar equipado con función de protección de sobre voltaje.
7. El sistema debe ser diseñado de tal manera que cuando no se esté realizando carga el voltaje no debe estar presente en los bornes del conector.
8. El sistema debe ser diseñado de forma de proteger a los usuarios, por lo que los usuarios no puedan tocar las partes eléctricas energizadas del vehículo y el cargador.
9. El cargador debe estar equipado con medios de detección de corriente de fuga a tierra y desconexión automática para evitar choques eléctricos.
10. El cargador o el conector de carga deber contar con una tapa plástica de protección en los terminales para reducir el riesgo de contacto con las partes vivas.
11. El cargador debe contar con equipo de protección contra sobre carga y corto circuito en el lado de suministro de corriente alterna AC.
12. El sistema de carga debe ser diseñado para que el nivel de voltaje entre alguna parte accesible del conductor, incluyendo el cable, el conector, y una parte de tierra disminuya a menos de 60 V en 1 s, después de remover el vehículo o el cargador.

El estándar también especifica que las condiciones para el uso del cargador en lugares abiertos deben trabajar en ambientes con una altitud de 1000 m o menos, con temperaturas entre -10°C a 40°C y con niveles de humedad entre 30% al 90%, en este aspecto, es necesario aclarar que, aunque la recomendación afirma que pueden ser utilizadas en alturas menores a 1000m, el presente estudio está enfocado a ciudades andinas con alturas en promedio 2500m de altura y se presume el adecuado funcionamiento de la estación de carga con las respectivas pruebas de cada equipo bajo esta consideración.

Las especificaciones que deben cumplir los cargadores se tienen en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Especificaciones para el cargador rápido [33]

Método de control	control de corriente constante basado en la corriente requerida por el vehículo.
Alimentación de entrada	Voltaje nominal de cada país AC ($\pm 15\%$), 50 Hz o 60 Hz ($\pm 5\%$). Factor de potencia de 0.95 o más en condiciones de máximo valor de potencia y corriente de salida de el cargador. Si al aplicar un transitorio de voltaje de 6 kV en lado de primario, el voltaje a tierra sobrepasa los 300 V, en el lado secundario debe ser reducido a bajo de 2.5 kV. Si se usa un pararrayos para reducir el transitorio de voltaje, se omite la prueba del pararrayos.
Salida	Voltaje de 50 V DC a 500 V DC y corriente de 0A a 125 A
Rizado	hasta 10 Hz: 1.5 A o menos. hasta 5kHz: 3 A o menos.
Eficiencia de conversión	90% o superior.
Ruido	65 db o menos @ 1m.
Sistema de comunicaciones	Protocolo de comunicaciones usado Can 2.0. transmisión a 500 kbps. ciclo de transmisión a 100 ms $\pm 10\%$.
Sistema de protección	Circuito principal: Interruptor de falla de tierra y corto circuito. Circuito de control: Interruptor de falla de tierra y corto circuito.

Para el diseño del cargador se debe tomar en cuenta:

El método de carga: el método usado para la carga es corriente constante. El vehículo debe transmitir la corriente de carga requerida al cargador en un intervalo de tiempo constante. El cargador debe entregar la corriente correspondiente con el valor pedido. Si el valor de corriente pedido por el vehículo cambia el cargador debe cambiar la salida de corriente y seguir el nuevo valor pedido.

Control de señales: se debe dedicar una señal de control para transmitir señales con respecto al comienzo y fin de la carga.

La comunicación: debe usarse para transmitir los datos que se requiere para el control de carga, el cargador y el vehículo deben intercambiar parámetros a través de la interfaz de comunicaciones.

Funciones esenciales: el cargador debe contar con las siguientes funciones:

1. Confirmación de conexión: Tanto el cargador como el VE debe contar con equipo que permita conocer cuando están conectados durante la carga.
2. La carga se debe detener en caso de falla de comunicaciones.
3. Cuando el conductor entre el VE y el cargador es retirado el cargador debe inmediatamente detener la carga.

4. Durante la carga el cargador debe detectar las fallas de tierra en el lado de DC y parar la carga.
5. Protección de corto circuito
6. Debe existir protección de sobre voltaje.
7. Las señales para detención del VE al cargador deben ser redundantes. El proceso de carga debe detenerse con un evento con señales análogas o datos por el bus CAN. El cargador debe estar equipado con equipos que aseguren la terminación de la operación de acuerdo con el requerimiento del vehículo.
8. El cargador debe estar equipado con sistema de medición de voltaje, conociendo cuanto voltaje puede ser aplicado en el vehículo y cuando el cargador puede ser removido.
9. Tanto el cargador como el vehículo debe estar equipados con medios de almacenamiento de información de errores e investigación en caso de mal funcionamiento en cualquier lado.

La estructura que debe tener el cargador se presenta en la Figura 4-1, en donde se indica que cuenta con un conversor AC/DC, el estándar especifica que la entrada AC y la salida en DC deben ser aislada para ello cuenta con una segunda etapa en la que se invierte DC/AC, con lo que se puede aislar AC con un transformador para posteriormente realizar la rectificación. También debe contar con un diodo para prevenir que la corriente retorne, adicionalmente también tiene un fusible con valor por debajo de 250 A.

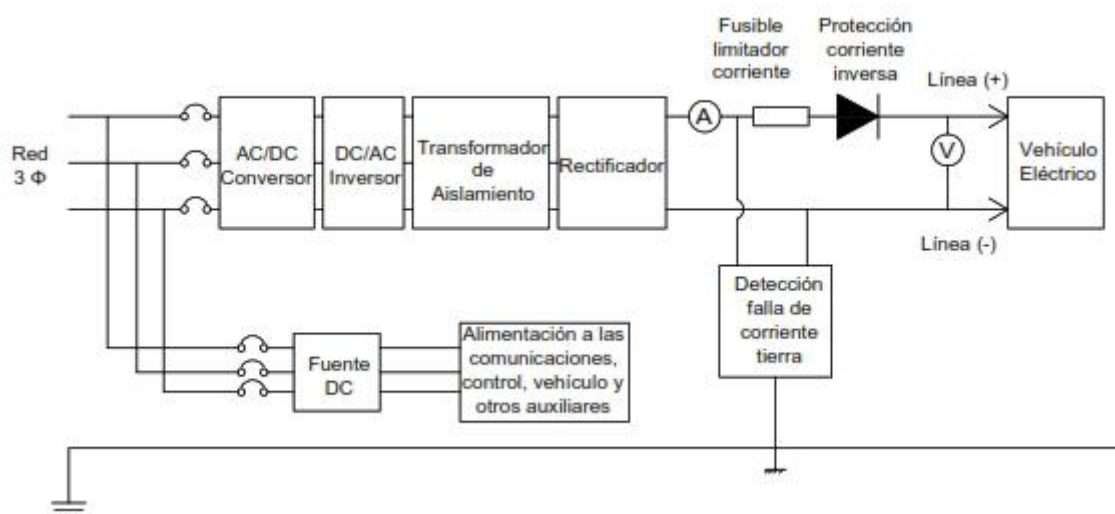


Figura 4-1. Partes de la estación de carga rápida según CHAdeMO [33]

La estación de carga debe estar preparada para alimentar al contactor del vehículo eléctrico con 12 V DC. Esta alimentación debe ser independiente de la alimentación principal de modo que al existir un mal funcionamiento de la principal no se vea está afectada. Esta alimentación debe ser a 12 V DC $\pm 10\%$, con corriente de 2 A y una potencia de 24 W. Adicionalmente el cargador debe proteger al vehículo de corto circuitos en la alimentación de 12 V, el límite de la corriente de corto circuito es de 6 A.

4.4. Diseño de la estación de carga rápida

En este apartado se ha realizado un estudio teórico con el uso de herramientas computacionales, específicamente la estación se ha emulado con el empleo del software PSIM[®] versión 9.0 estudiantil. En el cual se obtiene el comportamiento de los armónicos de voltaje y corriente producidos por la estación en un punto de conexión junto a un alimentador del sistema de distribución de energía eléctrica. El diseño de la estación de carga rápida se basa en el reporte de la referencia [34].

Del estándar descrito en el punto anterior tenemos que la estación de carga cuenta con un sistema de conversión de energía AC/DC, descrito a continuación:

4.4.1. Convertidor AC/DC

Su función es la de convertir la corriente alterna proveniente de la red en corriente continua con un comportamiento definido en términos de calidad de energía descritos en el estándar.

El Convertidor que se propone es trifásico completamente controlado, por lo que se emplea transistores, además de ser de puente completo, por lo que presenta la ventaja de utilizar el ciclo positivo y negativo del AC, presentan menor rizando, con menor capacitores, control del flujo de potencia activa y reactiva entre la red eléctrica y el convertidor, baja distorsión de corriente armónica, control de factor de potencia de desplazamiento y compensación de la potencia reactiva.

El funcionamiento básicamente consiste en mantener el nivel de voltaje del bus DC en un valor de referencia deseado, con este fin se emplea un lazo de control

realimentado, el voltaje DC se mide y es comparado con la referencia V_{ref} obteniendo la señal de error la cual sirve como nueva referencia al lazo de control interno, el cual se encarga de modificar el comportamiento de encendido o apagado de los transistores.

El convertidor AD/DC, se diseña para cumplir con tener un voltaje DC (V_{dc}) de 800V, potencia de 50 kW.

Para la alimentación se toma un transformador de 75 kVA conexión estrella-triángulo, con un voltaje en el devanado primario de 6.3 kV, ya que este voltaje es el utilizado en la zona de estudio (Centro urbano Ciudad de Cuenca), pudiendo también tener un voltaje de entrada de 13.8 kV y 22 kV según la fuente de alimentación disponible en otros sectores de la ciudad, y cuya salida se ha definido en 380 V *rms* línea a línea en el devanado secundario del transformador de aislamiento.

Para la conversión de energía AD/DC, se utilizan transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) del inglés *Insulated Gate Bipolar Transistor*, por su capacidad de energía a frecuencia relativamente elevadas y tiempos de conmutación reducidos, para esta investigación se utilizan las características técnicas del conjunto de transistores del fabricante Semikron, y modelo SKiiP 613 GD123-3DUL V3, los cuales deben soportar los voltajes y corriente deseados para el funcionamiento del convertidor así como una frecuencia de conmutación adecuada.

Bus de Continua o DC-link: Elemento encargado de reducir las variaciones del voltaje de salida del convertidor AC/DC, generalmente están compuesto por un conjunto de condensadores con características técnicas particulares, y son usados como un circuito intermedio entre dos circuitos en aplicaciones de electrónica de potencia como se aprecia en la Figura 4-2.

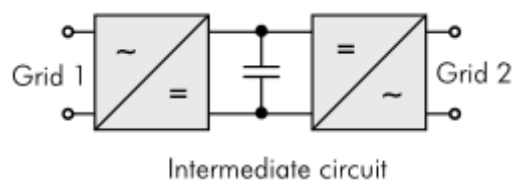


Figura 4-2. DC-link [35]

Para el cálculo de los condensadores del bus de continua o DC-link, existen distintos criterios para su dimensionamiento, uno de ellos es, el de nivel mínimo deseado de voltaje de rizado en el bus de continua, en esta aplicación se ha utilizado el criterio de obtener un voltaje de rizado que corresponde al 1% del voltaje del bus de continua, teniendo así la ecuación (4-1).

$$\Delta V_{dc} = 0.01 * V_{dc} \quad (4-1)$$

El voltaje del rizado de la DC-Link está en función de la corriente y el capacitor, además de la frecuencia de conmutación (f_{sw}), para ello se emplea las ecuaciones (4-2).

$$C \geq \frac{T_{sw}}{2\Delta V_{dc}} i_{dc} * \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2} m_a\right) \quad (4-2)$$

Donde m_a es índice modulación que determina la región de operación y está definida por la ecuación (4-3).

$$m_a = \frac{2 * \sqrt{2} * V_{ff}}{\sqrt{3} * V_{dc}} \quad (4-3)$$

i_{dc} es corriente en el DC-link tendiendo una potencia de 50 kW y voltaje de DC_link (V_{dc}) de 800 V limitada por los semiconductores el banco de condensadores del bus de continua, se tiene una corriente del bus de continua en i_{dc} de 62.5 A, el voltaje de línea de entrada V_{ff} (voltaje fase-fase) se definió en 380 V y el voltaje de salida V_{dc} en 800 V, T_{sw} es el periodo de la frecuencia de conmutación máxima al cual se opera el conjunto de semiconductores es de frecuencia de 15 kHz [36], y en esta aplicación en términos de operación segura se ha seleccionado un valor de 5 kHz, aplicando estos valores en las ecuaciones (4-2) y (4-3) se obtiene un m_a de 0.77, el cual está en la zona de modulación lineal. Y C con un valor de 260 μ F.

Una vez determinado el valor de la capacidad mínima con el fin de cumplir con el voltaje de rizado deseado, es importante seleccionar condensadores que permitan soportar la corriente al cual son expuestos por el convertidor AC/DC y la carga en continua, para esto se estima una corriente rms en el condensador equivalente mediante la ecuación (4-4), este será un valor aproximada, el cual debe ajustarse mediante el uso de software.

$$I_{c(rms)} = \hat{i}_{a1} * \sqrt{\frac{\sqrt{3}m_a}{4\pi} + \left(\frac{\sqrt{3}m_a}{\pi} + \frac{9m_a^2}{16}\right) * \cos(\varphi_o)^2} \quad (4-4)$$

Donde \hat{i}_{a1} es la corriente pico de fase a del rectificador a potencia nominal, con un valor de 107.43 A, $\cos(\varphi_o)$ representa el factor de desplazamiento, que contiene el

ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje de la fuente de alimentación, teniendo un valor estimado de 0.95, obteniendo una corriente de 97.35 A.

Se escoge un capacitor de 450 V con una tolerancia del 20%, con una capacitancia de 8200 μF , el cual soporta un corriente de rizo de 34 A para frecuencias mayores a 3 kHz [37]. De estos datos tenemos que para tener un voltaje de 800 debemos conectar dos capacitores en serie y dos capacitores en paralelo para soportar la corriente.

Resistencia de equilibrio con el objetivo de que las tensiones en cada capacitor sean equilibradas, para el dimensionamiento existen varias alternativas en la referencia [38] se indica que se debe limitar la potencia de las resistencia con el fin de evitar calentamientos en base a esto se escoge una máximo de 10 W por resistencia resultando un valor de 28125 Ω .

La conexión de los capacitores y resistencias se puede observar en la Figura 4-3.

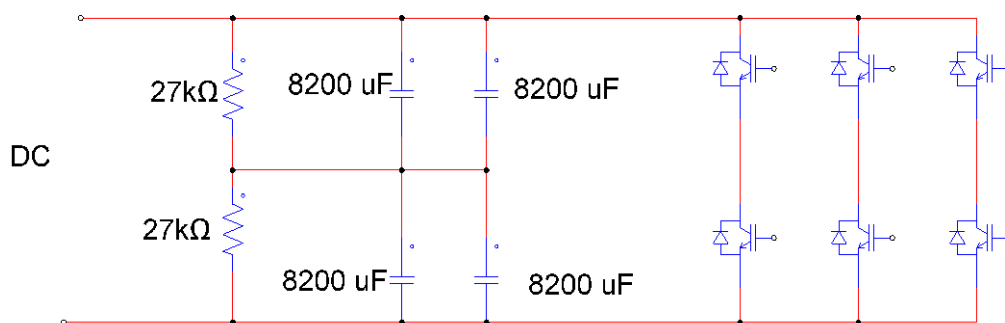


Figura 4-3. Esquema del convertor AC/DC

Filtro LCL: Este elemento puede o no ser necesario debido a las condiciones de calidad de energía con que se desea operar la estación de carga, en esta investigación se ha utilizado un filtro de tipo LCL el cual mejora considerablemente la calidad de energía según [39], y es comprobado en el estudio detallado en las próximas secciones.

Estudios previos indican que este tipo de filtro mejoran el comportamiento de otro tipo de filtros como los filtros inductivos o los filtros de tipo LC, ya que al tener una menor tasa de distorsión total armónica (*THD*), menor tamaño y peso, tiene una mayor capacidad de filtrado y menor caída de tensión en el filtro, al verse reducidos los valores de las inductancias en serie, permitiendo operar con menores índices de modulación, lo cual permite mejorar la forma de onda de la corriente. Este tipo de filtros presentan algunas desventajas como los aspectos económicos y que si son mal

dimensionados pueden presentar dinámicas inestables por lo que se requiere especial cuidado en su diseño y aplicar técnicas como el uso de resistencia de amortiguamiento para reducir el efecto de sus posibles resonancias a frecuencias baja que puedan causar inestabilidades [39]. En la Figura 4-4 se presenta la configuración LCL la cual está formada por una inductancia conectada a la salida del inversor, un condensador en paralelo a la fuente con su resistencia de amortiguamiento y una segunda inductancia que se conecta a la red en cada fase.

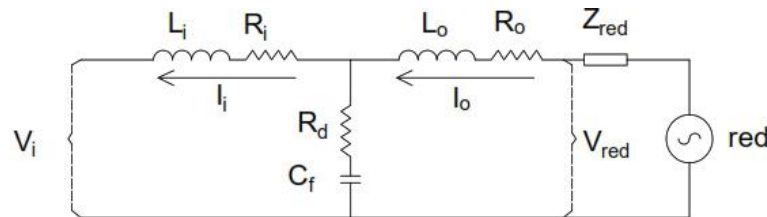


Figura 4-4. Filtro con topología LCL

Para el diseño de un filtro LCL se debe tomar en cuenta el conseguir la mayor cantidad de filtrado sin ocasionar problemas al convertidor, los límites de distorsión armónica están dados por las normas IEEE 1547 e IEC 61000-4-5.

Para la utilización de métodos de amortiguamiento es necesario encontrar la frecuencia de resonancia a una distancia entre la frecuencia de red y la frecuencia de conmutación. Esta debe ser diez veces superior a la frecuencia de la red y la mitad de la frecuencia de conmutación [39].

En lo que se refiere a las caídas de tensión en las inductancias no deben ser elevadas un valor que se escoge típicamente es de 0,1 pu [39].

El condensador debe dimensionarse con porcentaje al 5% de la capacidad base de tal manera que las intensidades I_i e I_o sean prácticamente iguales [39]. Para el cálculo de la inductancia se ha utilizado la ecuación (4-5).

$$L_i \leq \frac{0,05V_{ll}m_a}{\Delta i_{f_{ase}} * f_{sw}} \quad (4-5)$$

Con un voltaje de alimentación de $V_{ll} = 380V$, $m_a=0.77$, La variación de la corriente se ha definido en $\Delta i_{f_{ase}} = 5.3 A$, dicho valor corresponde al 5% del pico de la corriente nominal con un valor de 107.43 A, f_{sw} es la frecuencia de conmutación que se he definido en 5 khz, obteniendo un valor de $L_i = 0.55 mH$.

Para la determinación de la inductancia del lado de la fuente de alimentación AC L_o se considera que consuma entre el 10% y el 20 % de la potencia reactiva que

consume L_i , con lo que estaría entre los valores de 55 μH y 110 μH , escogiendo un valor intermedio de 80 μH .

El capacitor C_f se encuentra en función de las inductancias y la frecuencia de resonancia, para encontrar la frecuencia se emplea la ecuación (4-6) y para la capacitancia la (4-7).

$$10 * f_{red} < f_o < \frac{1}{2} * f_{sw} \quad (4-6)$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L + L_o}{L * L_o * C_f}} \quad (4-7)$$

De donde se tiene que la frecuencia estaría entre los valores de 600 Hz y 2500 Hz, escogiendo un valor intermedio de 1500 Hz, reemplazando este valor y los valores de inductancia ya encontrados se obtiene una capacitancia C_f de 308.87 μF .

Es recomendable colocar una resistencia en serie al capacitor para reducir el efecto de la resonancia la cual es calculada por la ecuación (4-8).

$$R_d = \frac{1}{3} \frac{1}{2\pi f_o C_f} \quad (4-8)$$

Obteniendo $R_d = 0.24 \Omega$, para determinar la corriente que debe soportar se emplea la ecuación (4-9).

$$i_f = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{2\pi f_{red} * C_f}} \quad (4-9)$$

Calculando una $i_f = 24.81 \text{ A}$.

Circuito de precarga: con el fin de disponer las condiciones adecuadas para el funcionamiento a potencia nominal, y suprimir corrientes elevadas que se producen en los regímenes transitorios de arranque, es necesario disponer una conexión temporal de resistencia las cuales limitan la corriente mientras se cargan los capacitores luego de dicho tiempo estas resistencias se desconectan, realizando un bypass eléctrico a fin de no eliminar estas resistencias bajo condiciones de régimen estacionario, a

efectos de esta investigación no es necesario su diseño ya que este circuito de precarga no influye en el comportamiento de régimen permanente.

Sistema de Conversor AC/DC: existen varias técnicas para la conversión de AC en DC, para el desarrollo de este trabajo se ha escogido VSI controlado por PWM, con lo que se obtiene una tensión continua. La estrategia de control se presenta en la Figura 4-5.

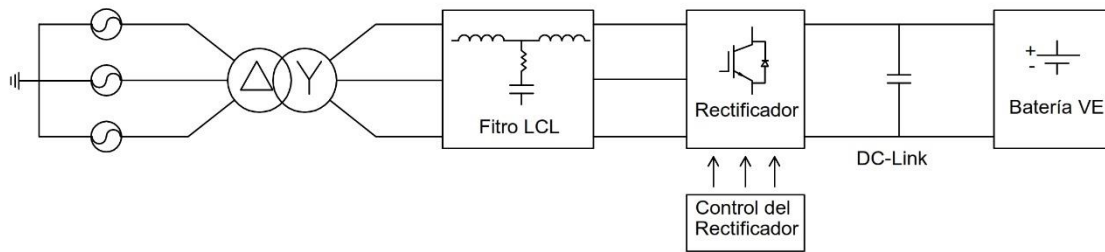


Figura 4-5. Estrategia de control AC/DC [19]

Para el control se emplea el sistema de referencia síncrono dq (Transformada de Park) y un modulador de ancho pulso PWM. En el control de bajo nivel, se tiene una topología de control en cascada conformados por: un lazo interno para control de corriente tanto para la corriente en directo como para la de cuadratura, y un lazo externo para el control de voltaje DC.

Para los lazos de control de corriente alterna, se emplea la transformada de Clarke, que permite transformar las variables eléctricos de un sistema trifásico (a,b,c) en un sistema bidimensional con coordenadas fijas ($\alpha,\beta,0$). A esta transformación se aplica una segunda transformación conocida como la de Park pasando los ejes fijos ($\alpha, \beta, 0$) a un sistema de ejes rotatorio (d, q, 0). El software PSIM® posee un bloque que permite realizar estas con transformaciones en la Figura 4-6, se encuentra la conexión donde se observa que se sensa la corriente de las líneas para enviar al bloque de transformación, teniendo a la salida las señales en sistema de referencia síncrono con los ejes d y q [40].

Para poder realizar las transformaciones de Park es necesario determinar la posición angular de referencia para las corrientes a controlar mediante el sistema de referencia dq . Para ello es empleado un sistema de sincronización de fase utilizando la técnica PLL el cual calcula el ángulo de las variables de la red, con esto se puede alinear uno de los ejes con el vector de tensión. El PLL es simulado como una señal diente de sierra con amplitud de 2 con un desfase de -30° de modo que se encuentre

en fase con la señal de red que se encuentra retrasada 30° por la conexión delta-estrella.

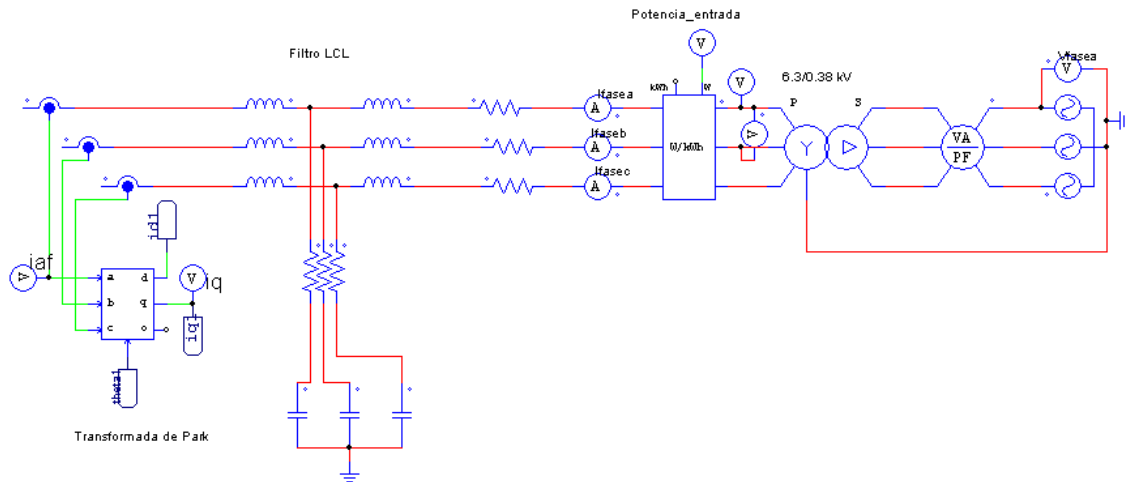


Figura 4-6. Conexión con la red

Para el sistema de control se cuentan con dos referencias V_{dc} y I_q , V_{dc} es la referencia del voltaje nominal en la salida de capacitor, mientras que I_q es la referencia proporcional de la corriente en el eje de cuadratura, que permite determinar cuanta potencia reactiva es consumida por el rectificador controlado, ajustando el eje en cuadratura se modifica el factor de potencia de desplazamiento (fp), los parámetros V_a , V_b , V_c , i_a , i_b , i_c de la red y V_{cd} son usados como retroalimentación como se indica en la Figura 4-7.

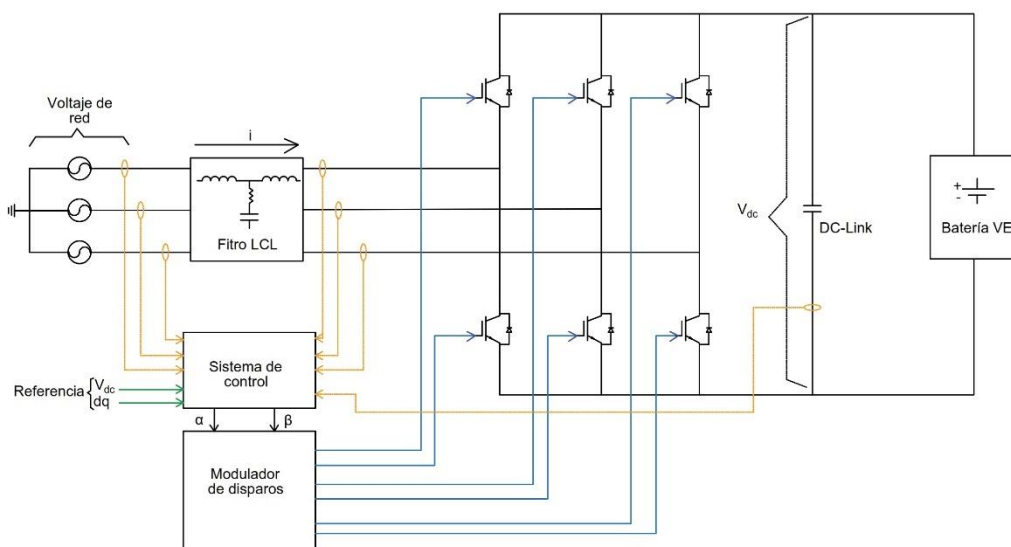


Figura 4-7. Esquema de un rectificador trifásico con PWM [19]

Para la sintonización de los lazos empleados para el control se emplea el modelado de pequeña señal. Para eliminar la interrelación entre las variables de corriente \tilde{i}_d e \tilde{i}_q , se emplea la técnica de desacoplo utilizando las ecuaciones (4-10) y (4-11) presentadas en [41]. El diagrama de control de corriente se presenta en la Figura 4-8. Estas ecuaciones presentan las características de ser de primer orden con un polo definido, los parámetros dependen del punto de operación y los elementos pasivos del sistema.

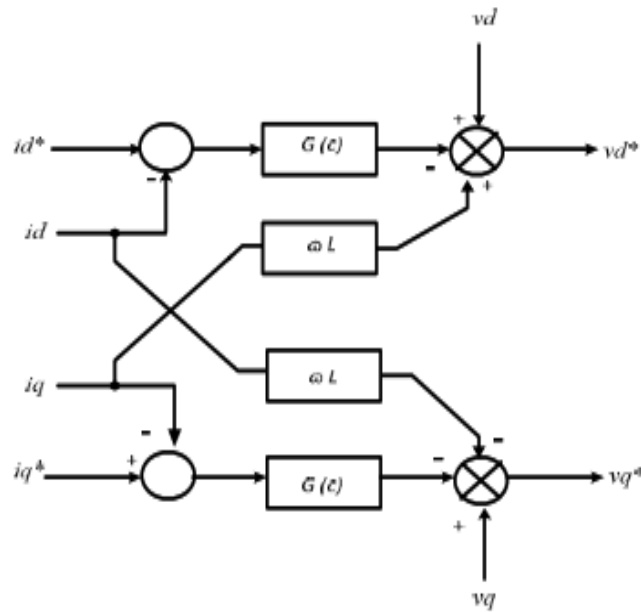


Figura 4-8. Diagrama de control de la corriente [41]

$$\frac{\tilde{i}_d}{d_d} = \frac{V_{dc}}{sL + r_{red}} \quad (4-10)$$

$$\frac{\tilde{i}_q}{d_q} = \frac{V_{dc}}{sL + r_{red}} \quad (4-11)$$

Donde V_{dc} es el voltaje del bus DC, L se puede aproximar a la inductancia del filtro LCL del lado del convertidor y r_{red} es la resistencia asociada a las inductancias asociadas al filtro LCL.

En la Figura 4-9 (a) se muestra la representación mediante bloques de control de la corriente en eje directo y en la Figura 4-9 (b) para la corriente en eje cuadratura. Los cuales depende del estado estacionario.

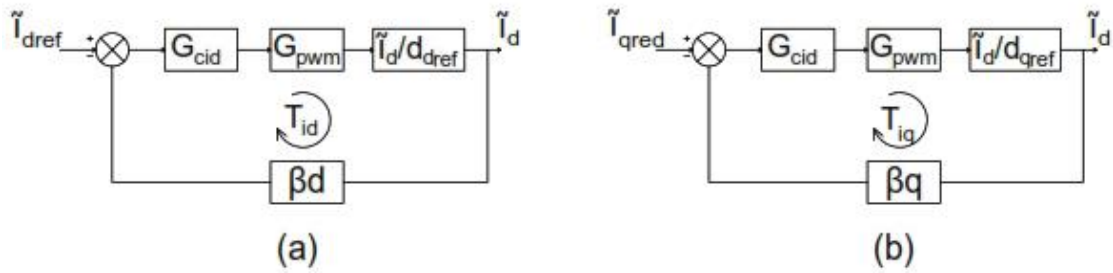


Figura 4-9. (a) Lazo de corriente de corriente directa, (b) lazo de corriente cuadratura

Donde G_{cid} y G_{ciq} son las funciones de transferencia de los controladores, β_d y β_q son ganancias que están asociadas con las mediciones de corrientes las cuales son compensadas para tener un valor de 1. La ganancia de PWM se calcula mediante la ecuación (4-12) en donde el V_{pp} es el voltaje pico a pico de la onda triangular a frecuencia de conmutación teniendo un valor de 1.

$$G_{pwm} = \frac{1}{V_{pp}} = 1 \quad (4-12)$$

Para el control de las corrientes asociadas, en esta investigación se utiliza técnicas de control clásico con la implantación de controladores proporcionales + integrales (PI), cuya sintonización de los controladores representados mediante los bloques G_{cid} y G_{ciq} son realizadas mediante la asignación de polos y ceros que den una respuesta de la ganancia de lazo abierto T_{id} con una frecuencia de corte menor a la mitad de la frecuencia de conmutación con un margen de fase superior a 50° , y un margen de ganancia mayor a 6db.

Con la ayuda del software Matlab se calcula los parámetros del regulador PI, utilizando los datos de la Figura 4-10, se obtiene el valor de $k_p=0.0119$ y $k_i=0.34$. Discretizando el controlador mediante la transformada bilineal o Tustin, y un tiempo de muestro para efectos del control de $F_s=20$ kHz, se tiene que el controlador resultante esta dado por la ecuación (4-13).

$$G_c = \frac{0.01123 Z - 0.01121}{Z - 1} \quad (4-13)$$

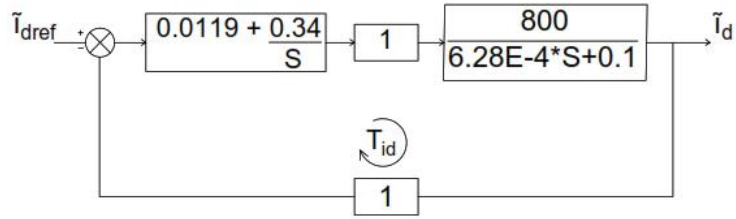


Figura 4-10. Lazo de control de corriente

El diagrama de bode obtenido se presenta en la Figura 4-11 apreciando un margen de fase (P.M) de 90.5° y una frecuencia de 2.4 kHz.

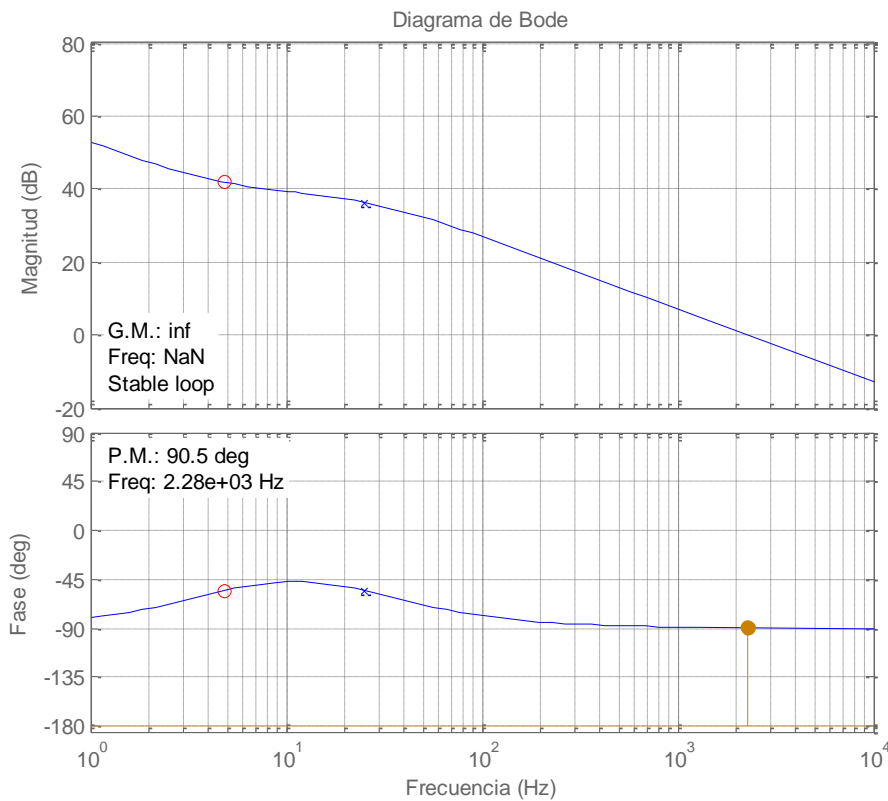


Figura 4-11. Respuesta en frecuencia, ganancia de lazo (T_{id} y T_{iq})

Los valores de obtenidos del regulador tienen el mismo valor tanto para el lazo de control de corriente de eje directo como el de cuadratura, lo que cambia es el valor de la referencia a seguir, para el caso de i_d tiene un valor de 0. En Figura 4-12 se presenta el diagrama de control de corriente implementado en PSIM®, donde se indica que la referencia del eje directo es 0 el bloque de ZOH es un retenedor de orden cero para emular el proceso muestreo a la frecuencia de muestreo seleccionada. En el bloque de programación se implementa el lazo de control para corregir el error en base

a la referencia, utilizando los valores PI ya calculados. Para eje de cuadratura cambia la referencia siendo está regulada por el control de voltaje.

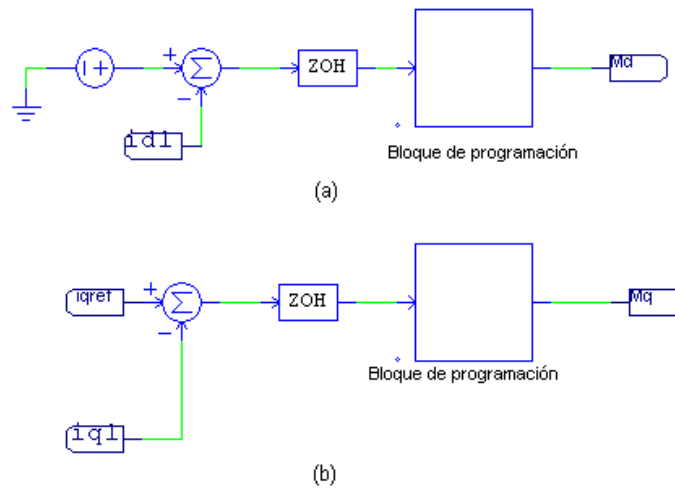


Figura 4-12. Control de corriente en Psim® (a) corriente eje directo, (b) corriente eje cuadratura

Para el control de voltaje se toma en cuenta el uso de un bus de continua como se indicó en la Figura 4-2. Este sirve de enlace entre la etapa AC/DC y DC/DC. En el bus de continuo existe un balance entre las dos etapas donde la etapa AC/DC es la encargada de mantener el voltaje en el condensador, la ecuación (4-14) presenta el balance de energía.

$$\frac{CV_{DC-link}}{dt} = i_{ac/dc} - i_{dc/dc} \quad (4-14)$$

Donde $i_{dc/dc}$ se toma como perturbación en las variaciones de las corrientes del convertidor DC/DC, en este sentido se han fijado en que tendría un valor de 0 para efectos de determinar el modelo de la función de transferencia del voltaje de salida en función de la corriente del eje en cuadratura del convertidor AC/DC y $i_{ac/dc} = d_q i_q + d_d i_d$, las variaciones de la corriente de eje directo se pueden despreciar, remplazando en la ecuación (4-14) y derivando se obtiene la ecuación (4-15).

$$\frac{V_{DC-link}}{\tilde{i}_q} = - \frac{D_q}{Cs + \frac{I_{link}}{V_{dc}}} \quad (4-15)$$

Donde D_q es un valor aproximado al índice de modulación en amplitud m_a dado que la referencia de corriente reactiva en esta aplicación es 0. y se encuentra dado por la ecuación (4-16), y s es el operador de la transformada de Laplace.

$$D_q = \frac{2\sqrt{2}V_{fn}}{V_{DC-link}} \quad (4-16)$$

Remplazando los valores de V_{fn} de 220 V y un $V_{DC-link}$ de 800 se tiene un valor de $D_q=0.77$.

La sintonización para el lazo de control de voltaje se realiza de manera similar a la realizada para el lazo de control de corriente. El bloque de control se presenta en Figura 4-13.

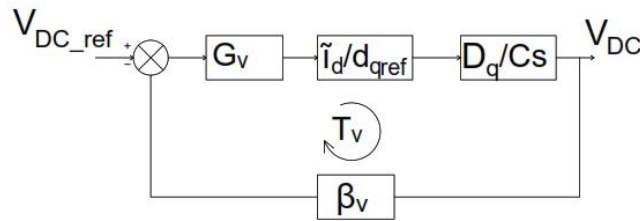


Figura 4-13. Diagrama de bloque del control de voltaje del bus DC

Dado que el lazo de control de la corriente debe actuar de manera más rápida se toma como una ganancia unitaria, de la misma manera se debe asegurar que la ganancia del lazo de control tenga un valor unitario. De igual manera se utiliza el software Matlab la frecuencia es una década menor que la utilizada en el lazo de corriente fijándola en 125 Hz, con lo que se tiene un valor de $k_p = 8.3$ y $k_i = 332$. se tiene que el controlador resultante este dado por la ecuación (4-17). El bloque de control resultante se presenta en la Figura 4-14. El diagrama de bode se presenta en la Figura 4-15 apreciando un margen de fase de 87.8° y una frecuencia de 125 Hz.

$$G_c = \frac{8.308Z - 8.292}{Z - 1} \quad (4-17)$$

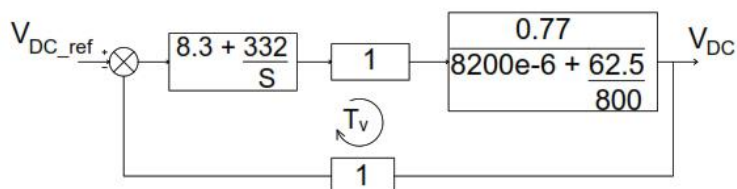


Figura 4-14. Bloque de control de voltaje

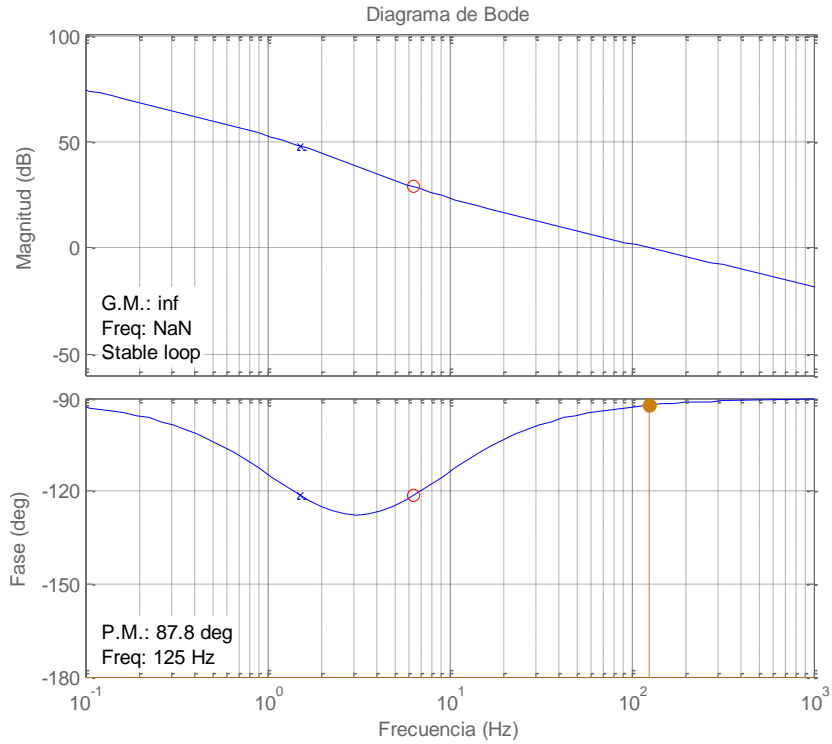


Figura 4-15. Respuesta en frecuencia de la ganancia del lazo T_v

La implementación en Psim[®] se aprecia en Figura 4-16, muy similar a la implementación del lazo de control de corriente, la referencia es el valor deseado en el $V_{DC-link}$ en este caso de 800 V, valor que se ha fijado por las limitaciones de voltaje en polarización inverso del conjunto de semiconductores seleccionados.

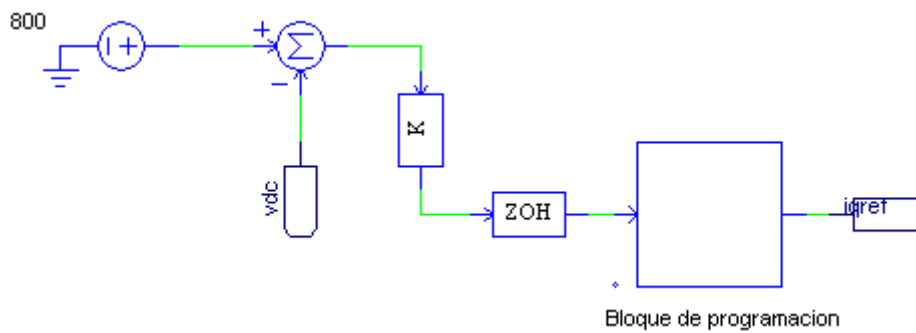


Figura 4-16. Bloque de control de voltaje implementado en Psim[®]

En Figura 4-17 se presenta la implementación del bloque de control del convertidor AC/DC. En la

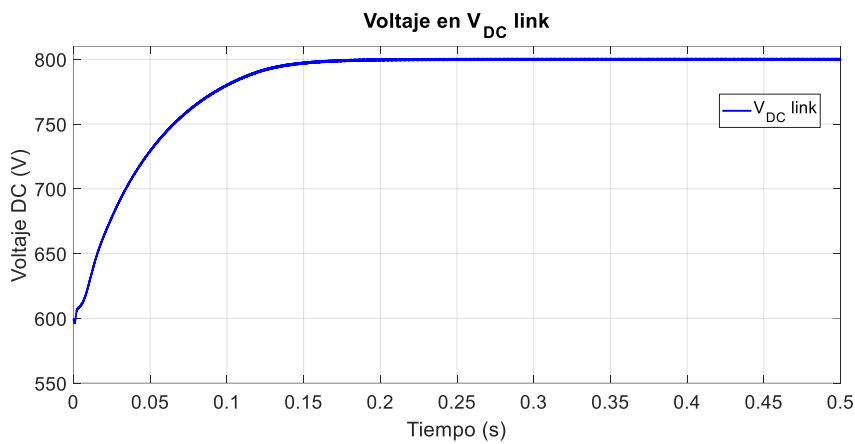


Figura 4-19 se presenta el comportamiento de voltaje en VDC-link, potencia (entrada y salida) y la corriente de entrada en la fase a obtenidos de la simulación del conversor AC/DC. Donde se aprecia que el voltaje de VDC-link llega a establecerse en los 800 V DC deseado en un tiempo de 0.155 s. Las mediciones de potencia activa y reactiva de entrada son tomadas en la salida del lado de baja tensión del transformador (Figura 4-18) obteniendo una potencia activa de 52kW y reactiva de 14 kVAR, la salida se mide antes de la resistencia que simula la carga del VE (Figura 4-17) y la de salida de 50 kW, con lo que se tiene una eficiencia del 96.15%. Los resultados gráficamente se presentan en la Figura 4-20.

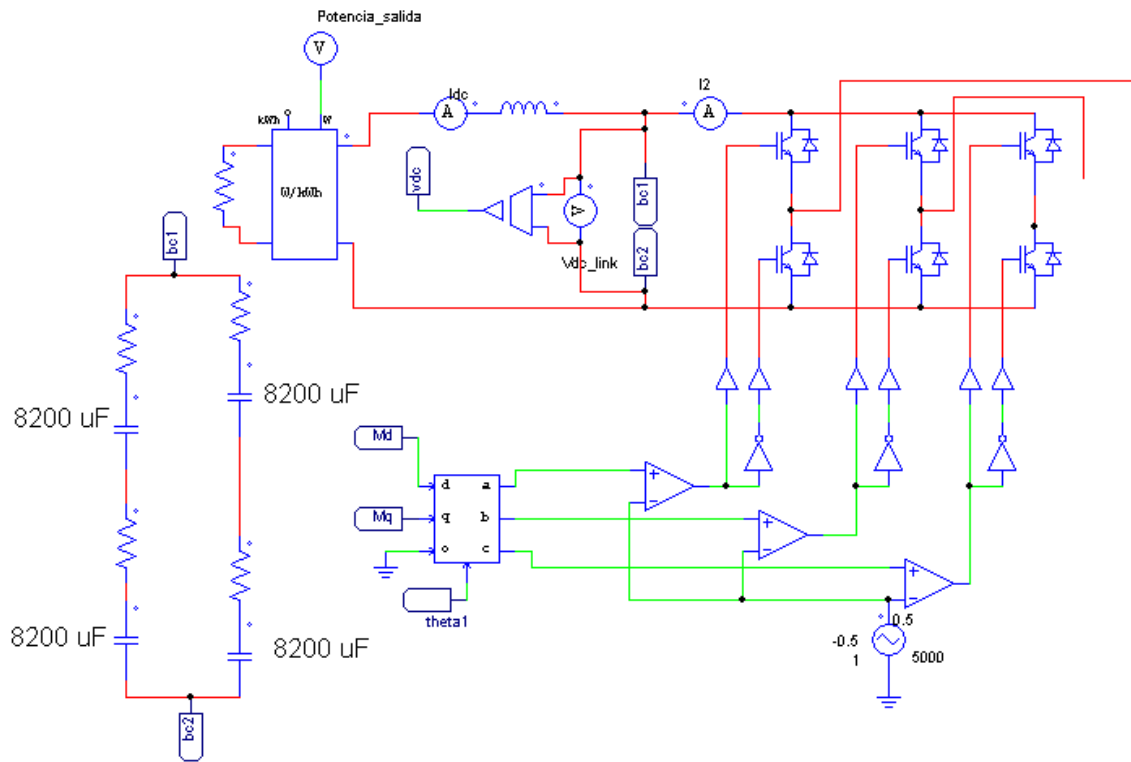


Figura 4-17. Esquema de control convertidor AC/DC

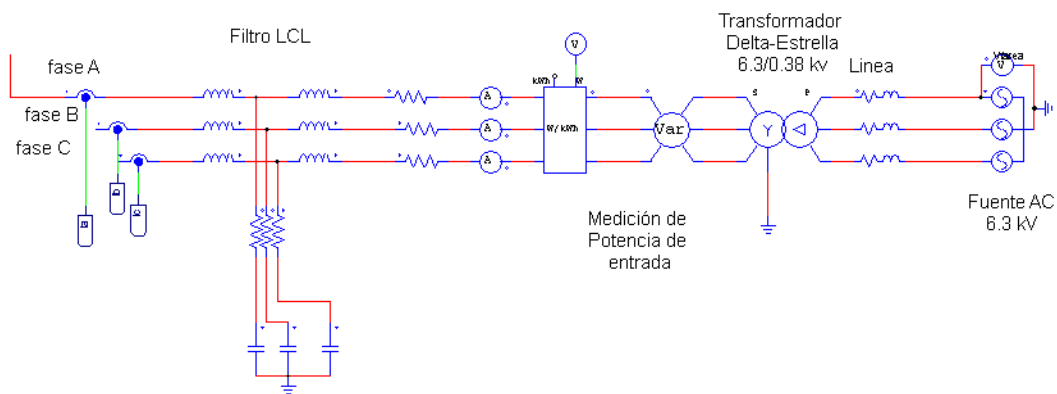


Figura 4-18. Alimentación al conversor AC/DC

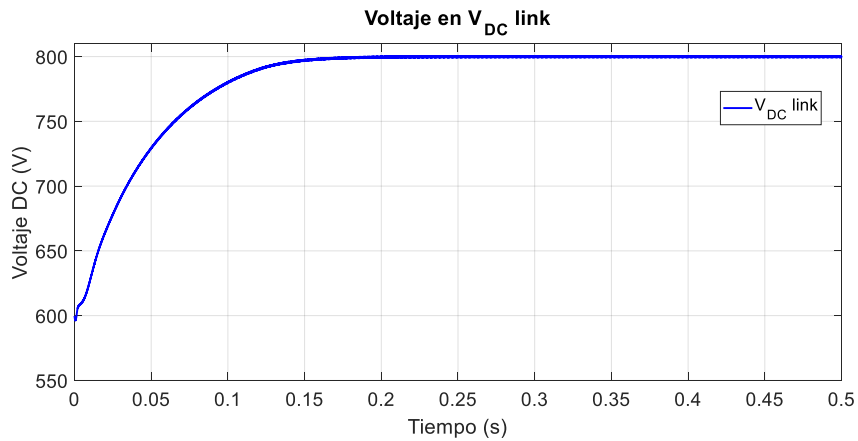


Figura 4-19. Comportamiento dinámico del convertidor AC/DC, voltaje DC_{link}.

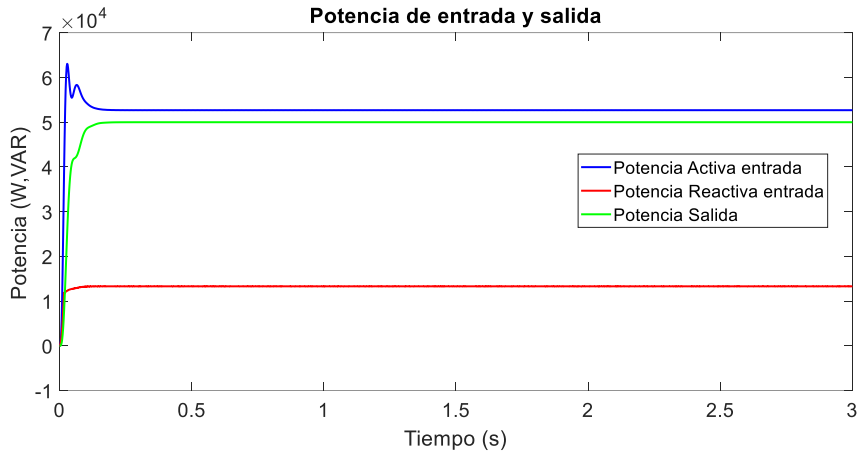


Figura 4-20. Potencia activa reactiva de entrada y potencia de salida del convertidor AC/DC

4.4.2. Convertidores DC/DC:

Dado a los estándares técnicos sobre las estaciones de rápida en DC de IEEE, estas estaciones deben utilizar topologías de conversión que contengan un aislamiento galvánico entre la fuente de alimentación y el vehículo a cargar. Debido a esta premisa, en esta investigación se utiliza un convertidor DC/DC de tipo puente completo aislado por medio de un transformador de alta frecuencia que permite manejar los estados de carga del banco de baterías del vehículo mediante un sistema de control dedicado.

La topología del convertidor DC/DC a utilizar corresponde al mostrado en la Figura 4-21, que se encuentra formado por un puente inversor de transistores, un transformador de alta frecuencia el cual permite proporcionar el aislamiento galvánico, un puente rectificador de diodos filtro LC de salida y un capacitor

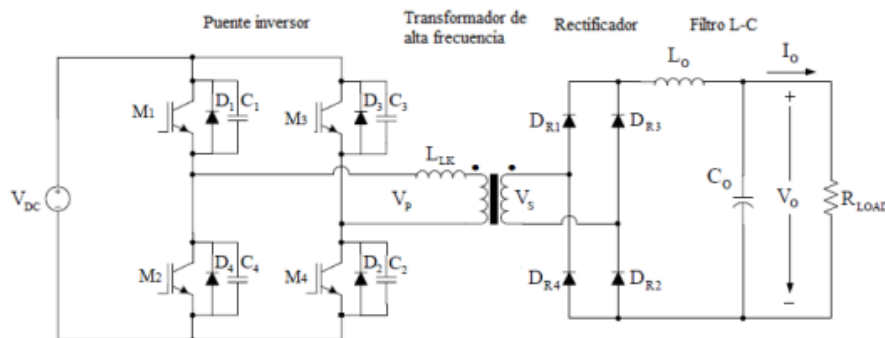


Figura 4-21. Topología del convertidor DC/DC [42]

Básicamente la corriente continua de la entrada se transforma en altera de onda cuadrada por medio del puente inversor, debido a que cuando conducen los

transistores M1 y M4 en el transformador se tiene voltaje positivo mientras que cuando conducen M2 y M3 se tienen voltaje negativo y voltaje de 0 en el resto de caso. En el transformador se aplica el aislamiento galvánico y la relación de transformación. En el rectificador cuando se tiene la onda negativa se vuelve positiva obteniendo una corriente positiva pulsada la cual se convierte en continua en el filtro LC.

Para reducir las pérdidas por conmutación se debe procurar que el voltaje y la corriente no convivan en el momento de producirse la conmutación, permitiendo tener una conmutación a tensión nula del inglés (ZVS Zero Voltage Switching). Para ello se emplea la técnica de desplazamiento de fase entre ramas, mediante la introducción de pequeños retrasos entre los disparos de una rama y otra, con lo que se tienen que los disparos de una misma rama sean complementarios.

El convertidor antes mencionado, cumple con las características técnicas presentadas en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Características técnicas del convertidor DC/DC

Potencia de salida (kW)	50
Voltaje de entrada (V DC)	800
Voltaje de salida (V DC)	200-500
Corriente de entrada (A)	0-125
Frecuencia de conmutación	25 kHz

Consideraciones de diseño:

Transformador de aislamiento

Para el dimensionamiento del transformador de alta frecuencia, para conocer la relación de transformación, se emplea la ecuación (4-18), la cual está en función del voltaje de entrada $V_{DC} = 800$, el voltaje de salida $V_{out} = 450$, el ciclo de trabajo efectivo que se debe encontrar entre 0.8 y 0.9 teniendo $D_{eff} = 0.85$, con lo que se obtiene un valor de N de $45/68=0.661765$.

$$V_{out} = V_{DC} * N * D_{eff} \quad (4-18)$$

El número de vueltas del devanado en cada lado del transformador está en función, del tipo de núcleo que se emplea, así como la sección del alambre de cobre utilizado, la ecuación (4-19) relaciona los aspectos mencionados, donde A_{fe} es el área del núcleo, B_{max} es la densidad del flujo.

$$N_p = \frac{V_{DC} * D_{eff} / 2}{2 * A_{fe} * B_{max} * f_{sw}} \quad (4-19)$$

En la guía base de este trabajo [34], se especifica un modelo de núcleo VITROERM 500 F con lo se tiene los siguientes datos: $A_{fe}=4.75 \text{ cmm}^2$, $B_{max}=1.1 \text{ T}$ a este valor se lo limita a un 30% teniendo $B_{max}=0.4 \text{ T}$ y $f_{sw} = 25 \text{ kHz}$ con lo que el devanado primario $N_p= 17.89$, aproximando a un número entero, el devanado primario cuenta con 18 vueltas, para cumplir la relación de transformación el secundario tendrá 12 vueltas.

Filtro de salida: tomando en cuenta que, la peor condición de funcionamiento para el rizado de corriente, se da cuando la corriente de salida tiene un valor de 125 A, con un ciclo de operación de 0.95, mientras que ΔV esta dado por la operación de voltaje mínimo siendo esta de 200 V y un rizado equiválete al doble de corriente nominal de operación, empleando con el uso de la ecuación (4-20).

$$L > \frac{\Delta V * \Delta t}{\Delta I} \quad (4-20)$$

Para calcular ΔV , ΔI y Δt tenemos:

$$\Delta V = V_{CD} * \frac{N_s}{N_p} * D_{eff} - V_{out_min} = 306.67 \text{ V}$$

$$\Delta I = \frac{D_{eff}}{2 * f_{sw}} = 19 \mu s$$

$$\Delta I = 2 * I_{out} = 250 \text{ A}$$

Remplazando los valores en la ecuación (4-20) se obtiene que la inductancia debe tener un valor mayor a 23 μH . Para el cálculo del capacitor utilizando los mismos criterios se emplea la ecuación (4-21).

$$C > \frac{\Delta t * \Delta I / 2}{\Delta V_c} \quad (4-21)$$

Donde ΔV_c es el rizado de voltaje deseado en este caso un 0.5% del voltaje máximo siendo un valor de 2.5 V y Δt $\frac{1}{4}$ de T_{sw} siendo igual a 10 μs , remplazando los valores se obtiene que C debe ser mayor de 500 μF .

El capacitor debe soportar un voltaje de 500 V y corriente de 125 A por lo que se utiliza dos capacitores en serie y dos en paralelo de 1000 μF .

Control del convertidor DC/DC

En esta etapa el control se debe realizar en función de la carga de la batería del vehículo eléctrico, siendo necesario modelar la batería en la referencia [43] presenta un modelo de batería muy usado por su sencillez el cual es presentado en la Figura 4-22.

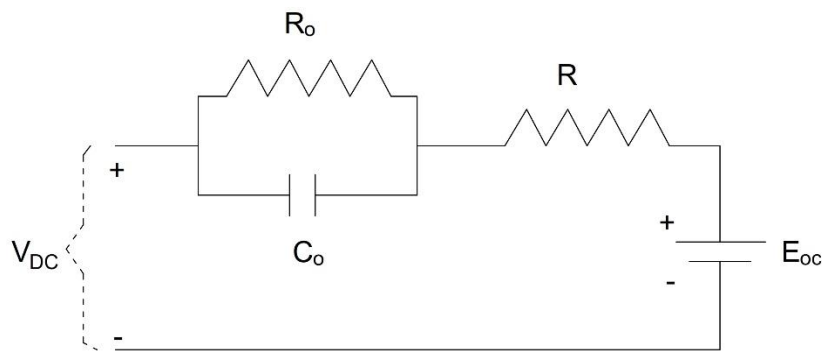


Figura 4-22. Modelo de batería de ion-litio

Donde R representa la resistencia interna de la batería, con la capacidad en los electrodos de las celdas que componen la batería, R_o es la resistencia no lineal entre dichos electrodos y electrolito, y E_{oc} es una fuente de tensión con valor de tensión a circuito abierto. En la misma se referencia se indica como calcular los parámetros mediante forma experimental, de [34] se toman los datos tendiendo $R = 96 \text{ m}\Omega$, $R_o = 15 \text{ m}\Omega$ y $C_o = 5.55 \text{ F}$. En la Figura 4-23 se presenta los valores de simular la batería y la salida del DC-DC. Para la simulación de la carga de la batería se utiliza un valor de escala, con el fin de reducir el tiempo de simulación con lo que se tiene que el proceso total de carga le toma 7 s, en lugar de 20 min aproximadamente.

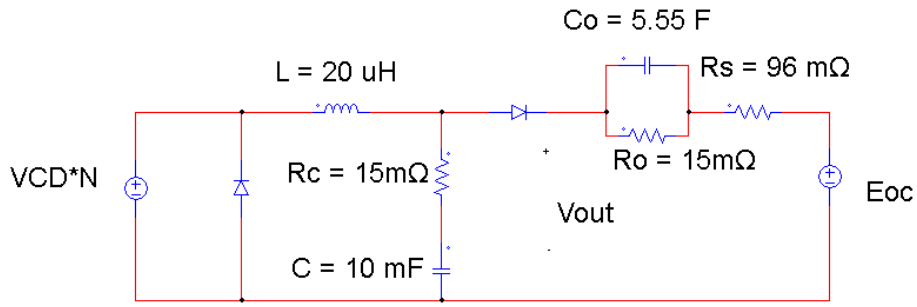


Figura 4-23. Modelo equivalente de DC-DC

En relación con los aspectos relacionados al control de este convertidor utiliza un sistema de control en cascada, donde su lazo interno corresponde a un control de corriente de carga, y su señal de referencia esta dado por el control externo de voltaje. El control de voltaje externo permite la carga el banco de batería hasta alcanzar su referencia dado por la comunicación entre la estación de carga y el vehículo en uso. El esquema de control del convertidor DC/DC

El modelo equivalente se presentado en la Figura 4-23, del cual se deduce la ecuación de pequeña señal presentada en la ecuación (4-22). El regulador es del tipo PI, la ganancia $\beta_i = 1$. Para la sintonización se ajusta la frecuencia a un valor a la mitad de la frecuencia de conmutación en este caso de 25 kHz.

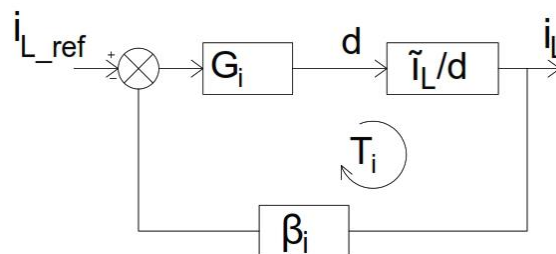


Figura 4-24. Bloque de control de corriente

$$\frac{\tilde{i}_L}{\tilde{d}} = \frac{V_{DC} * N}{sL + Z_{eqv}} \quad (4-22)$$

Donde la Z_{eqv} es:

$$Z_{eqv} = \frac{\left(R_c + \frac{1}{sC}\right) * \left(R_s + \frac{R_o}{sR_oC_o + 1}\right)}{\left(R_c + \frac{1}{sC}\right) + \left(R_s + \frac{R_o}{sR_oC_o + 1}\right)}$$

Con la utilización del software Matlab, de manera similar para el control del convertor AC/DC se realiza para el DC/DC, implementado en Matlab el diagrama de bloque presentado en la Figura 4-24 y los valores de la ecuación (4-21), con β_i con ganancia unitaria, y el bloque compensador es un PI. Se obtiene el diagrama de bode de la Figura 4-25 en el que la respuesta de frecuencia el cruce por cero es 10 kHz, el margen de fase es de 93.3°, teniendo un sistema estable con $k_p= 0.002393$ y $k_f= 4.35$ discretizando se obtiene el compensador:

$$G_c = \frac{0.00252Z - 0.002284}{Z - 1}$$

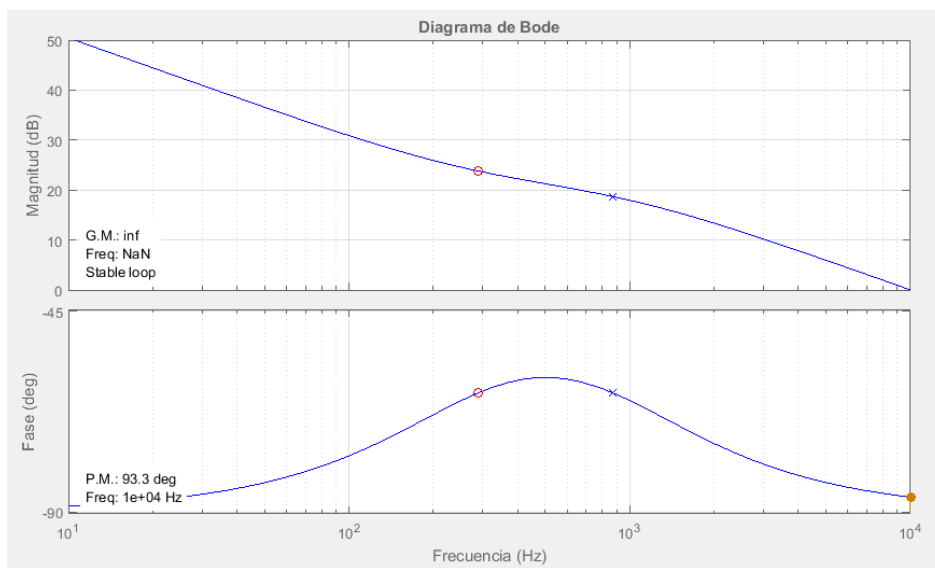


Figura 4-25. Diagrama de bode ganancia de lazo abierto (T_{il})

El bloque de control de voltaje externo se lo presenta en la Figura 4-26, la ecuación de la función de transferencia se presenta en la ecuación (4-23) cual se encuentra en función del modelo de la batería a cargar.

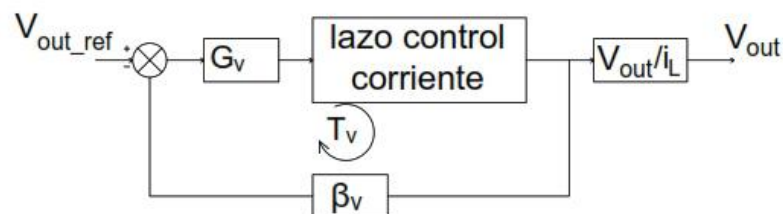


Figura 4-26. Bloque lazo de control de voltaje

$$\frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{i}_L} = Z_{eqv} \quad (4-23)$$

Con una ganancia $\beta_v = 1$, para un regulador PI con el uso se obtiene $k_p = 5.28$ y $k_f = 14290$, discretizando se obtiene el bloque compensador:

$$G_c = \frac{5Z - 5.2}{Z - 1}$$

En la Figura 4-27 se presenta el diagrama de bode en el cual se tiene una ganancia de 126° con una frecuencia de 307 Hz.

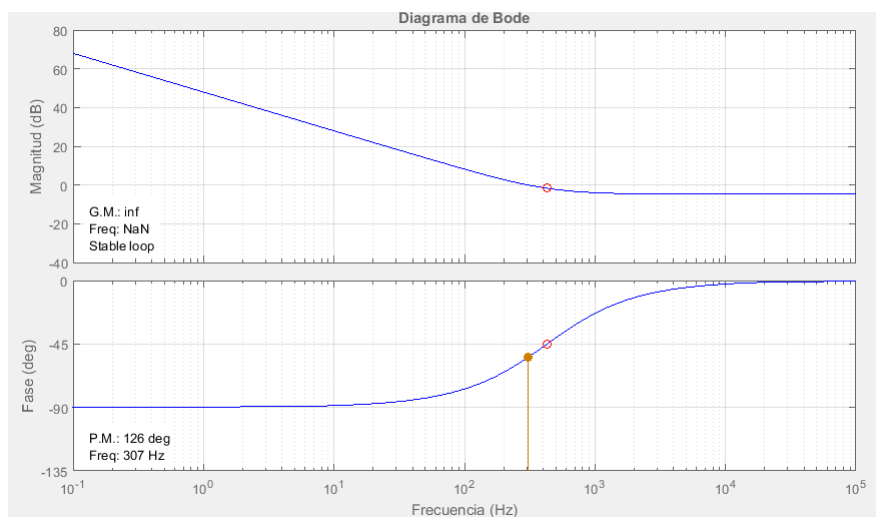


Figura 4-27. Diagrama de Bode control de voltaje

4.5. Comportamiento del Cargador rápido

En esta sección se analiza el comportamiento de la estación de carga rápida frente a distintas condiciones de carga de la batería del VE. Teniendo así el caso cuando la batería carga hasta el 80% aproximadamente de su capacidad, siendo este caso cuando se carga con corriente constante. El otro caso es cuando el nivel del SOC es mayor 80%, siendo en este caso cargado en voltaje constante.

Con corriente constante se obtiene una corriente de entrada con poca deformación con un nivel de THD_i de 1.05% la forma de la corriente se presenta en la Figura 4-28 donde se puede apreciar que mantiene su forma de onda senoidal con un valor RMS de 80.5 A. El nivel de armónicos de corriente se puede observar en la

Figura 4-29, en donde se observa que el armónico dominante es el 5^{to} con un valor de 0.90%. En la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Nivel de armónicos obtenidos menor a 80%

Armónico No.	Valor %, con respecto al fundamental 60Hz.
3	0.03
5	0.90
7	0.43
9	0.02
11	0.25
13	0.10
15	0.02
17	0.13
19	0.09
21	0.02

Figura 4-28. Forma de onda de corriente de entrada

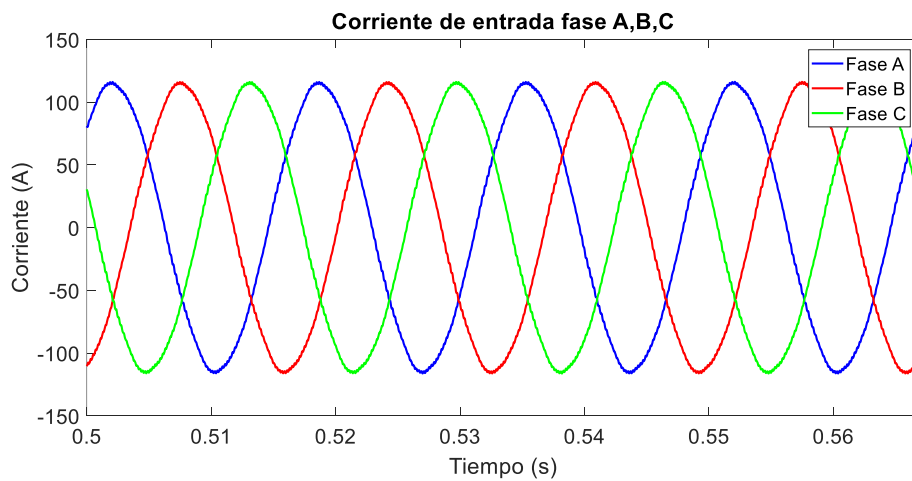


Figura 4-28. Forma de onda de corriente de entrada (SOC menor 80%)

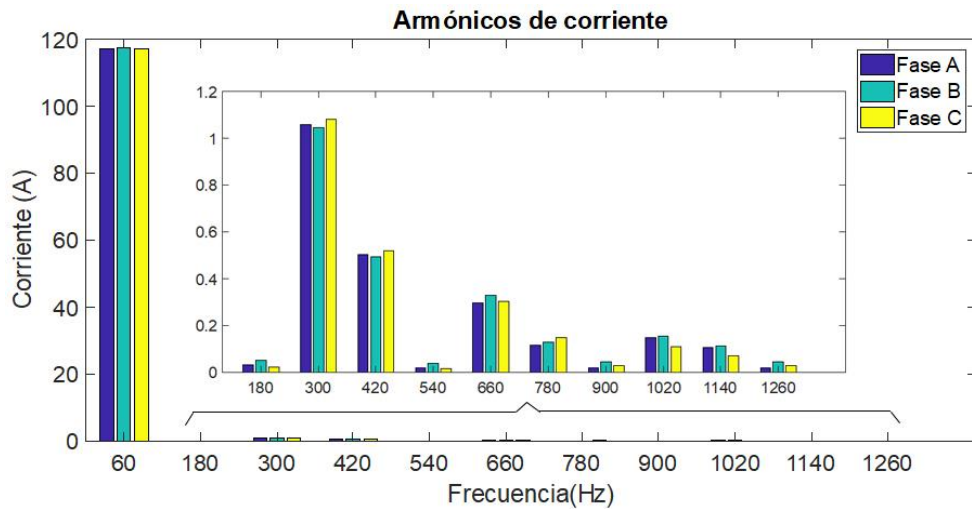


Figura 4-29. Armónicos del cargador rápido (Corriente constante)

La evolución de la del SOC se puede apreciar en la Figura 4-30, donde se observa que durante este tiempo la corriente de salida al VE permanece constante con un valor de 121 A, en cuanto el voltaje de la batería se observa que se incrementa con un comportamiento constante.

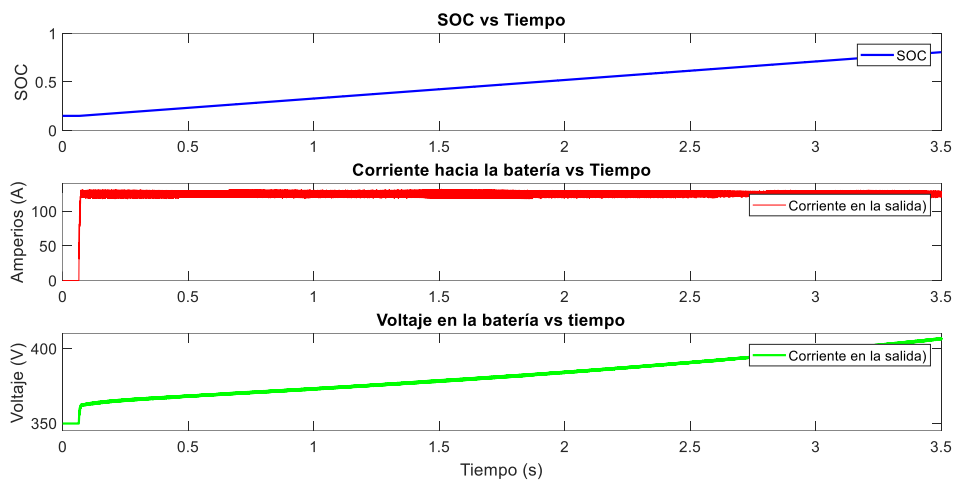


Figura 4-30. Comportamiento estación de carga rápida (SOC, corriente, voltaje)

Pasado el 80% del SOC, tenemos que la corriente presenta mayor distorsión, en la se aprecia la forma de la corriente observándose que mantiene la forma senoidal, pero con una distorsión como se observa en la Figura 4-31, El nivel de armónico es presentado en la Figura 4-32, donde se puede apreciar que el armónico predominante es el 5^{to} con un valor del 2.16%, siendo 2.4 veces mayor al armónico cuando el SOC está a menos del 80%, en la Tabla 4-4 se presenta el nivel de armónicos.

Tabla 4-4. Nivel de armónicos obtenidos AC/DC, con SOC mayor 80%

Armónico No.	Valor %, con respecto al fundamental 60Hz.
3	0.09
5	2.16
7	0.87
9	0.02
11	1.03
13	0.58
15	0.016
17	0.29
19	0.71
21	0.01

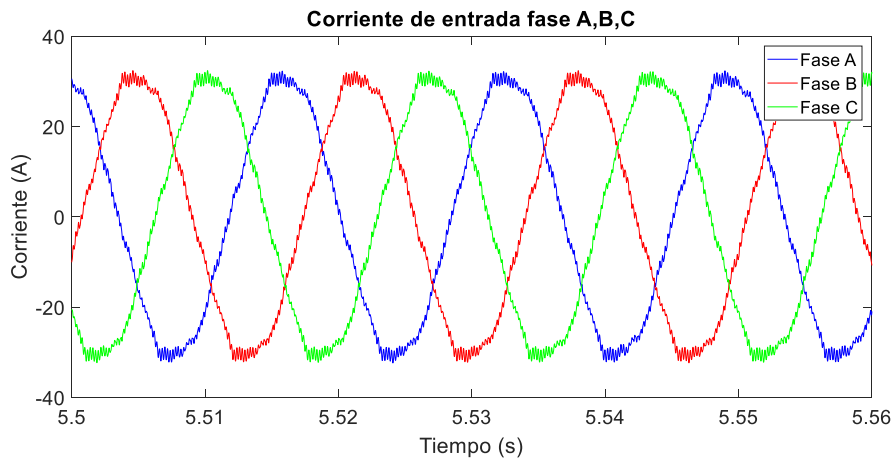


Figura 4-31. Forma de onda de la corriente (SOC mayor 80%)

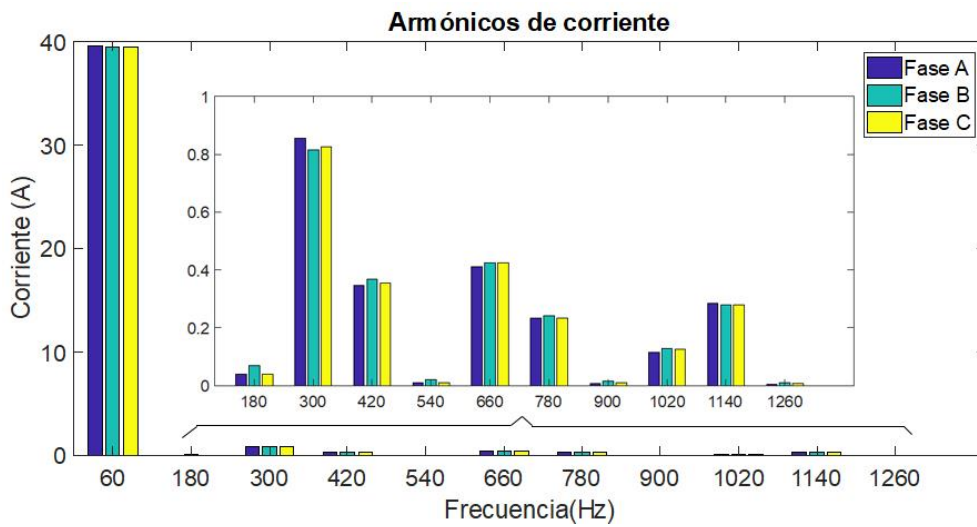


Figura 4-32. Nivel de armónicos de corriente (SOC mayor 80%)

El comportamiento de la corriente de salida empieza a bajar como se aprecia en la Figura 4-33, mientras el voltaje en la batería tiende a ser constante llegado a ser de 412 V.

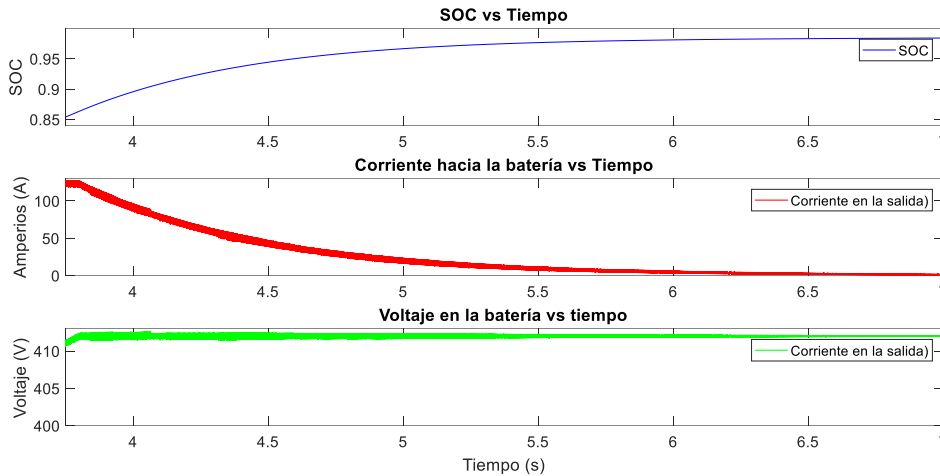


Figura 4-33. Comportamiento de corriente y voltaje de salida (SOC mayor 80%)

En la Figura 4-34 se presenta el comportamiento del ciclo de carga de la batería del VE donde se observa la primera parte cumple con carga a corriente constante mientras que cuando el SOC se aproxima a 1 el voltaje tiene a ser constante y la corriente tiende a bajar.

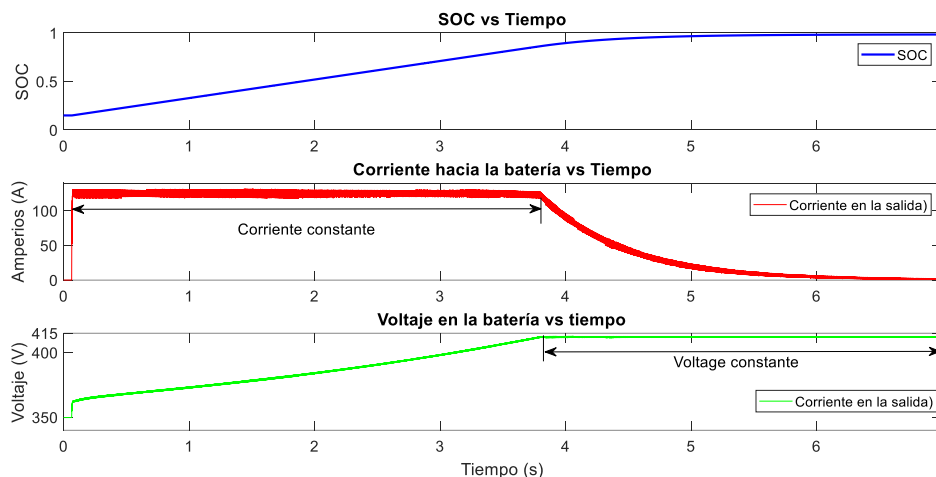


Figura 4-34. Ciclo de carga de la batería

El aumento de los armónicos cuando el SOC pasa del 80% no representa un problema puesto que este tipo de estación de carga es usada para recargar el VE a menos del 80% para proteger de temperaturas exhibas a los diferentes componentes del VE, también se debe tomar en cuenta que este tipo de estaciones de carga

presentan un costo más elevado con lo realizar una carga con lleva tener que cobrar un valor mayor al cliente, tomando en cuenta que la carga rápida solo se realizar con corriente constante luego de este cuando el voltaje tiende a ser constante la carga es lenta, con lo que al cliente paga por valor mayor por una carga lenta que la puede realizar en su casa a precio más económico.

Tomando en cuenta esto para la caracterización de la estación de carga rápida únicamente se toma los armónicos generados con un SOC menor al 80% Tabla 4-3, y como potencia de entrada 52 kW y 14 kVAR obtenidos en medición del convertor AC/DC, estos valores posteriormente serán ingresados en el software CYME para evaluar el impacto en un alimentador de la ciudad de Cuenca.

4.6. Criterios para ubicar una estación de carga rápida

Existen varios criterios a tomar en cuenta para la ubicación de este tipo estaciones de carga, la correcta colocación este tipo de estaciones es de gran importancia puesto que su costo es elevado comparado con las de nivel 2, se estima que su costo oscila entre 10000 USD – 40000 USD según sus fabricantes y características técnicas [44]. A continuación, se presenta unas consideraciones a tomarse en cuenta para la selección de los posibles lugares geográficos donde podrían estar ubicadas estaciones de carga y tener mayor impacto en la colectividad.

Los criterios utilizados en esta investigación, se basan principalmente en los mostrados en [45], a grandes rasgos los criterios para su ubicación deben cumplir con:

Visibilidad: Ayudar a incrementar el mercado del EV, establecer un alto impacto en el usuario y contribuir positivamente en el diseño urbano.

Conveniencia: Proveer de servicio y tiempos cortos de utilización, además de tener una interfaz simple.

Cultural: Posicionar al sector como progresista y amigable con el medio ambiente pues la utilización de los EV disminuye los gases de efecto invernadero.

Confiabilidad: Proporcionar mantenimiento y servicio.

Asequibilidad (Usuario): Ofrecer precios atractivos en la fase de introducción, las tasas pueden variar para mantenerla competitiva frente a los costos de la gasolina.

Costos operativos (Utilidad proveedor de servicio): Minimizar los costos de operación con el diseño de estaciones durables y que tengan una interfaz sencilla.

Costo inicial (Utilidad): Minimizar los costos de instalación, con la utilización de instalaciones estandarizadas.

Competitividad financiera: Priorizar la colocación en sector de alto impacto con existencia de negocios.

Desplazar a los Vehículos tradicionales (VCI): Garantizar una red robusta de estaciones de carga de EV, siendo una alternativa para los VCI. Alcanzar un 15 % de los VCI.

Uso de energía: Continuar aumentando la cuota de VE en el mercado, promover patrones de conducción eficiente, promover el uso de transporte electrificado como por ejemplo bicicletas eléctricos, autobuses.

La colocación de las estaciones debe escogerse tomando en cuenta que se cumpla los objetivos citados, pero al inicio del proceso el objetivo principal es mejorar la visibilidad de las estaciones de carga VE, para fomentar la confianza del público y reducir el rango de ansiedad, mostrando soporte al EV. Una vez cumplido este objetivo el resto de objetivos se aplican para reforzar la confiabilidad del consumidor. Bajo esta consideración puedo tener 4 escenarios que se describen a continuación:

Escenario 1: estaciones en zonas importantes, estas deben cumplir los objetivos de Visibilidad, conveniencia y cultural. Se debe tomar en cuenta que esto no impide que estas estaciones cumplan los demás objetivos.

Escenario 2: Estaciones con alta visibilidad, en esta fase desempeñan un papel importante en la marca cultural, elevando el perfil del VE como una tecnología, se debe cumplir los objetivos de confiabilidad demostrando que tanto él VE como la infraestructura de carga cuentan con disponibilidad y buen funcionamiento, la asequibilidad demostrando tener un modelo de pago económico y competitivo, el costo operativo con el paso del tiempo la infraestructura comienza a ser tomada por el sector privado mostrando que es un negocio potencial.

Escenario 3: Adopción temprana, son utilizada para cubrir algunas zonas que en las fases previas no fueron cubiertas, en esta fase se cubre el objetivo de costo inicial reduciendo el costo de instalación y se empieza a tener una red de carga madura.

Escenario 4: Funcionamiento completo, se cumple el tener una red de carga rápida madura, aquí se cubren los 3 últimos objetivos con financiamiento competitivo al tener un modelo de negocio maduro los riesgos financieros son menores,

desplazamiento del VCI el VE empieza a tener impacto en el mercado de vehículos provee de beneficios como reducción de gases de invernadero, rentabilidad, reducción de costos. El uso de la energía eléctrica para el transporte se incrementa.

Proceso para selección de localización

Se presentan 7 pasos para la selección de la ubicación de una estación de carga rápida, procedimiento que ayuda de una forma rápida y sencilla permite tener zonas potenciales en un corto tiempo de estudio.

Paso 1: Revisión, en este paso lo importante es tener claro los objetivos a cumplirse con las estaciones de carga en la Figura 4-35 se presenta los objetivos.

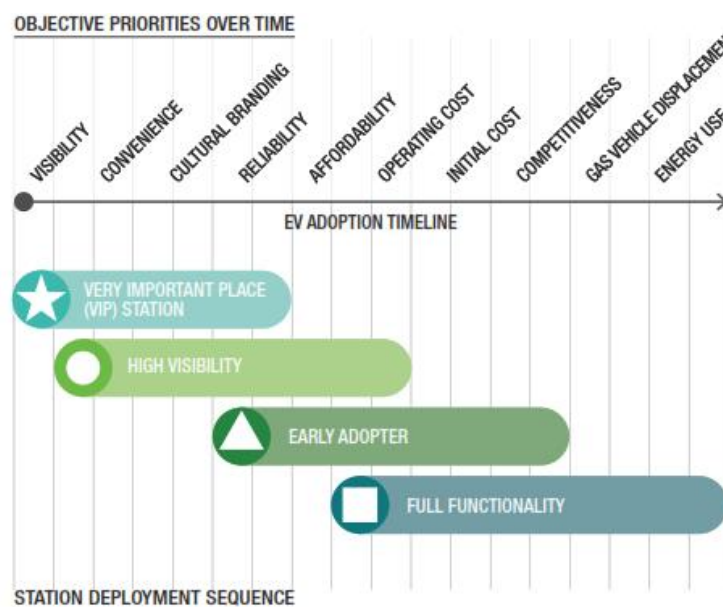


Figura 4-35. Objetivos por cumplirse con la estación de carga rápida [45]

Paso 2: Determinación de zonas, en este paso se idéntica en que zonas colocar las estaciones dependiendo de los objetivos a cumplir como se indica en la Figura 4-36

Paso 3: Considera los sitios, en este paso se realiza un filtro de las zonas seleccionadas para ello se puede emplear el diagrama de flujo de la Figura 4-37, el cual se debe realizar para cada lugar a analizar.





TARGET LOCATIONS	MAP OVERLAYS
 VERY IMPORTANT PLACE (VIP) STATION	Tourist Attractions Commercial Density
 HIGH VISIBILITY	Commercial Density High Traffic Volume
 EARLY ADOPTER	Commercial Density High Traffic Volume Hybrid Ownership Density
 FULL FUNCTIONALITY	Commercial Density High Traffic Volume Population Density

Figura 4-36. Ubicación según los objetivos a cumplir [45]

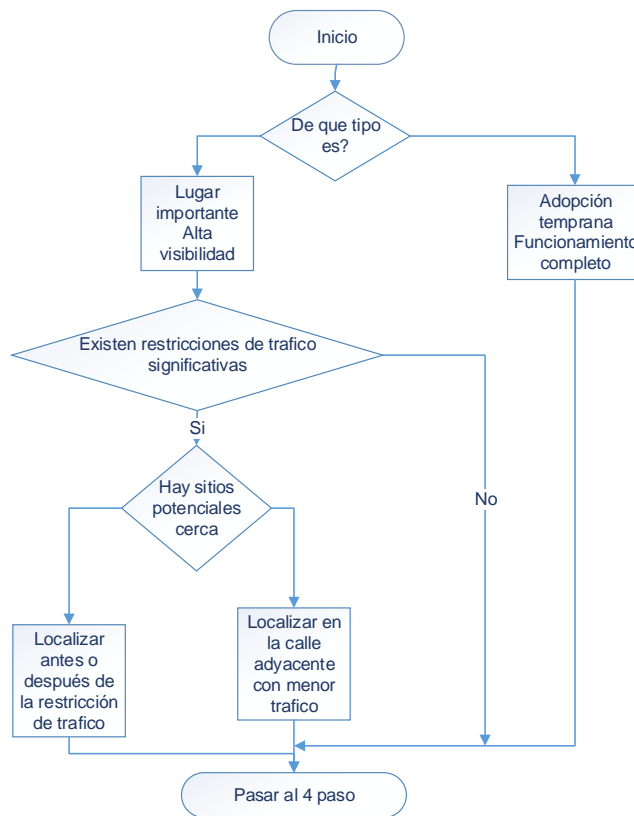


Figura 4-37. Filtro de las zonas seleccionadas

Paso 4: Evaluar los requerimientos, en este paso se debe evaluar todas las restricciones técnicas para su funcionamiento, es importante que el sitio elegido cumpla todas las condiciones para el funcionamiento, también se presenta un diagrama de flujo a seguir como se presenta en la Figura 4-38.

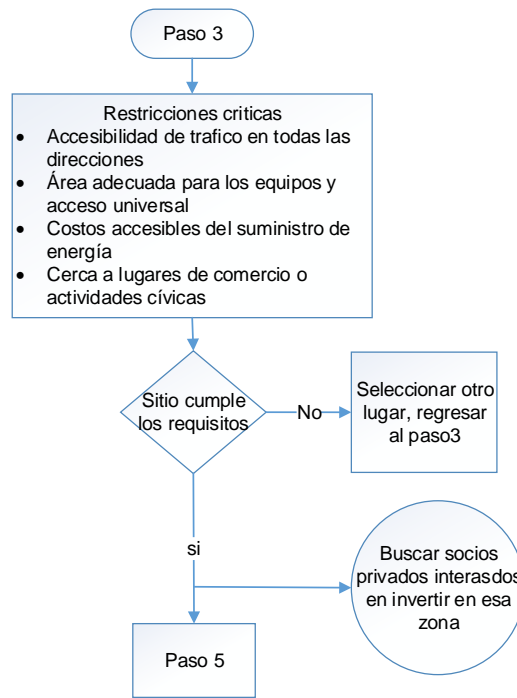


Figura 4-38. Restricciones de funcionamiento

Paso 5: Consideraciones económicas, una vez seleccionado los posibles lugares que cumplen con las restricciones del paso 4, se verifica que dichos lugares cumplan las restricciones económicas indicadas en el diagrama de flujo presentado en la Figura 4-39.

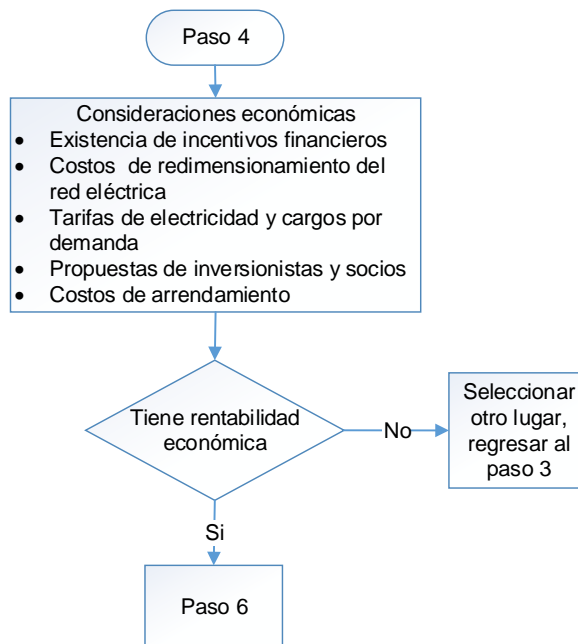


Figura 4-39. Consideraciones económicas

Paso 6: Considerar la comunidad, en este paso se evalúa la planificación de la comunidad, tomando en cuenta las consideraciones presentadas en la Figura 4-40

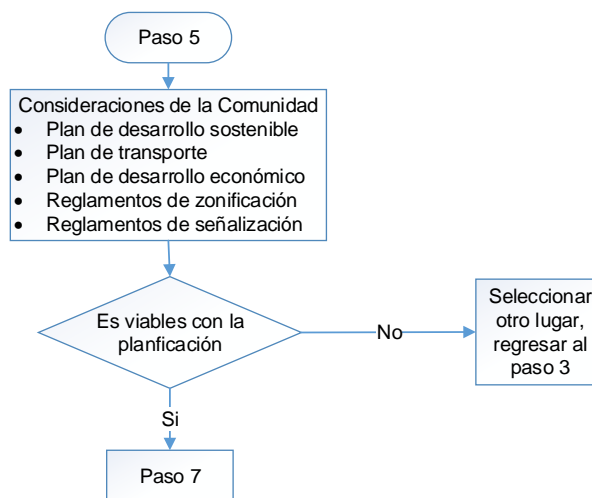


Figura 4-40. Impacto en la comunidad

Paso 7: Evaluar el atractivo, en esta etapa se evalúa que tan atractivo resulta la colación de la estación de carga en un punto. Es importante tomar en cuenta los inversores públicos y privados para que tengan beneficios todas las partes involucradas, unos criterios tomados en cuentas se presentan en la Figura 4-41.

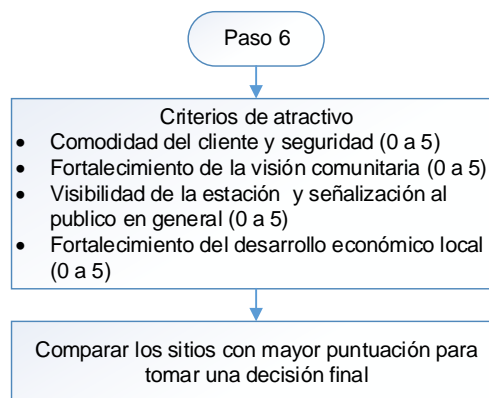


Figura 4-41. Criterios de atractivo del lugar seleccionado

4.7. Simulación en la red eléctrica de la ciudad de Cuenca

Para el estudio técnico del comportamiento eléctrico del sistema de distribución de energía eléctrica con el uso de estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos,

se ha desarrollado una simulación mediante la herramienta computacional CYME, en el sistema de distribución de la Ciudad de Cuenca en 3 zonas previamente seleccionadas.

Introducción de la estación de carga rápida en el alimentador 0204

La primera zona de estudio, donde se ha colocado la estación de carga rápida, es en el parqueadero del parque público del Parque de la Madre, ubicado entre las calles Florencia Astudillo, 12 de abril y Federico Malo, con coordenada UTM (721929.56, 9678703.10). El parqueadero cuenta con 140 plazas en el nivel subterráneo, con un funcionamiento de 24 horas [46].

Este lugar se ha escogido puesto que cerca de existen puntos de alta afluencia como son bancos, centros comerciales, restaurantes, parque recreativo, además de encontrarse localizado cerca al centro de la ciudad a 2.6 km aproximadamente.

El sector se encuentra alimentado por la subestación No. 2 con nivel de 6.3 kV en media tensión, el parque de la madre se encuentra abastecido por el alimentador número 0204. Para la simulación de la estación de carga rápida en este sector se emplea el software CYME, junto a el modelado de las redes de distribución asociadas a este alimentador y cargas típicas del sector.

En la Figura 4-42, se presenta el comportamiento del sistema de distribución del alimentador en estudio, específicamente en esta figura, presenta el comportamiento sin la incursión de la estación de carga, observándose que el nivel de tensión se encuentra entre 95 % y 105 % con color verde, estos valores se encuentran dentro de los límites puesto en la regulación ARCONEL 004/01.

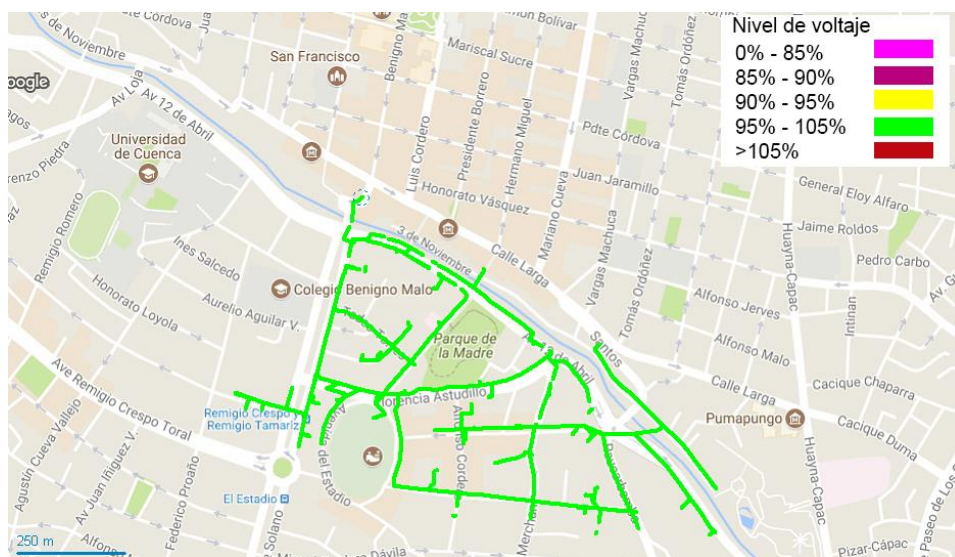


Figura 4-42. Nivel de voltaje en alimentador 0202

Para la introducción de la estación de carga rápida se emplea los armónicos obtenidos previamente en la Tabla 4-3, los cuales son ingresados en el software como se indica en la Figura 4-43.

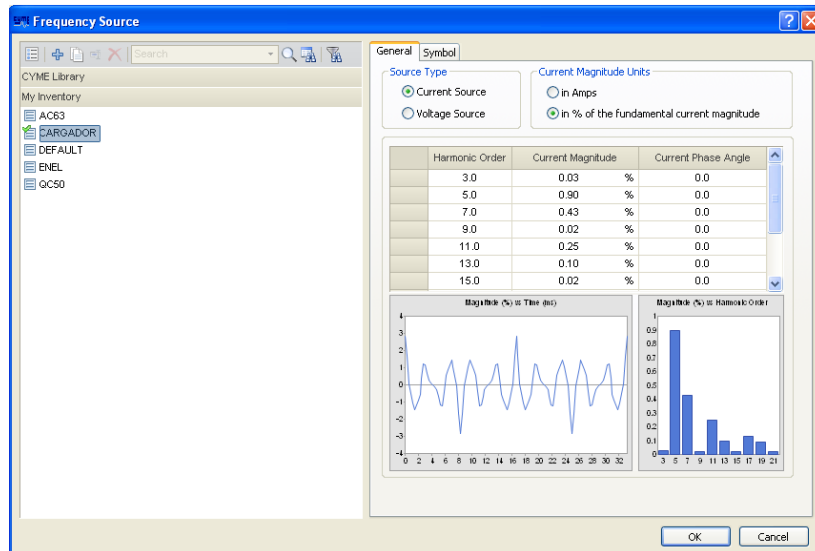


Figura 4-43. Ingreso de nivel de armónicos en CYME

Para la simulación de la estación de carga rápida se emplea una potencia de 52 kW y 14 kVAR conectados a un transformador trifásico de 6.3/0.38 kV en conexión delta estrella como si indica en Figura 4-44, en el sitio existe una cabina de transformación de 6.3/0.22 que abastece de energía al sistema de iluminación, entre otros servicios del parque y del parqueadero.



Figura 4-44. Estación de carga rápida en el sistema de distribución

Al realizar el análisis de flujo para comprobar la tensión se observa que los niveles de tensión no se encuentran afectados en el punto de conexión, se tiene un

voltaje de 373 V, con una potencia de 53 kW y 14 kVAR. En la Figura 4-45 se presenta el nivel de carga al utilizar la estación de carga (líneas, transformadores) en el alimentador observándose que la mayoría se encuentra con una carga menor del 50% de su capacidad, el transformador de la estación de carga rápida usa menos del 80% de su capacidad, por lo que tenemos que no existe afectación al sistema de distribución desde el punto de vista de la capacidad.

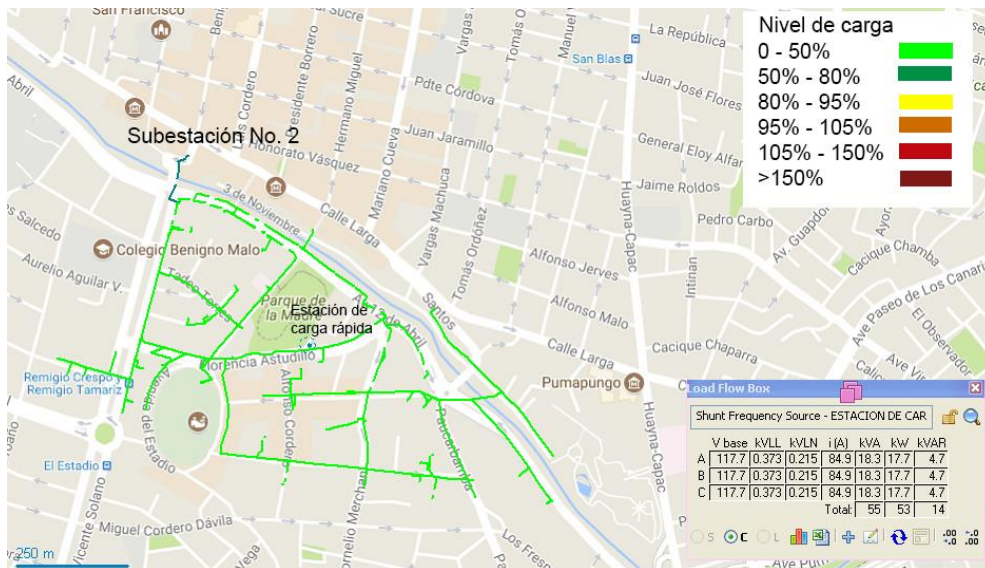


Figura 4-45. Capacidad del alimentador 0204 con la estación de carga rápida

En la Figura 4-46, se tiene una parte del alimentador donde se coloca la estación de carga rápida. El análisis de armónicos de corriente se obtiene un THD_i de 1.05% en el cable cargador_1, 0.01% en el cable 18608_MTS-1, y 0.01% en el cable I18608_MTS-1. Se observa que los niveles de armónicos están por debajo del límite permitidos por la norma. En la Figura 4-47 se presenta la forma de onda de la corriente notándose una ligera distorsión, el nivel de armónicos se presenta a partir del 3^{er} armónicos, se observa que destaca la presencia del 5^{to} armónico.

Para el THD_v se obtuvo 0.49% en el nodo cargador_1, 0.01% en el nodo MTS_L_18607 y IMTS_L_18608. En la se presenta la forma de onda y de voltaje y corriente, así como sus respectivos armónicos del cable cargador_1 y del nodo cargador_1 que son los más afectados en el análisis. En la Figura 4-48 se presenta la forma de onda del voltaje observándose una forma senoidal la afectación de los armónicos es despreciable, el nivel de armónico es presentado a partir del 3^{er} presentado valores despreciables.

La distorsión de voltaje en el resto de puntos de la red es despreciable tendiendo un valor de 0.01%, la distorsión de corriente en la red también es baja, presentando

mayor presencia en cables donde el valor de corriente es bajo, teniendo una distorsión más elevada con un valor de 3.42% en una línea de media tensión con baja circulación de corriente. Los usuarios se verían afectados un 0.01% de THD_i .

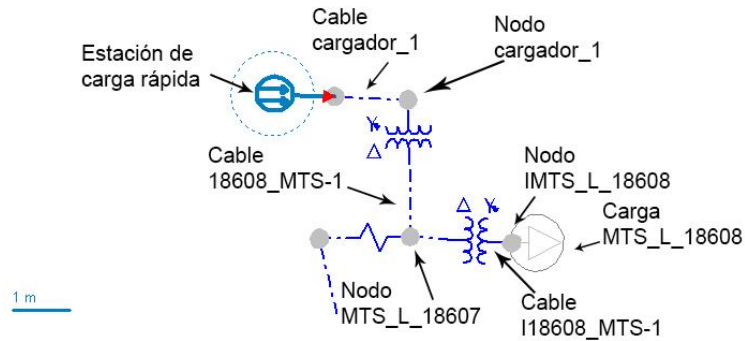


Figura 4-46. Red analizada con el uso de la estación de carga rápida

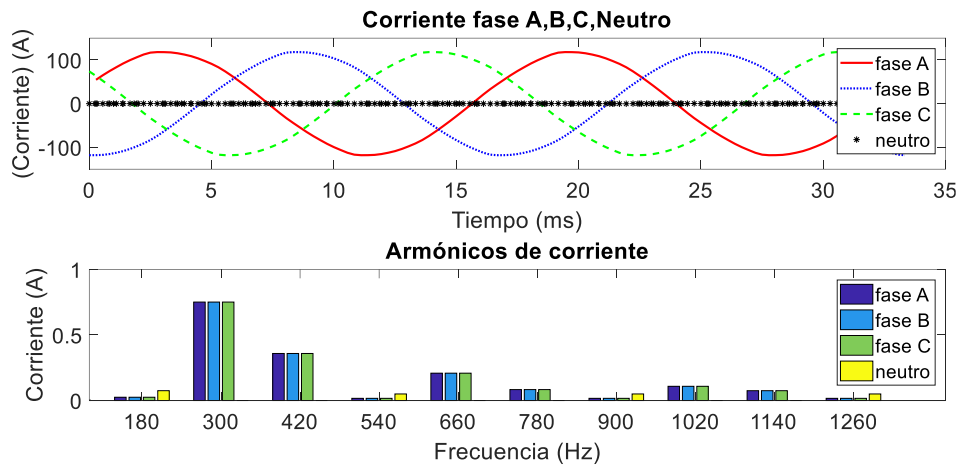


Figura 4-47. Forma de onda y nivel de armónicos de corriente

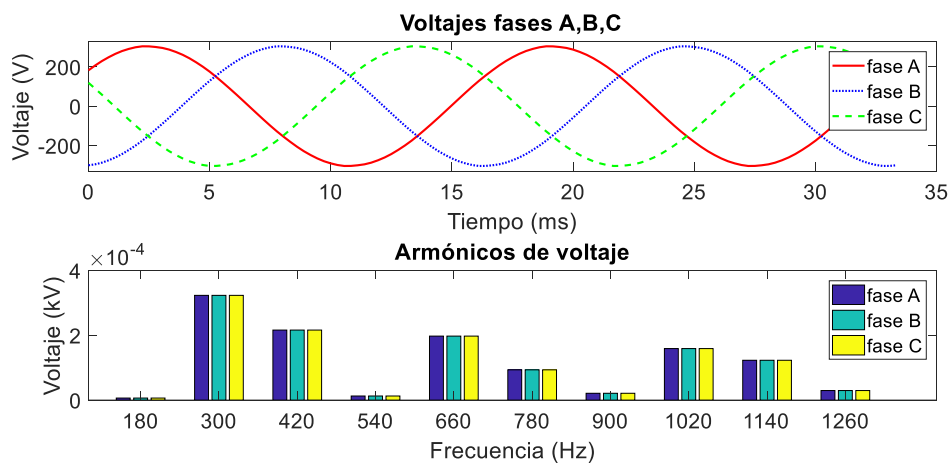


Figura 4-48. Forma de onda y nivel de armónicos de voltaje

Otros cargadores rápidos

En la referencia [27] se presenta estaciones de carga rápida comerciales, tomando información de los armónicos generados son ingresados en el software para determinar el nivel de afectación con su introducción de la misma forma que se realizó con la estación de carga diseñada. Las características de las estaciones de carga se presentan a continuación.

Cargador Rápido CCL-QPC-CH-CCS.AC63 (Estación A)

Es un cargador marca Veniox, en Tabla 4-5 se presenta el nivel de armónicos generado, es un cargador DC potencia de hasta 55 kW, corriente máxima de 143 A, con factor de potencia de 0.96, trabaja con 60 o 50 Hz con una temperatura de operación de -30° C a 45°C, además cuenta con protección IP 55/IK10.

Tabla 4-5. Nivel de armónicos CCL_QPC_CH_CCS.AC63

No. Armónico	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Valor %	6	42	17	1	9	5	1	3	2	1	1	1

Cargador Pulse QC50 (Estación B)

Es un cargador rápido trifásico, neutro y pe. Voltaje de ingreso AC hasta 480, frecuencia de 50/60hz, potencia de entrada 43kW, el factor de potencia es de 0.98. Los armónicos generados se encuentran en Tabla 4-6.

Tabla 4-6. Nivel de armónicos QC50

No. Armónico	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Valor %	1	2.5	3	0.5	2	1	0.3	1	0.7	0.3	0	0

Cargador rápido Enel (Estación C)

Cargador trifásico con potencia de 50 kW corriente hasta 143 A. Factor de potencia mayor a 0.96 los armónicos generados se indican en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Nivel de armónicos Enel

No. Armónico	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Valor %	2	6	4	1	2	1.5	0.5	1	1	1	0	0

Resultados al utilizar las estaciones de carga A, B y C

En la Tabla 4-8 se presenta los datos relevantes del estudio de armónicos de las 3 estaciones de carga presentadas donde se aprecia que la estación A sobre pasa los valores de armónicos permitidos con un 47.04 %, en media tensión se presenta un THD_i de 22.2 % en un conductor que transporta baja corriente y 0.21 % de afectación en baja tensión, si bien esta estación de carga no afecta de gran medida a los usuarios del sistema, la circulación de armónicos causa calentamiento en los conductores haciendo el sistema menos eficiente.

Para la estación B y C se observa que están dentro de los límites permitidos por las normas y no presentan problema al sistema de distribución.

Tabla 4-8. Resultados cargadores rápidos en red de distribución

	Estación A		Estación B		Estación C	
	THD _i %	THD _v %	THD _i %	THD _v %	THD _i %	THD _v %
En cargador rápido	47.04	10.27	4.81	1.41	8.28	2.32
Más elevado baja tensión	0.21	0.21	0.03	0.03	0.06	0.06
Más elevado media tensión	22.2	0.21	7.1	0.03	6.61	0.06

La forma de onda de corriente la estación A y el nivel de armónicos a partir del 3^{er} armónico se presenta en Figura 4-49, donde se observa una elevada distorsión de la forma de onda evidenciado el predominio del 5^{to} armónico además de una ligera distorsión en la corriente que circula por el neutro, la corriente fundamental es de 87.73 A. En la Figura 4-50 se presenta a forma de onda de voltaje donde se puede apreciar la existencia de distorsión de la forma de onda de igual manera el 5^{to} armónico es el más elevado, el nivel de armónico se presenta desde el 3^{er} el valor del voltaje fundamental es 214 V.

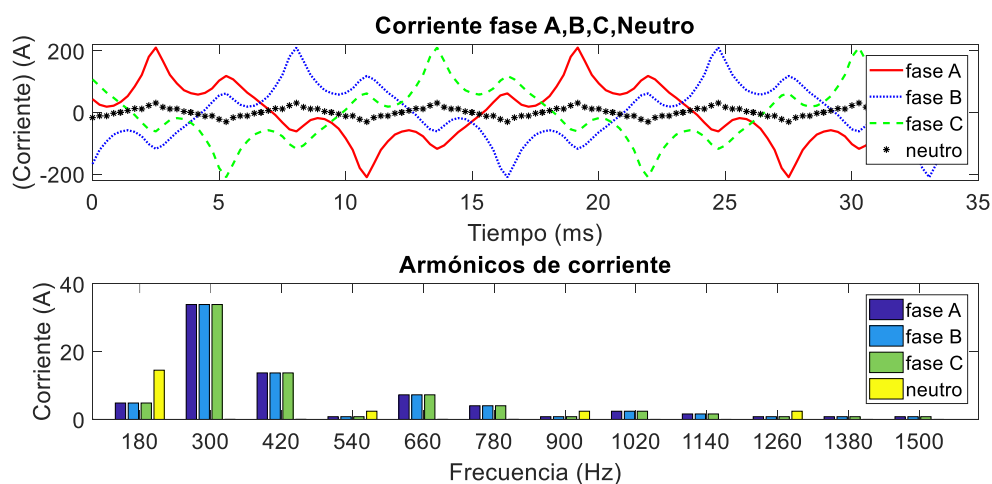


Figura 4-49. Formas de onda corriente de estación A

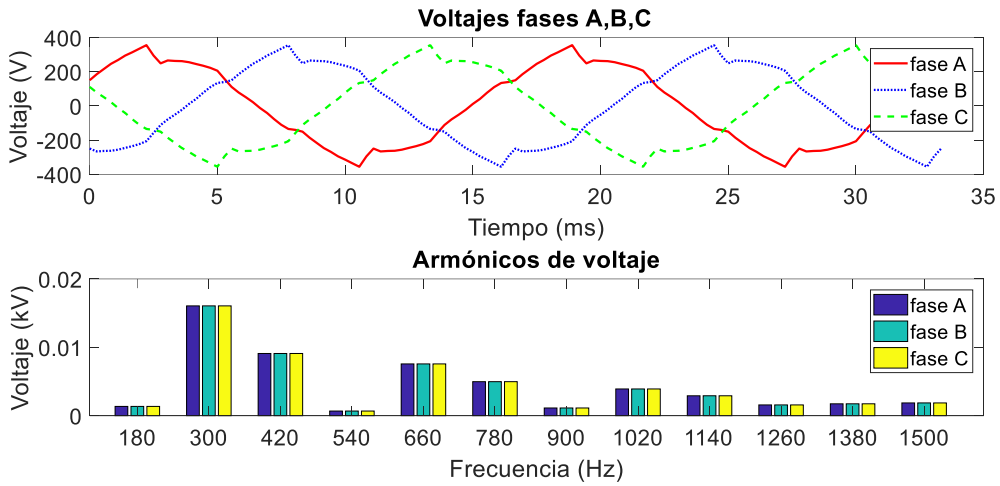


Figura 4-50. Formas de ondas voltajes estación A

En la Figura 4-51 se muestra la forma de onda de la corriente al utilizar la estación B observándose una distorsión baja, el nivel de armónicos es mejor frente a estación A se presenta a partir del 3^{er} armónico, el 7^{to} armónico es el predominante. La distorsión de voltaje existe es baja, mantiene su forma senoidal con ligera distorsión como se observa en la Figura 4-52.

Así también en la Figura 4-53 se observa la forma de onda de la corriente producida al usar la estación C, la cual presenta una distorsión baja, el armónico predominante es el 3^{er}. La forma de onda de voltaje presenta distorsión baja y es mostrada en la Figura 4-54.

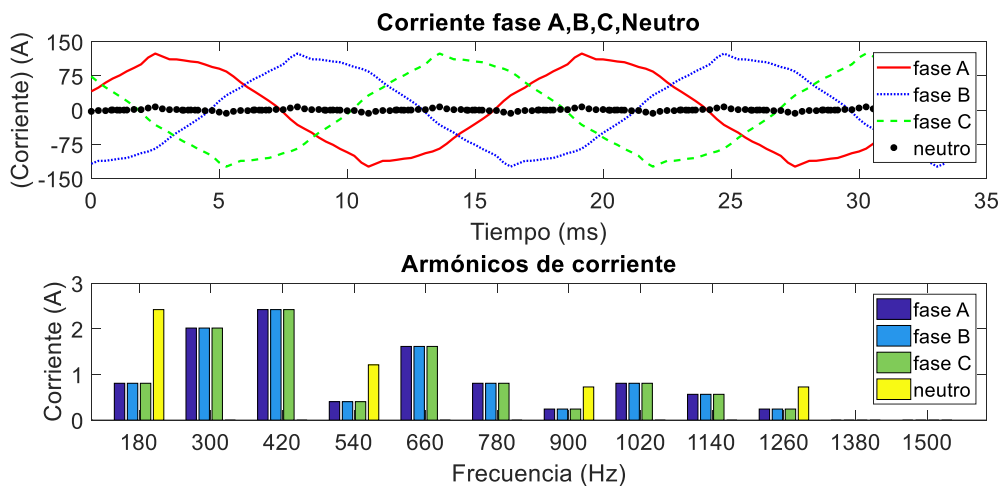


Figura 4-51. Forma de ondas de corriente estación B

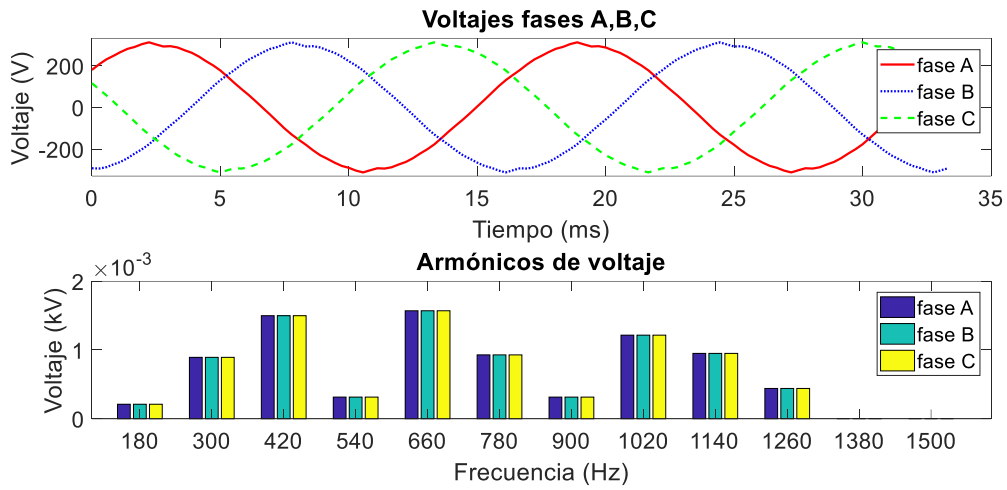


Figura 4-52. Forma de onda de voltaje estación B

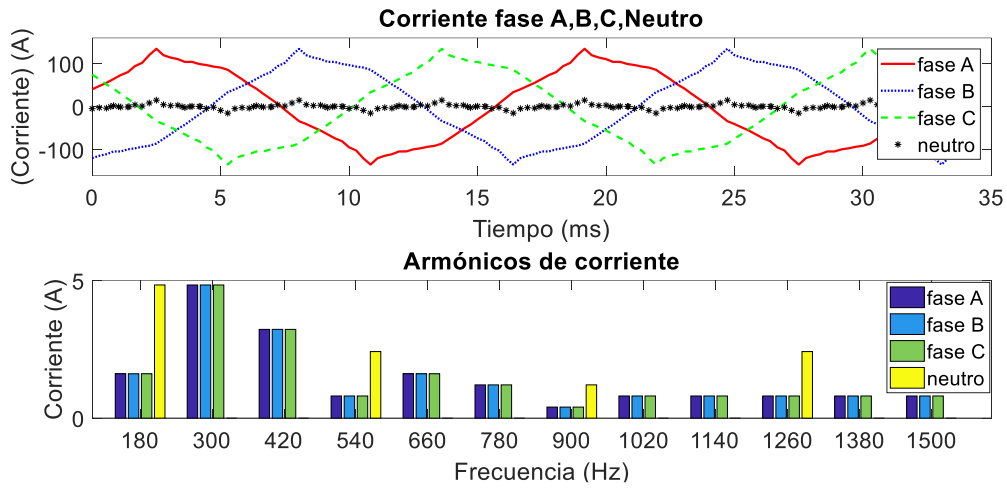


Figura 4-53. Forma de onda de corriente estación C

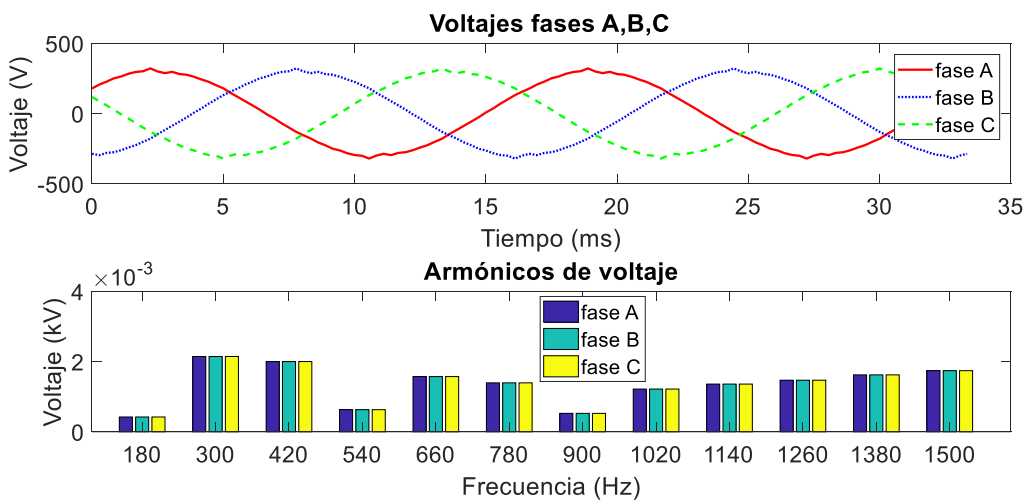


Figura 4-54. Forma de onda de voltaje estación C

De lo expuesto se observa que la utilización de la estación A presenta problemas en lo referente a la calidad de la energía sobrepasando los límites permitidos por las normas, si bien a los usuarios del sistema no generan mayor problema, la introducción de esta estación de carga afecta a la eficiencia del sistema de distribución en ciertos puntos con la circulación de armónicos los cuales producen calentamiento de los conductores provocando su deterioro y reducción del tiempo de vida. Las estaciones B y C no presentan un problema para el sistema, en tanto que la estación propuesta presenta menores problemas comparada con las 3 estaciones expuestas.

La estación propuesta se propone colocar en dos sectores más de la ciudad, un sector escogido es el que se encuentra ubicado en el parqueadero subterráneo del mercado 9 de octubre ubicado en las calles Mariano Cueva entre Sangurima y Lamar, con coordenada UTM (722239.65, 9679785.15). Se encuentra a 1 km a próximamente del centro de la ciudad (Parque Calderón) coordenadas UTM (721864.60, 9679581.06), esta zona está cerca de un mercado municipal, también de un mercado artesanal y varios comercios que también hacen que sea una zona de afluencia. En Figura 4-55 se observa la ubicación de dicho parqueadero.

Este sector se encuentra abastecido por la subestación No 1, por medio el alimentador 0102, con niveles de tensión de 6.3 kV en media tensión, de la manera similar para la simulación del uso de la estación de carga propuesta se alimenta desde un transformador 6.3/0.38 kV conexión delta estrella, en la cabina de transformación existente.



Figura 4-55. Ubicación de la estación de carga, sector Plaza Cívica

Con la introducción de la estación de carga rápida se obtienen valores de armónicos similares a los presentados en el sector del parque de la madre, en lo referente a THD_v de los usuarios del alimentador se obtiene un valor de 0.02% muy ligeramente superior al presentador en el sector anterior. Y para THD_i el mayor valor encontrado es de 0.82% en cables de media tensión y 0.02 % para baja tensión, teniendo valores muy por debajo de los permitidos en las normas.

Desde el punto de vista de la capacidad la zona no presenta problemas teniendo niveles de voltaje entre 95% y 105% indicado en color verde en la Figura 4-56 (Mercado 9 de octubre).



Figura 4-56. Estación de carga rápida sector Plaza Cívica (Mercado 9 de octubre)

Otro sector de la ciudad propuesto para colocación de una estación de carga rápida es San Blas, en un parqueadero publico subterráneo del Portal Artesanal ubicado en las calles Simón Bolívar y Huayna Capac como se indica en Figura 4-57. Esta zona también presenta gran afluencia de gente cuenta con restaurantes, parque, iglesias varios puntos de comercio, se encuentra a 1.4 km del parque central de la ciudad (parque Calderón). Este sector de la ciudad se encuentra abastecido por la subestación No. 1, por medio del alimentador 0101 con nivel de media tensión de 6.3 kV.

Con el análisis de armónicos se obtiene un THD_v de 0.02 % tanto en media tensión como en baja tensión y 0.48 % en el punto de conexión de la estación de carga rápida, El THD_i obtenido es de 2.87 % la afectación más elevada en media tensión es de 1.65 % y en baja tensión 0.01%.



Figura 4-57. Ubicación de estación de carga rápida Portal Artesanal

Desde el punto de vista de la capacidad no se tiene problemas el nivel de voltaje esta entre los 95% y 105% como se indica en Figura 4-58. El voltaje en el punto de conexión con la estación de carga rápida es ligeramente superior a los casos anteriores siendo ahora de 381 V.



Figura 4-58. Estación de carga rápida sector San Blas

Como se podido observar con los casos presentados anteriormente el sistema de distribución se encuentra preparado para la introducción de las estaciones de carga rápida y se podrá operar de forma segura sin afectar en la calidad de la energía a los usuarios del sector.

4.8. Conclusiones

La existencia de los estándares relacionados con las estaciones de carga rápida, siendo CHAdeMO el más difundido, permite a los distintos constructores ofrecer equipos que permiten la utilización de estas estaciones de forma segura con la menor afectación posible al sistema de distribución. Además de conocer las partes que conforma una estación de carga rápida, lo que permite desarrollar un diseño por etapas, una etapa de conversión AC/DC y otra DC/DC que permite que las técnicas de control sean más sencillas de aplicar a cada etapa de forma independiente.

Es importante obtener la función de transferencia para poder realizar el control de los lazos de corriente y voltaje, así también el modelo de pequeña señal, aplicando un control en cascada, teniendo lazos de corrientes interno y el de voltaje externo, que facilitan la implementación del control presentando comportamientos estables durante el proceso de carga.

Las tecnologías utilizadas en las estaciones de carga rápida son técnicas que vienen siendo empleadas hace ya varios años, lo que ha permitido cada vez ir mejorando obteniendo mejores técnicas para el control de la conversión de AC/DC, logrando así reducir los armónicos generados en este proceso. En este caso se obtuvo un THD_i de 2.87 % y un THD_v de 0.49%, valores que se encuentran por debajo de la norma.

Es importante la existencia de este tipo de estaciones de carga, pues ayudan a promover la utilización de los vehículos eléctricos, siendo en básicas para que el usuario se sienta tranquilo al saber que dispone de puntos de carga en los que pueden recargar su vehículo en menos de 20 minutos y continuar con su recorrido.

La utilización de la estación de carga rápida propuesta no presenta ningún tipo de problema para el sistema de distribución, los niveles de armónicos son bajos presentado un THD_i y THD_v de 0.02% para los demás usuarios del sistema. Desde el punto de vista de la capacidad del sistema, se observa que se encuentra preparado para esta nueva carga, además que se debe tomar la consideración que este tipo de estación son de costo elevado y por ello su número es reducido, con lo que no se tiene un aumento significativo de energía con su uso.

Capítulo 5

5. Gestión de la demanda

5.1. Introducción

Con la incorporación de los vehículos eléctricos al parque automotor ecuatoriano se otro aspecto importante de analizar es el relacionado con los hábitos de uso energético por parte de los consumidores del sistema eléctrico. Siendo este un punto que no se puede determinar con exactitud dado a la condición no determinista del uso de la energía eléctrica.

En este capítulo se analiza el impacto que se puede producirse a la curva de carga de consumo energético con el ingreso de los vehículos eléctricos, para ello se realizar un estudio bajo condiciones impuestas con el objetivo de evaluar el peor caso, siendo este un uso de manera simultaneo, se crean escenarios de comportamiento preestablecidos, y se presentan recomendaciones que se pueden ser nombradas como estrategias a seguir, con el fin de reducir o aplanar dicha curva o mejorar la eficiencia del sistema en tres sectores de la ciudad de Cuenca como son el residencial, comercial e industrial.

5.2. Demanda de la energía

La demanda de energía es la energía eléctrica requerida por una carga durante un determinado periodo de tiempo. Lo que nos da una medida del consumo de energía, es de gran importancia tomando en cuenta que la energía eléctrica no se puede almacenar a costos viables, por lo que debe ser consumida en el ínstate de su generación. Si bien es cierto que no se puede determinar con exactitud en que cantidad y en qué horas el usuario final emplea la energía eléctrica, si podemos tener cierta estimación en función a históricos una tendencia en el tiempo, que ayudan a realizar una planificación de las fuentes de generación en el tiempo que correspondan.

5.3. Estrategias de gestión de la demanda

La gestión de la demanda “Demand Side Management” es la planificación e implementación de medidas destinadas a influir en el modo de consumir energía con el fin de modificar el perfil de consumo. Con ellas se contribuye a una gestión más eficiente y sostenible del sistema eléctrico [47]. Con este objetivo se trabaja con eficiencia energética y con gestión de la demanda.

Eficiencia energética: Es el uso de menos energía para realizar las mismas tareas, con uso de equipo electrónicos de mayor eficiencia que permiten reducción de potencia, más no de control sobre el tiempo de uso. Básicamente son campañas diseñadas para que los usuarios utilicen equipos de mayor eficiencia energética llamados de eficiencia A- Un ejemplo de esto es el plan “renova” en Ecuador, el cual consiste en remplazar las refrigeradoras ineficientes desde el punto energético por su tecnología antigua por refrigeradoras con mayor eficiencia energética. Cambio de focos incandescentes por los denominados focos ahorradores.

Gestión de la demanda: son estrategias destinada a obtener cambios de patrón de consumo, tendiendo respuesta a la demanda que son métodos reactivos para reducir o desplazar el pico, y respuesta dinámica en donde se trata de realizar retardos en los ciclos para aumentar el factor de diversidad.

Estas medidas pueden ser clasificadas en 2 grupos según el impacto en la curva de carga.

1. **Reducción del consumo energético:** esta medida tiene la finalidad como su nombre o indica la reducción del consumo energético de los usuarios, y pueden darse por medio de incentivar a los usuarios del uso de equipos con mayor eficiencia energética, generalmente están promovidas con políticas públicas mediante campañas de concientización sobre el ahorro energético. Otra medida utilizada es el uso de otras fuentes de energía. Con este programa se pretende reducir la demanda un ejemplo del objetivo se indica en la Figura 5-1. Donde se puede apreciar dos curvas de demanda a lo largo del día en las se tiene la original en color azul y en rojo una curva de demanda a la cual se le aplica una reducción del 10% de la original.

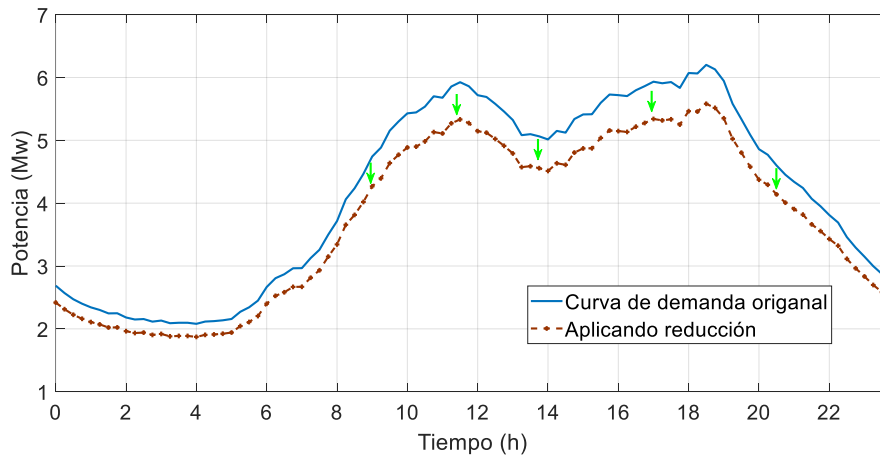


Figura 5-1. Reducción de la curva de demanda

2. **Desplazamiento del consumo:** Esta estrategia busca como su nombre lo indica el desplazamiento del consumo por parte de los usuarios en el horario crítico de consumo hacia otro horario más favorable desde el punto de vista de eficiencia energética, este horario más favorable es llamado horas valle. Esta estrategia es también promovida mediante políticas públicas, y tiene por objetivo incentivar al usuario a que haga uso de la energía eléctrica en horas más favorables para la gestión de la demanda energética. Con esta medida, comúnmente es aplicado un esquema tarifario para influir en el usuario el comportamiento de consumo mediante aspectos económicos. Dentro de esta estrategia podemos clasificar en dos conseguir dos objetivos:

A. Llenado de horas valle: consiste en la utilización de energía en horas valles o horas de bajo consumo, algunas técnicas usadas son el almacenar energía que posteriormente será usada en las horas punta, se puede utilizar tecnologías de almacenamiento, recarga de VE, uso de estaciones de bombeo. En la Figura 5-2 se ilustra un ejemplo del objetivo de esta estrategia el que consiste en aumentar el consumo en la curva de demanda en horas valles (baja demanda).

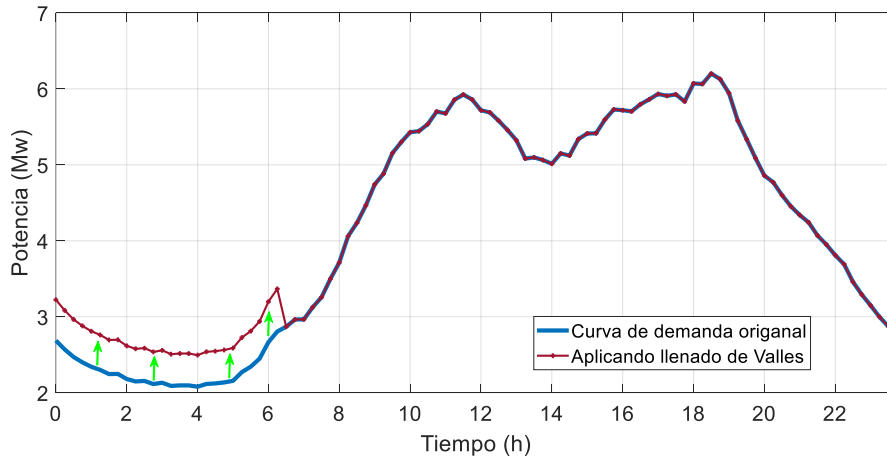


Figura 5-2. Llenado de valles

B. Reducción del consumo en horas pico: Campañas destinadas a fomentar en el usuario la desconectar los equipos eléctricos que no estén utilizando, Aplicación de tarifas para inducir en el usuario la reducción de consumo energético en estas horas. Un ejemplo del objetivo que se pretende con la aplicación de esta estrategia se muestra en la Figura 5-3 donde se puede apreciar una reducción del pico de la curva de demanda original.

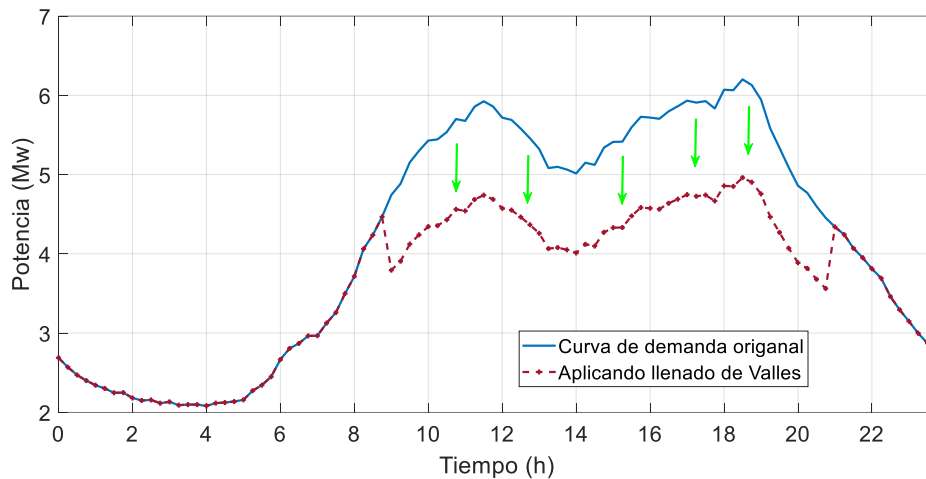


Figura 5-3. Reducción del pico

De la Figura 5-2 y Figura 5-3 podemos apreciar que al utilizar estas dos estrategias simultáneamente se logra realizar el desplazamiento de la demanda de los picos a los valles.

Un ejemplo de la aplicación de este tipo de estrategia es la usada por la Red Eléctrica de España, donde se establece precios de la energía eléctrica en función a un horario preestablecido en función de las condiciones de las fuentes de generación y

la demanda energética, este concepto es conocido como tiempo de uso del inglés “time of use” (TOU). En la Figura 5-4 se presenta un ejemplo de tarifa diferenciada diseñada para inducir en el usuario la utilización de energía en el horario de demanda bajo con precio más económicos.



Figura 5-4. Horario diferenciado [48]

5.4. Incentivos Gubernamentales para la adquisición y uso del vehículo eléctrico

Con el objetivo de promocionar la adquisición y uso de los VE el estado Ecuatoriano ha establecido una serie de políticas públicas que ofrecen algunos beneficios, descritos a continuación [49]:

- 0% de impuestos arancelarios para la importación de modelos cuyo valor sea menor a 40000 USD.
- 0% de impuestos al valor agregado e impuestos a los consumos especiales (IVA e ICE) para vehículos de venta al público con un valor inferior a 35000 USD.
- Implementación de un Registro de Importadores con la finalidad de garantizar la existencia de repuestos, mantenimiento y servicio técnico.
- No hay límite de importación para este tipo de tecnología.
- Tarifa diferenciada en el costo de la energía eléctrica, por resolución de la Agencia de Regulación y control de la Electricidad (ARCONEL) en la resolución 038/15.

También se han trabajado en incentivos de gobiernos locales para dar otros beneficios. Un ejemplo de esto es el Municipio de Cuenca que plantea reducción de impuestos de tasa de rodaje, disminución en el cobro de la revisión vehicular, parqueos preferenciales, entre otros y se pretende realizarlo a nivel nacional. Otro caso de incentivo es el presentado por el municipio de Loja, que aprobó la creación de 50 cupos, de los cuales 40 destinado a los ciudadanos migrantes que han retornado al

país y 10 al público en general que no hayan pertenecido al sector público, militar o que hayan sido socios de alguna cooperativa de transporte en los 10 últimos años [50].

Por otra parte, con el objetivo de incentivar el uso de las estaciones de carga en horarios de menos demanda la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL), ha dispuesto la regulación signada con el número 038/15 de fecha 24/06/2015, para usuarios que deseen instalar estaciones de carga lenta con capacidad de hasta 10 kW. Para beneficiarse de los incentivos de dicha normativa el consumidor deber contar con un medidor de energía especial el cual cuenta con registrador de demanda horaria que permita la identificación de los consumos de energía, así como el periodo en el que se realiza la recarga.

Los aspectos básicos de esta normativa se describen a continuación:

Se debe pagar un cargo por comercialización, expresado en USD/consumidor, este valor es independiente del consumo de energía y potencia.

Un cargo por energía, expresado en USD/kWh, en función de la energía consumida en el periodo indicado, gráficamente se puede observar en la Figura 5-5:

- Demanda punta de 18h00 hasta las 22h00 de lunes a domingo, se paga el 100%.
- Demanda media de 8h00 hasta las 18h00 de lunes a viernes, equivalente al 80% del cargo en el periodo de punta
- Demanda base de 22h00 hasta las 8h00 de lunes a domingo añadiéndose el horario de 8H00 a 18H00 los días sábado y domingo, equivalente al 50% del cargo en el periodo de punta.

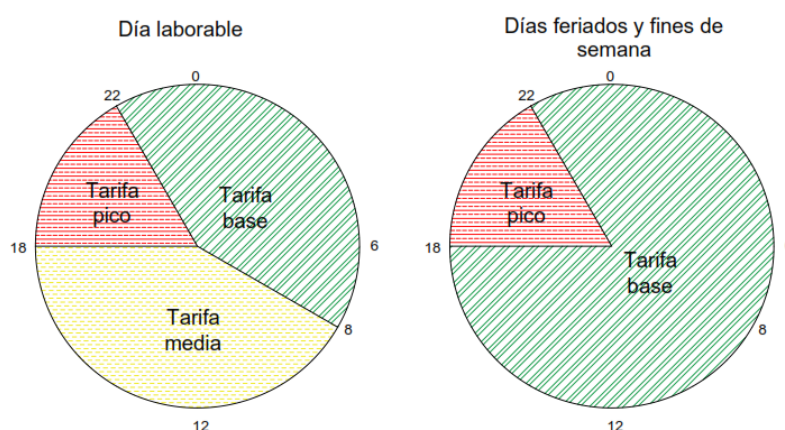


Figura 5-5. Discriminación tarifaria en función del horario de uso.

5.5. Ubicación espacial del estudio

(Zona geográfica de estudio)

Para este estudio se seleccionan 3 sectores, los cuales presentan la característica de tener clientes de naturaleza residencial, comercial e industrial, además se toma la consideración de que solo se analiza en la zona urbana de la ciudad. En la Figura 5-6 se presenta un mapa con las zonas escogidas.

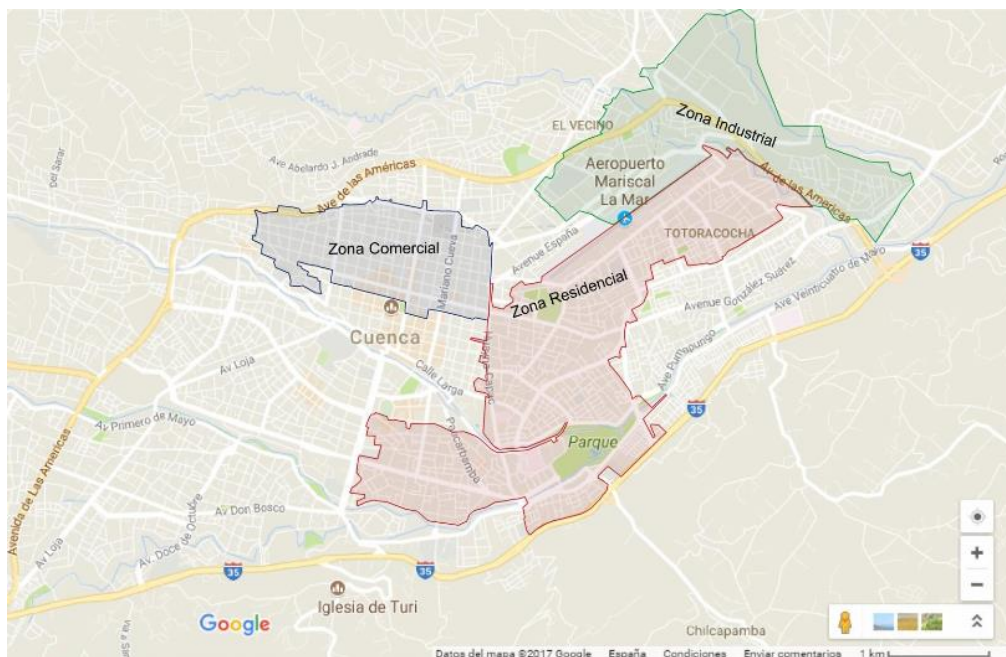


Figura 5-6. Ubicación de las zonas en la ciudad de Cuenca

Clasificación de los clientes: en el área de estudio se presenta usuario consumo del tipo:

Residencial: Este tipo de clientes se caracterizan por tener cargas predominantes del tipo resistivas propias de casa, edificios de apartamentos, condóminos multifamiliares el consumo está en el rango del 50 a 200 kWh/mes.

Comerciales: los clientes de esta clasificación también poseen características resistivas, este tipo de usuarios generalmente se encuentran localizadas en zonas céntricas de la ciudad, centros comerciales y edificios con oficinas.

Industriales: estas cargas se caracterizan por tener un importante componente de energía reactiva, debido al elevado número de motores que poseen en sus instalaciones teniendo que realizar correcciones del factor de potencia.

Para realizar este análisis se escoge la subestación No. 1 de la ciudad de Cuenca, la cual se encuentra ubicada en la parte central de la ciudad como se mostró en la Figura 5-6, en la Figura 5-7 se presenta la zona que a la que abastece de energía y la cual se encuentra sombreada con color azul. Está zona está compuesta por clientes del tipo residencial y comercial predominando estos últimos, en este sector las estaciones de carga estarían destinadas para el uso de las instituciones públicas y estaciones de carga rápida debido a que en esta zona presenta la característica de ser punto de afluencia de personas que realizan actividades de comercio, transacciones en los bancos, pagos de servicios entre otros.

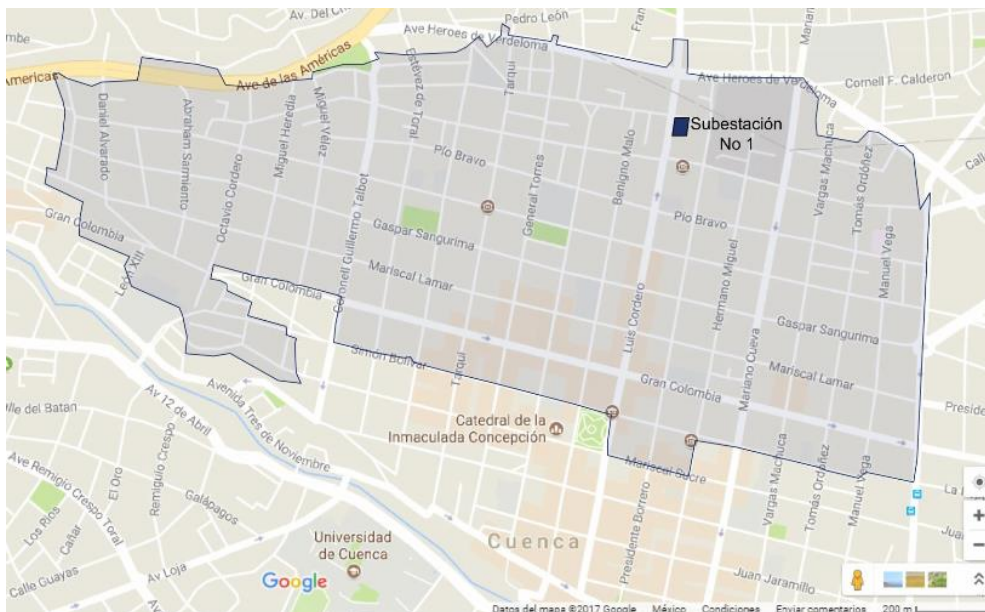


Figura 5-7. Área de la subestación No. 1

Otro sector escogido es el que se encuentra alimentado por la subestación No. 3. En este sector se encuentran clientes del tipo comercial y residencial, siendo este último el que predomina en este sector y en las cuales el objeto de estudio son las estaciones de carga ubicadas en domicilio, la zona urbana alimentada por dicha subestación es mostrada en la Figura 5-8.

Por último, se escogió la subestación No. 4 en a que se encuentran clientes del tipo residencial, comercial e industrial, siendo los últimos los de mayor influencia en el sector. En la Figura 5-9 se muestra el área a la que sirve la subestación.



Figura 5-8. Área subestación No. 3

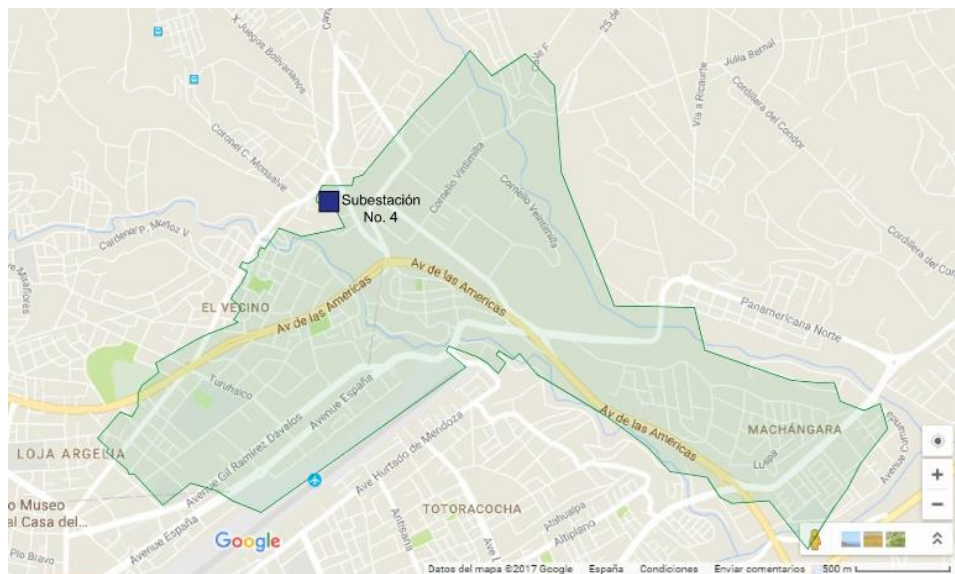


Figura 5-9. Área subestación No. 4

5.6. Curvas de demanda energética en la Ciudad de Cuenca

La demanda energética en las zonas de estudio, estimada por medio de la infraestructura de las compañías del servicio eléctrico de la zona céntrica de la ciudad de Cuenca, se caracteriza por tener usuarios con consumo de tipo residencial y

comercial, siendo este último mayoritario, se encuentra alimentador la subestación No. 1, con nivel de tensión de 6.3 kV en media tensión. La curva de carga típica de un día entre semana de se presenta en la Figura 5-10. Donde se puede notar que las horas de mayores consumos van de 9:00 a 21:00

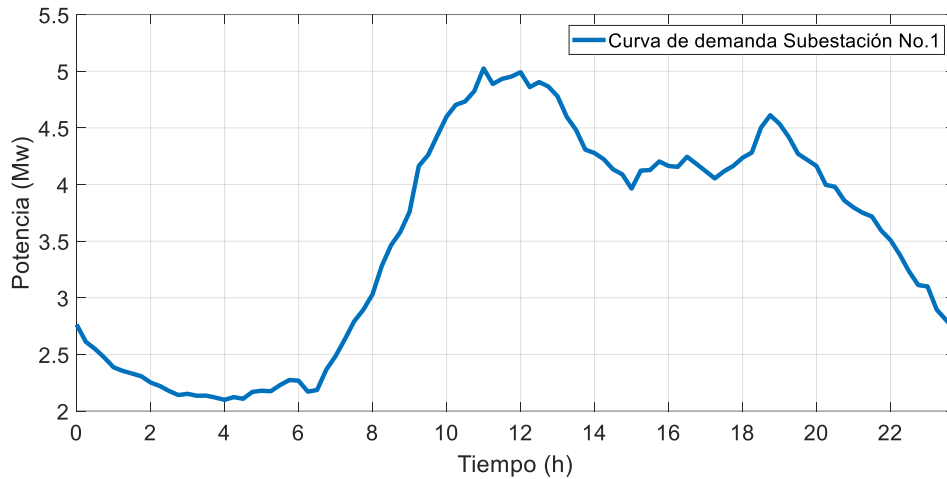


Figura 5-10. Curva de carga típica, usuarios con comportamiento mayoritario comercial

La subestación No. 3, cuenta con un nivel de alta tensión de 22 kV, con usuarios mayoritariamente de tipo residencial, la curva demanda típica se presenta en la Figura 5-11. En este tipo de usuarios se observa que las horas de mayor consumo están entre las 18:00 y 22:00 horas.

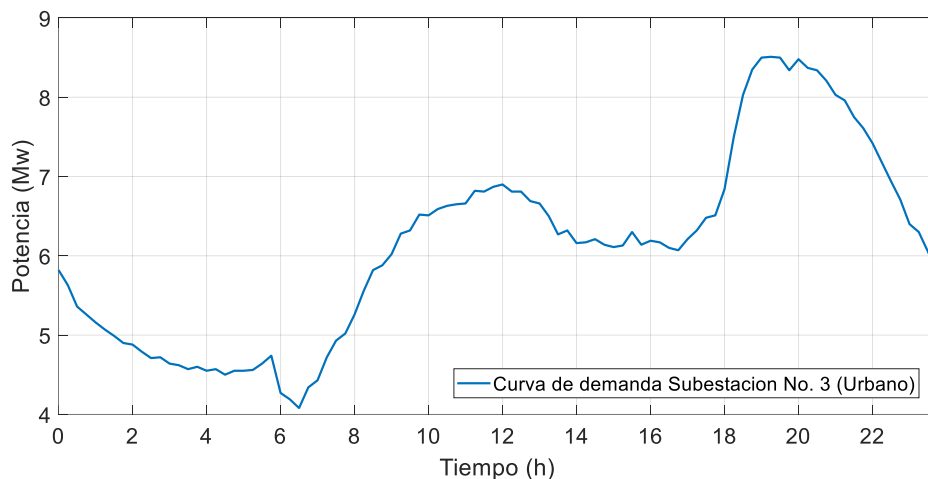


Figura 5-11. Curva de carga diaria típica, con usuarios con comportamiento de tipo residencial

El sector industrial se encuentra alimentado por la subestación No. 4, con niveles de alta tensión de 22 kV, la curva de demanda se presenta en la Figura 5-12. Donde se puede apreciar que tiene un consumo relativamente constante durante todo el día,

debido a que algunas fábricas del sector también realizan sus actividades en horario nocturno.

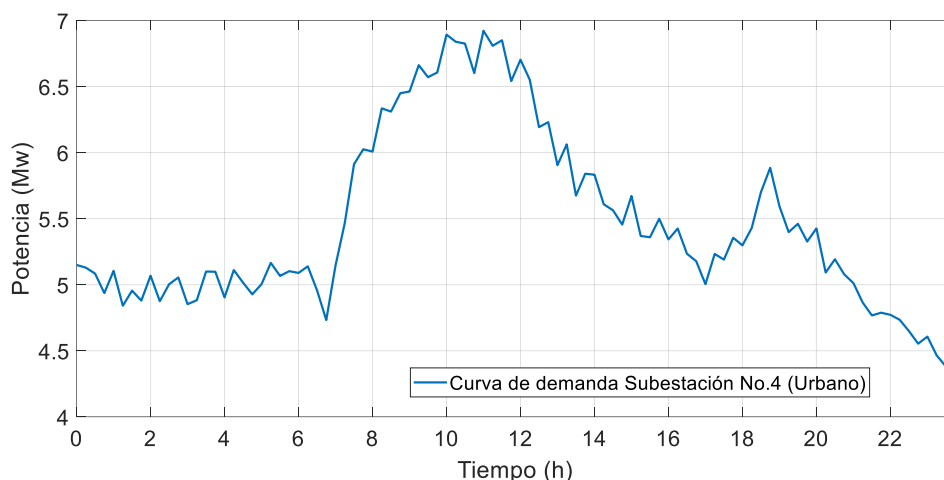


Figura 5-12. Curva de carga diaria sector industrial

Como se puede apreciar estos tres sectores cuentan con forma de consumo eléctrico distinto, siendo el sector industrial el más constante a lo largo del día.

Las curvas de demanda observadas de la ciudad de Cuenca presentan poca variación durante el año, debido que, al contar con una ubicación geográfica tropical, sin estaciones climáticas marcadas tiene una temperatura con pequeñas variaciones durante el año, lo que permite que los usuarios tengan comportamientos de usos de energía similares durante el año.

5.7. Estimación del uso del Vehículo Eléctrico en la ciudad de Cuenca

Con el ingreso del Vehículo eléctrico en el parque automotor, es lógico asumir que la demanda de energía eléctrica aumente, existiendo variables que modifican el incremento producido, por ejemplo, el número de vehículos, la frecuencia con la que se cargue el VE, la cual estaría de la mano con el recorrido que realice el usuario y su estilo de conducción. Otro aspecto sería el tiempo que realice la carga que depende de la estación de carga a utilizar y el nivel del estado de carga inicial y final para cada vez que se realice la carga. Para este estudio se toman las siguientes consideraciones.

Tiempo de carga

El tiempo de carga es una variable relativa sujeta entre otras cosas, a las características técnicas del vehículo eléctrico a cargar, características de la estación de carga, estado inicial y el estado final deseado. Debido a esto pueden hacer aproximaciones en los hábitos de consumo, mediante la formulación de escenarios.

Estimación del número de Vehículos eléctricos en Cuenca

Un factor importante es el número de vehículos eléctricos que ingresan en el parque automotor de la ciudad Cuenca. Este número depende de la correcta promoción que se le dé, incentivos para la adquisición, así también diferentes incentivos para su uso como son las tarifas para realizar la recarga.

Para este estudio se propone escenarios con diferentes números de vehículos, para ello se ha utilizado información de estudios previos los cuales determinan que el parque automotor de la ciudad de Cuenca se estima en 115000 para el 2014 [51], por otra parte en la referencia [52] se presenta una proyección de ventas de VE realiza por el ARCONEL y datos de la Asociación Ecuatoriana Automotriz (AEA) de vehículos en Ecuador mencionado que del total nacional el 7% se distribuye en la ciudad de Cuenca. Usando estos datos podemos plantear escenarios con diferentes números de vehículos eléctricos con el fin de analizar cómo se modificará la curva de carga actual.

Tomando los datos de proyección realiza para el escenario 1 se tiene una estimación de un total de 9856 VEs en el Ecuador, para el escenario 2 con 19949 VE y 30715 VEs para el escenario 3, lo que daría para la ciudad de Cuenca 690, 1396 y 2150 VEs para cada escenario respectivamente.

Estimación de frecuencia de carga del VE

Del estudio realizado en [53], se realizan estimaciones para determinar una media del recorrido de los vehículos en kilómetros por día en la ciudad de Cuenca, estos datos son presentados el Tabla 5-1. También en este mismo estudio se expresa que se dispone de 563 vehículos públicos y 3615 taxis en el 2015.

Tabla 5-1. Estimación de recorrido por día de los vehículos en la ciudad de Cuenca

Kilómetro recorrido al día	
Vehículos	Media (KM)
Particular	36.04
Taxis	200.29
Publico	134.14

Otros estudios se han realizado en el laboratorio de microrredes de la Universidad de Cuenca, donde con el vehículo eléctrico disponible presenta bajo condiciones establecidas una autonomía de 145 km antes de necesitar realizar una carga. Con esta autonomía y la información presentada en la Tabla 5-1, se obtiene que para realizar la ruta de un vehículo particular se requiere realizar el proceso de carga cada 4 días en promedio, en el caso de ser vehículos de transporte público livianos “taxis”, es necesario realizar una carga diaria, al igual que de ser destinado para uso de las instituciones públicas.

5.8. Gestión de demanda con el ingreso del VE en la Ciudad de Cuenca

Con la finalidad de disminuir el impacto de la incursión de los vehículos eléctricos en el sistema eléctrico de la ciudad de Cuenca, se plantan varias estrategias para este fin, algunas con mayor grado de interacción entre el consumidor y el sistema eléctrico, las estrategias propuestas con la introducción del VE se describen a continuación.

5.8.1. Eficiencia energética

Estrategia con el mismo objetivo de “*Reducción del consumo energético*” para la gestión de la demanda, particularizando a la infraestructura necesaria para el uso de vehículos eléctricos, donde se incentiva la utilización de las estaciones de carga con mayor eficiencia. En el capítulo 2 se realizó un estudio donde se analizó dos estaciones de carga de uso doméstico, en la cual se determina la eficiencia energética, dando como resultado que al utilizar las estaciones de carga de nivel 2 se obtiene mayor eficiencia en comparación a la de nivel 1 según la norma SAE J1772. El objetivo de este programa es el de poder reducir la energía consumida al tener menores pérdidas energéticas en su uso.

Con la aplicación de esta estrategia se incentiva a reducir las pérdidas de energía, pero la utilización de las estaciones de carga se puede realizar a cualquier hora del día sin discriminación de horario.

Aplicando esta estrategia tendríamos los siguientes escenarios en cuanto al tipo de consumidor:

En el sector residencial como se indicó anteriormente, el uso más elevado que presenta este tipo de consumidor es a partir de las 19:00 horas, debido al comportamiento promedio. Esta es la hora en que retornan los usuarios a sus residencias de sus diferentes actividades, tomando en cuenta este aspecto de comportamiento se puede asumir que para realizar la carga del VE, generalmente lo hará a partir de esa hora, otro punto tomado en cuenta utilizando información facilitada por la EERCS, se tiene que el sector cuenta con 59818 clientes residenciales, los cuales representa el 30% de los abonados y tomando en cuenta la proyección de ventas de VE presentado anteriormente y un factor de coincidencia para realizar la carga del VE, que representará el peor caso “*carga de todos los vehículos simultáneamente*”, se plantean 3 escenarios para el análisis los cuales están en función del nivel de penetración del VE presentados anteriormente teniendo así para el escenario 1 con 207 VE, el escenario 2 con 419 VE y el escenario 3 con 645 VE.

Para la estimación de uso de la estación de carga, se toma en consideración el utilizar la estación de nivel 2 descrita en el capítulo 3, cual tiene una potencia promedio de 5.83 kW, con la cual se entrega a la batería una potencia de 5.10 kW. La batería del Kia Soul EV posee una capacidad de 27 kWh, requiriendo para cargar desde un nivel de SOC del 20% al 100% una potencia de 21.6 kWh. Para realizar este proceso de carga le toma un tiempo de 4.23 h, para este análisis se redondea a 4.3 h debido a que la potencia de la curva de demanda es tomada cada 15 minutos.

Zona Residencial

Bajo las condiciones descritas, la demanda energética máxima se eleva, ver Figura 5-13, evidenciando mayor requerimiento de energía, lo que provoca la necesidad de disponer de otras fuentes de generación para cumplir con la demanda, incrementándose los costos de producción.

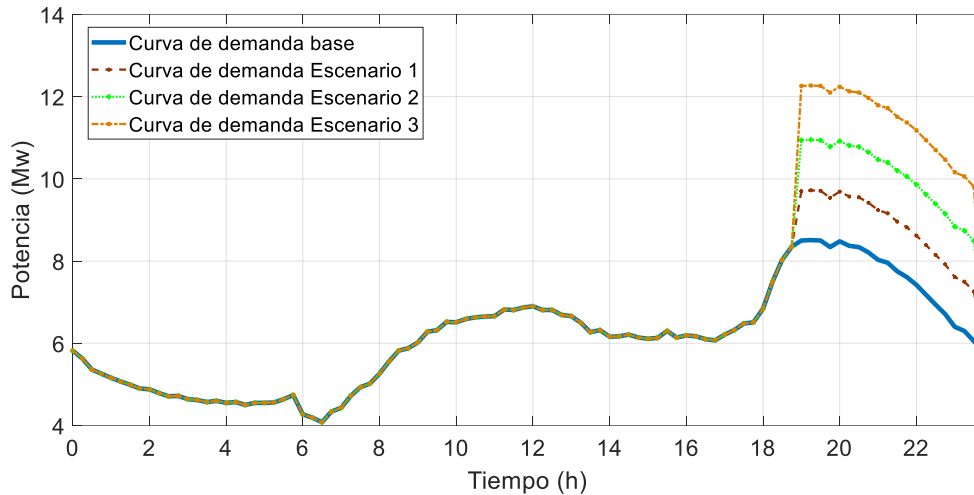


Figura 5-13. Curva de demanda residencial, con uso de VE en distintos escenarios

Zona comercial

En esta zona la curva de se verá alterada por otros factores como el que la utilización del cargador de vehículo eléctrico de tipo nivel 2 será en diferente horario que, en el caso residencial, puesto que la zona comercial presenta mayor grado de afluencia de personas entre las 10:00 hasta las 20:00, con lo que aquí se tendría estaciones de carga destinadas a ser utilizadas mientras los usuarios realiza sus actividades de compras, pagos recreación entre otras.

En esta zona también las estaciones de carga serán usadas en instituciones municipales y entes gubernamentales para el uso de sus actividades como ejemplo transporte de personal a inspecciones, adicionalmente se deberían disponer estaciones de carga rápida con un menor número, para el caso de este estudio se toman las 2 estaciones de carga rápida con potencia de 53 kW, propuestas en el capítulo 4, con el propósito de evaluar el pero caso se asume que estas estaciones estarán funcionando simultáneamente, además de colocan 25 estaciones de carga semi-rápida de 5.83 kW a las que se conectan vehículos a la hora de ingreso a las trabajos 8:00, la curva de carga con estas modificaciones se muestra en la Figura 5-14. Donde se puede apreciar que el incremento es bajo, con existencia de horas valle en donde se puede realizar las cargas.

En este sector también cuenta con usuarios del tipo residencial en menor número los cuales no son tomados en cuenta pues en la zona residencial ya es analizada su influencia en la curva de la demanda.

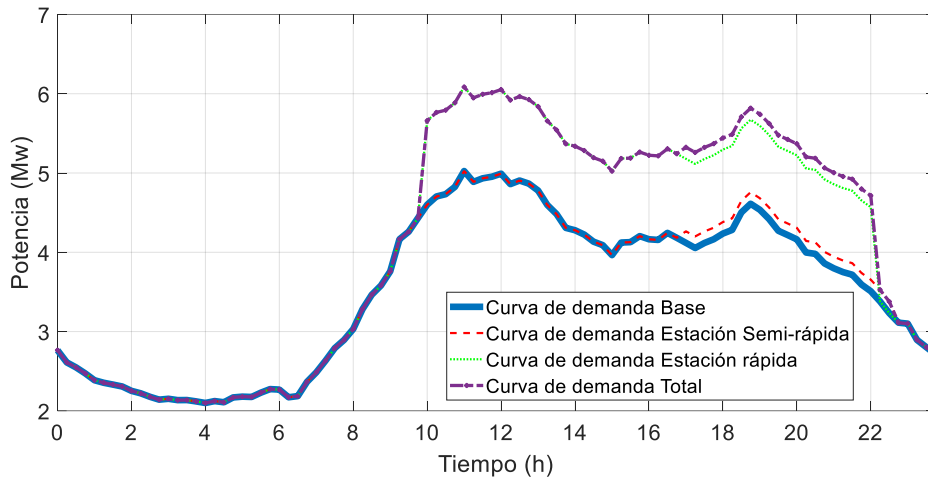


Figura 5-14. Curva en sector comercial con ingreso de VE

Zona industrial

En la zona se tiene una curva de carga más constante que los casos anteriores y bajo las condiciones de consumo que se presenta en las fábricas, En el parque industrial existen alrededor de 120 empresas [54], para analizar el impacto en la curva de carga se asume la instalación de 3 estaciones de carga de 5.83 kW por empresa teniendo un total de 360 estaciones de carga, los empleados podrían usar estas estaciones puesto que los empleados están en sus trabajos por 8 horas tiempo suficiente para realizar carga completa. En el turno nocturno existe menos personal por lo que se tomanos como si se usara 1 estación de carga por empresa. Bajo estas condiciones la curva de carga se vería modificada como se presente en la Figura 5-15. Donde se aprecia un incremento en las horas donde existe mayor número de trabajadores. La curva de demanda en este sector se mantiene relativamente constante.

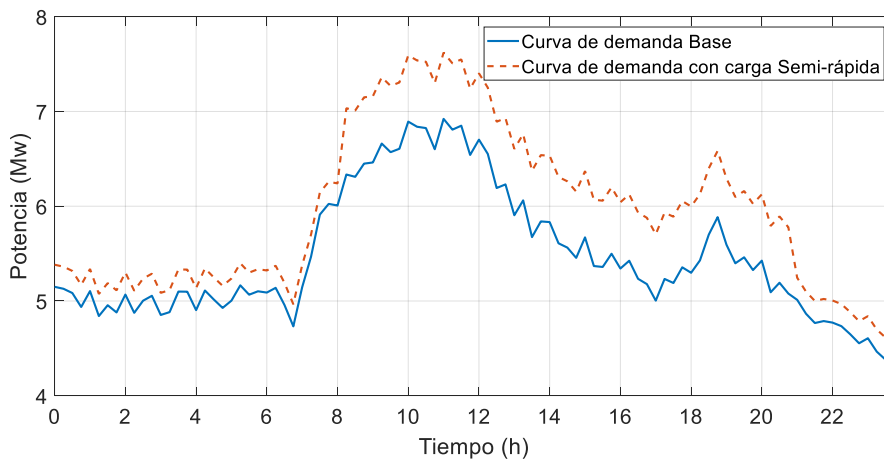


Figura 5-15. Curva de carga sector Industrial con la introducción del VE

5.8.2. Esquema tarifario

Estrategia con estrecha relación con el “**Desplazamiento del consumo**”,

En Ecuador ya existen un pliego tarifario con precios que varían según el horario de demanda, para el periodo 2017 ya se incluye para el uso de las estaciones de carga de vehículos eléctricos con una potencia menor a 10 kW [55], el primer sector que conto con tarifa horaria diferenciada fue el sector industrial.

Como ya se mencionó para el uso de estaciones de carga semi-rápidas existe un esquema tarifario que permite incentivar al usuario a realizar la carga del VE a partir de las 22:00 lo que permite que no se incremente la demanda en el horario establecido.

Con la aplicación del esquema tarifario para recarga del vehículo eléctrico en Ecuador tomado una tarifa de $T_p=0.05$ USD/kWh, 0.08 USD/kWh y 0.1 USD/kWh en los horarios base, media y punta, respectivamente. Este último valor corresponde al precio promedio de electricidad a nivel residencial. Para calcular el consumo de energía de la estación de carga es necesario multiplicar la potencia y el tiempo de uso y el costo correspondiente a la carga comprendida en más de un uso tarifario. Para ello, se utiliza la ecuación (5-1), donde E_p es la energía consumida en el intervalo con la tarifa correspondiente T_p identificada anteriormente.

$$CT = \sum E_p * T_p \quad (5-1)$$

Tomando en cuenta que el VE kia Soul cuenta con una batería de 27 kWh de capacidad, utilizando la estación de carga con una potencia de 5.837 kW, se necesita 4.23 horas para carga desde el un SOC del 20% al 100%, en la Figura 5-16 se muestra el horario más favorable y menos favorable. En este tiempo la energía consumida es de 21.60 kWh/carga. Con un costo de 1.08 USD por cada carga en el horario más favorable y de 2.09 USD en el horario menos favorable. El usuario que opte por carga en el horario más favorable entre las 22:00 h y 8:00 h tiene un ahorro de cerca del 50% si usara el horario punta.

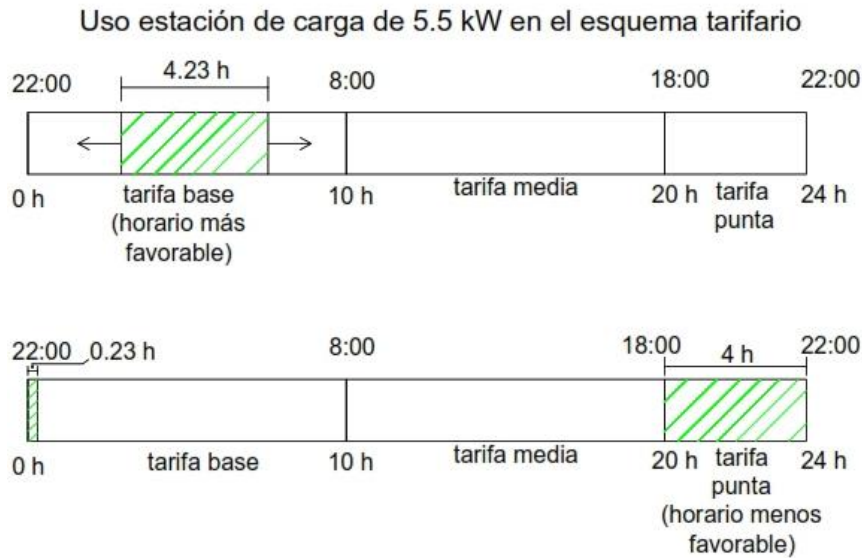


Figura 5-16. Tiempo de uso en el esquema tarifario de la estación de nivel 2

Zona residencial

Si todos los usuarios se ajustan al disfrute de la reducción del costo de la energía, la curva de demanda presentada en Figura 5-13 se modifica. En la Figura 5-17 se puede apreciar la curva de demanda bajo esta estrategia donde se identifica que esta estrategia ayuda a la utilización de en horas valle, pero también se aprecia que cuando se eleva el nivel de masificación de uso del VE, en este caso en los escenario 2 y escenario 3 a las 22:00 se generaría un nuevo pico, con lo que se puede apreciar que estos programas ayudan de forma efectiva en los primeros años de ingreso de VE pero con el paso del tiempo se necesita plantear estrategias adicionales.

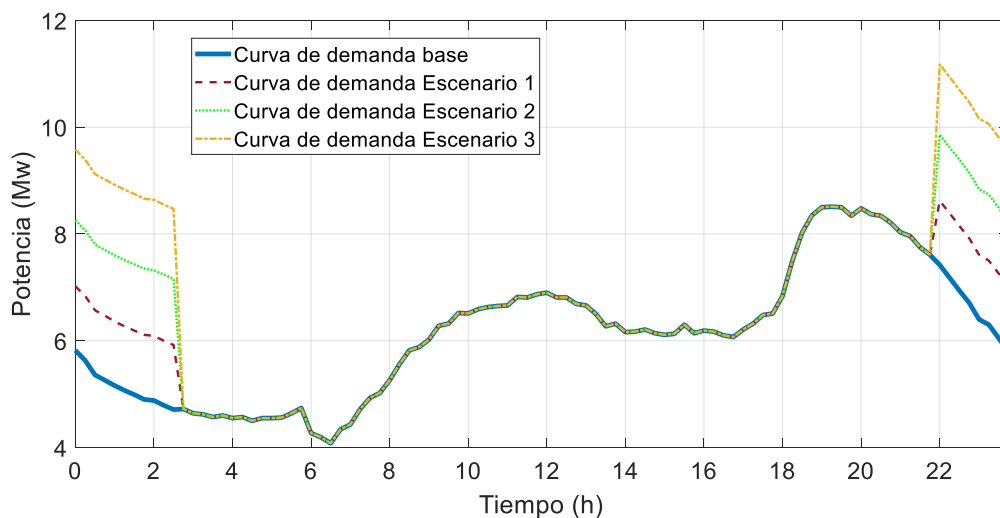


Figura 5-17. Curva de carga sector residencial con ingreso del VE con esquema tarifario

Zona comercial

A nivel del sector comercial se estima que no habría una variación con las tarifas propuestas puesto que en este sector los horarios de trabajos, atención del comercio, están en el periodo de demanda media. Si bien en este sector la menor existencia de las estaciones de carga hace que la modificación de la curva de carga no se vea afectada, existe un periodo entre las 13:45 y 18:45 en que se puede usar con mayor frecuencia las estaciones de carga de uso privado destinada para trabajadores de instituciones, para ello se puede aplicar una tarifa diferente en el horario propuesto, de lo contrario en las instituciones preferirán cargarlo en horario nocturno en sus casas. En lo referente a las estaciones de carga rápida también se podría aplicar una reducción de la tarifa en dicho periodo, más se debe tomar en cuenta que este tipo de puntos de carga el usuario no siempre podrá planificar la hora de uso ya que son puntos de recarga emergente con muy corta duración para cada vehículo. En la Figura 5-18, se observa el efecto en la curva carga con las consideraciones de uso en el horario presentado anteriormente.

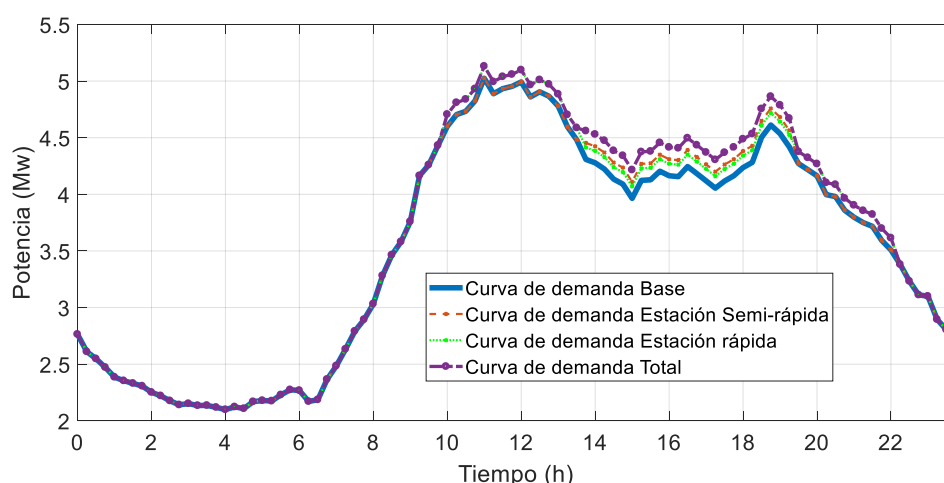


Figura 5-18. Curva de carga sector comercial con VE esquema tarifario.

Zona industrial

Con tarifa diferenciada en el sector industrial la tendencia sería que solo los trabajadores con turno nocturno realicen las cargas, debido a que se encuentran en un periodo de demanda baja, ya que, a los trabajadores con turno diurno, les resulta más económico realizar la carga en sus residencias en horario nocturno con tarifas menores. Como resultado la curva de carga tomando en cuenta estas consideraciones se modifica como lo indica la Figura 5-19.

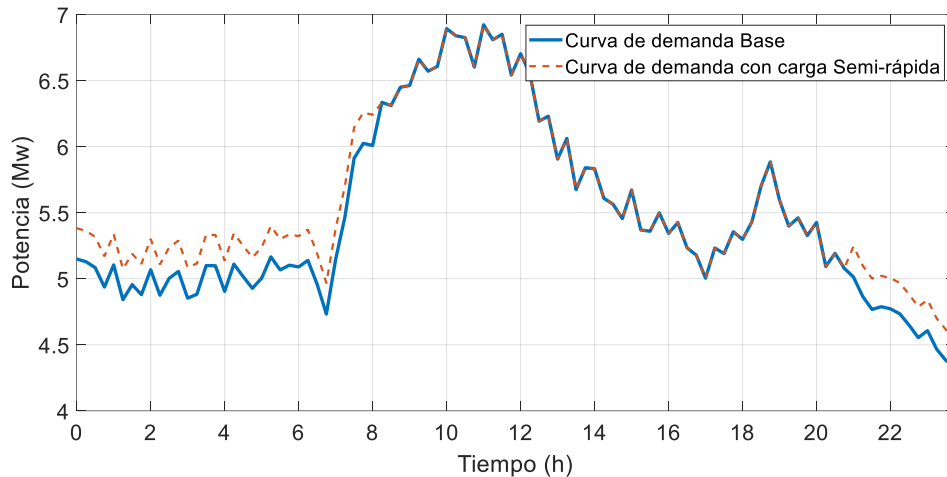


Figura 5-19. Curva de carga sector industrial con esquema tarifario con el ingreso del VE

5.8.3. Esquema tarifario y Carga inteligente

Una alternativa para contribuir en mayor grado a la reducción de la creación de nuevos picos presentados con la utilización de forma masiva de las estaciones de carga y un esquema de tarifación es la implementación de equipos con comunicación entre el usuario por medio de la estación de carga y la empresa distribuidora energía. Para realizar la carga, el usuario llega de su trabajo y conecta el VE a la estación de carga, la cual envía la información de su requerimiento de carga y el tiempo para realizar la carga, a la empresa distribuidora la cual recolecta los datos de todos usuarios que deseen realizar la carga con el fin de distribuir la carga a lo largo del horario de demanda baja.

Esta solución de momento es teórica puesto que aún se requiere realizar una planificación con respecto a que información es relevante y priorizar para enviar al centro de control, puesto que un exceso de envío de datos con lleva a tener a requerir mayor ancho de banda para envío de señal, haciendo que se vuelva más caro el sistema y más complejo al tener gran cantidad de información para procesar.

Zona Residencial

Aplicando este tipo de programa se puede mejorar mucho la distribución aplicando el concepto de carga inteligente a los datos de la Figura 5-17, la modificación de la curva de carga se puede apreciar en la Figura 5-20, Figura 5-21 y Figura 5-22 con los casos 1, 2 y 3 respectivamente.

Se puede apreciar en las gráficas que este tipo de estrategia es más efectiva para aplanar la curva de carga, permitiendo una mejor distribución de la carga, reduciendo pérdidas y con ello una mejor programación de las fuentes de generación.

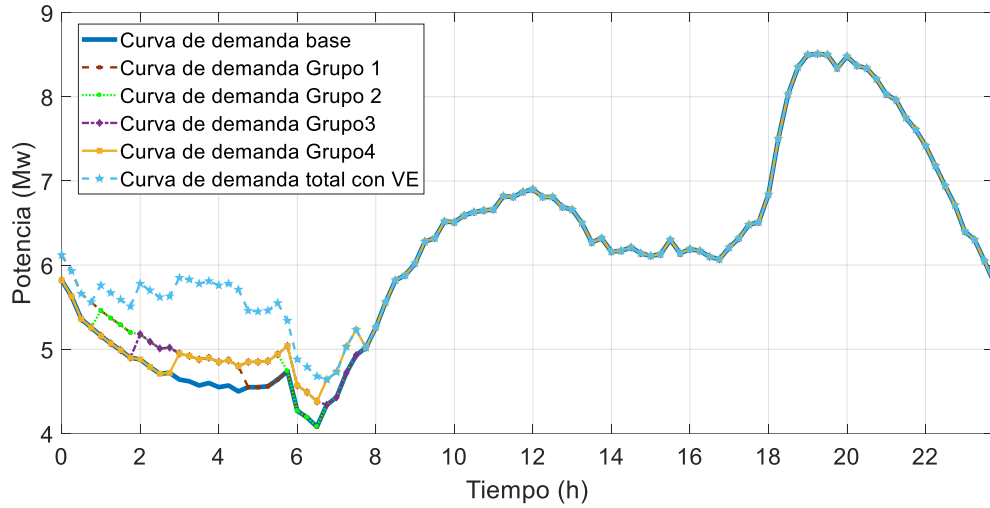


Figura 5-20. Curva de carga con ingreso del VE y carga inteligente escenario 1

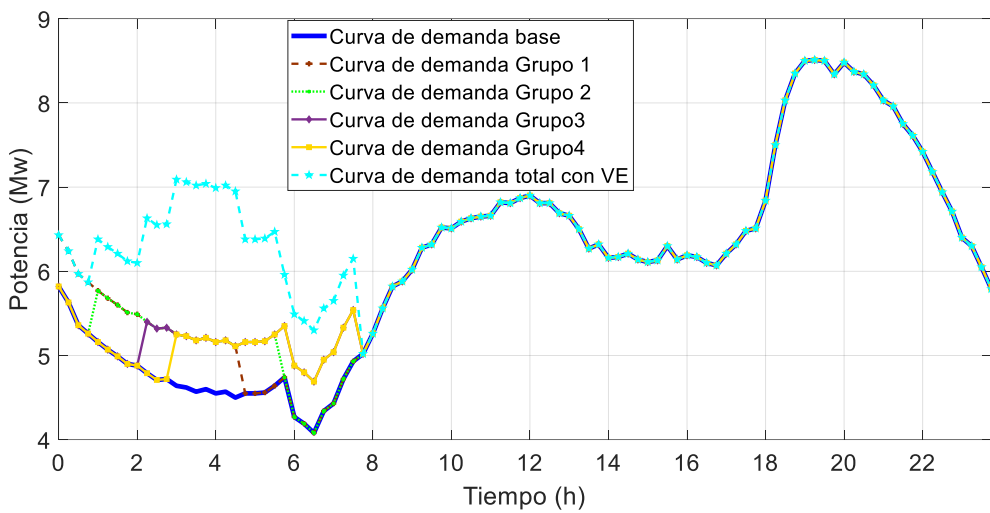


Figura 5-21. Curva de carga con ingreso de VE y carga inteligente escenario 2

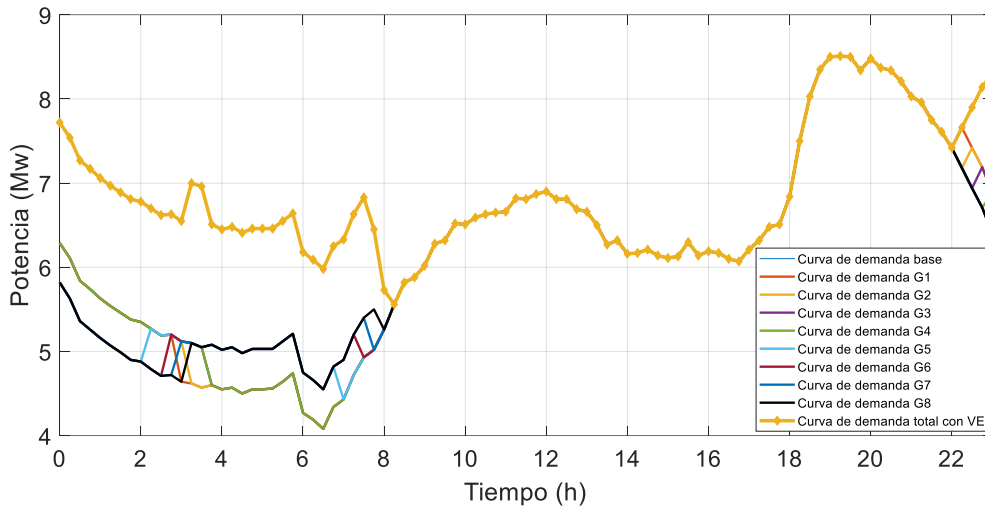


Figura 5-22. Curva de carga con ingreso de VE y carga inteligente escenario 3

Zona comercial

En la parte del centro de la ciudad podría no ser necesario un plan de carga inteligente, debido a que generalmente son estaciones de carga eventual y concebidas para bajar el rango de ansiedad [17], del propietario del VE que está expuesto a quedarse sin energía para su desplazamiento.

Zona Industrial

En esta zona es suficiente la aplicación de un esquema tarifario puesto que, inducen a los usuarios mayoritariamente a los empleados de las fabricas a realizar la carga de los VE en sus casas, dejando este tipo de cargas para un uso privado y de uso esporádico.

5.9. Conclusiones

Con el ingreso del VE a la ciudad de Cuenca hemos podido observar que el sector donde mayor impacto tendrá es en el residencial con la incursión de estaciones nivel 2, donde las medidas tomadas por parte del sector gubernamental con el uso de un esquema tarifario ayudan a inducir al usuario realizar el proceso de carga en horarios con demanda baja a precios más económicos, sin embargo, se puede inferir que con la masificación del uso de los VE, se requiere una mayor planificación con el uso de carga inteligente, que requiere equipos con mayor capacidad de interacción usuario-estación-sistema de distribución, implicando mayor costo, y que permitan organizar y planificar el proceso de carga de los distintos usuario según los criterios de

eficiencia energética que sea necesario implantar desde las distribuidoras de energía eléctrica, lo que lleva consigo una mejor planificación en el arranque y para de generadores que con lleva ahorros económicos al sector.

En relación con el sector industrial, al tener su consumo energético con una mayor planificación en relación con los otros sectores, a lo largo del día es donde menos problemas se tendría y requiere menos planificación para su puesta en práctica. Por otra parte, en el sector comercial con la existencia de instituciones públicas, bancarias con una buena aglomeración de empleados con la finalidad de incentivar el uso del VE se tendría que ajustar el esquema tarifario a horas de menos consumo propios del sector comercial.

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

6. Conclusiones Generales

Mediante la revisión bibliografía se ha podido observar que los estándares han permitido la regulación de los conectores de VE, si bien no existe solo uno si se ha logrado que todos cumplan normativas que permiten la utilización segura de los equipos.

Las estaciones de carga son elementos esenciales para el funcionamiento del VE, teniendo así que las estaciones de carga semi-rápida mayoritariamente son usadas en domicilios y en lugares comerciales en donde los usuarios puedan permanecer un tiempo considerable para realizar la carga. Mientras que los sistemas de recarga rápida cumplen el objetivo de reducir el rango de ansiedad de los conductores permitiéndole realizar recorridos con mayor duración por la ciudad, debido a que tiene mayor seguridad al saber que puede realizar una recarga. Un punto para destacar es que este tipo de estación no requieren ser numerosas pues su uso resulta ser poco frecuente, siendo más importa la colocación estrategia dentro de la ciudad.

Tanto las estaciones de carga semi-rápida como la estación de carga rápida presenta modificación en el sistema de distribución, por un lado, en lo referente a la capacidad del sistema (generación, capacidad de líneas, capacidad de transformadores), el otro aspecto es el referente a la calidad de la energía tomando en cuenta que deben convertir AC en DC para alimenta al banco de baterías del VE. En este aspecto las estaciones de carga rápida presentan una ventaja al ser equipos en los cuales la transformación AC/DC no se realiza en el VE, y por tanto no se está limitado por el tamaño se utiliza filtros y rectificadores con mayor grado eficiencia que los transformadores AC/DC que se encuentran embebidos en el VE y que son utilizados por las estaciones de carga lenta y semi-rápida.

Las estaciones de carga de nivel 2 proveen de energía en AC al VE, siendo este el encargado de transformación en DC. Una forma sencilla de representar este tipo de carga con el objetivo de analizar su impacto es red, es mediante suma de fuentes de corriente que representa el nivel de armónico que inyecta a la red y una resistencia que representa el consumo producido con su uso.

Para la determinar el grado de afectación de la red con el uso masivo del VE, se propone caso en los cuales se pretende analizar las condiciones menos favorables. Se ha podido observar que el nivel de calidad de la energía con utilización de la estación de carga de nivel 2, con una distorsión de corriente de 6.51% con una penetración

estimada de hasta 178 vehículos en un alimentador de la zona céntrica de la ciudad, no presenta inconvenientes en la calidad del servicio eléctrico en la zona de estudio, obteniendo valores de THD_i 6.93% y 1.36% el THD_v , los cuales se encuentran por debajo de los límites permitidos por la norma IEEE 519-2014.

Se ha visto la importancia de realizar un estudio a nivel de capacidad del sistema en el capítulo 3, con la utilización de estaciones de carga de nivel 2 de forma masiva se pudo observar que en pocos lugares se requería de repotenciación a nivel de transformador y aumento de la capacidad de las líneas, con lo que se tiene que el ingreso de las estaciones de carga no presenta problemas a la red de distribución.

En lo referente a las estaciones de carga rápida, la existencia de los estándares, siendo CHAdeMO el más difundido, permite a los distintos fabricantes ofrecer equipos que permiten la utilización de estas estaciones de forma segura con la menor afectación posible al sistema de distribución.

El conocer las partes por las que se encuentra constituida una estación de carga rápida, permite desarrollar un diseño por etapas, una AC/DC y otra DC/DC lo permite que las técnicas de control sean más sencillas de aplicar en cada etapa de forma independiente.

Es de gran importancia el determinar la función de transferencia ya que esta permite realizar el control tanto para los lazos de corriente y voltaje. La utilización de la técnica de pequeñas señales facilita el realizar el control pudiendo tener los lazos de control desacoplados. La técnica de control en cascada permite tener una respuesta rápida, actuando con mayor velocidad el lazo interno en este caso los de corriente y con menor velocidad el lazo de voltaje.

Las estaciones de carga rápida emplean tecnologías ya conocidas, lo cual presenta una ventaja puesto que cada vez se mejora los elementos que intervienen, teniendo así una reducción del nivel armónico producido en la conversión AC/DC. En este caso se obtuvo un THD_i de 2.87 % y un THD_v de 0.49%, valores que se encuentran por debajo de la norma.

El estudio de impacto de la estación de carga rápida propuesta revela que no presenta ningún tipo de problema para el sistema de distribución, obteniendo niveles bajos de armónicos, teniendo un THD_i y THD_v 0.02% en el resto de carga del sistema. Al presentar menor número de estaciones que la de nivel 2 en lo referente a la capacidad tampoco presenta problemas.

La estación de carga rápida presenta frente a la estación semi-rápida presenta la ventaja de producir menores armónicos a la red, debido al que no ser embebido en el

VE no hay restricciones de espacio por lo que se utilizan filtros y convertidores controlados, a su vez esto con lleva a elevar su costo, siendo las estaciones semi-rápidas las más utilizadas.

El ingreso del VE al medio ecuatoriano, específicamente a la ciudad de Cuenca, lleva consigo un cambio en lo referente a los horarios de uso de la energía eléctrica. Siendo el sector en el que más se debe realizar una gestión en el residencial en el cual mayoritariamente se utilice la estación de carga. Una medida tomada por parte del sector gubernamental es la implantación del esquema tarifario, cuyo objetivo es inducir al usuario el realizar el proceso de carga en horas de baja demanda a precios más económicos. Un objetivo claro es la utilización masiva de VE con lo que al analizar casos con un mayor número de vehículos se observa que la necesidad de otras estrategias, una de ellas la recarga inteligente en la que se debe involucrar al distribuidor y con el uso de equipos de comunicación y herramientas computacionales recabar información y distribuir el proceso de carga durante el periodo más económico.

Trabajos futuros

Se ha podido concluir que las estaciones de carga para vehículo eléctrico más utilizadas serán las de nivel 2, algunas de sus ventajas frente a las estaciones rápidas son sus costos más accesibles, costos de utilización más económico con el uso de esquema tarifario, comodidad el usuario puede utilizar en su hogar. Siendo este tipo de estación la más utilizada se ve la necesidad de trabajar en un sistema en el que permita incorporar equipos de comunicación entre el consumidor y la empresa de distribución. Esto permite al distribuidor tener la información exacta de cuantas estaciones de carga requieren realizar el proceso de carga, con el ello el distribuidor sabe cuanta energía necesita y como distribuirla durante el periodo de baja demanda, además se puede incorporar equipos de medición en los transformadores y líneas lo que permite al distribuidor saber hasta cuantas estaciones pueden funcionar de forma conjunta sin sobre carga las líneas y transformador siendo más eficiente y evitando el sobre dimensionamiento de equipos.

Esta página fue dejada intecionalmente en blanco

Trabajos derivados

Título: Impact of Electric Vehicle Charing on the Distribution System in Cuenca, Ecuador

Evento: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America 2017, ISGT-LA 2017, in Quito, Ecuador.

Estado: Presentado



El artículo se encuentra en el Anexo E.

Título: Estudio de eficiencia energética en la carga de vehículos eléctricos con estaciones domestica

Evento: Revista chilena de ingeniería "Ingeniare"

Estado: En revisión

18/9/2017

Correo - robertogp84@hotmail.com

Fwd: [ingeniare] Acuse de recibo de artículo I- 350

LUIS GERARDO GONZALEZ MORALES <luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec>

vie 21/07/2017 15:29

Para: Roberto Gómez <robertogp84@hotmail.com>; JUAN LEONARDO ESPINOZA ABAD <juan.espinosa@ucuenca.edu.ec>; paula.vide@ipleiria.pt <paula.vide@ipleiria.pt>; ngameiro@ipleiria.pt <ngameiro@ipleiria.pt>;

----- Mensaje reenviado -----

De: Sistema SciELO Chile de Publicación <suporte.aplicacao@scielo.org>

Fecha: 21 de julio de 2017, 15:16

Asunto: [ingeniare] Acuse de recibo de artículo I- 350

Para: Luis Gerardo González Morales <luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec>

Sr. Luis Gerardo González Morales
Presente

De nuestra consideración:

Junto con saludarle, informamos que con fecha 21 de junio de 2017 hemos recibido el artículo titulado:

"Estudio de eficiencia energética en la carga de vehículos eléctricos con estaciones domésticas",

de autores:

J. R. Gómez, J.L. Espinoza, Natália S. Gameiro, Paula Castro Vide, L.G. González

Iniciaremos el proceso de evaluación de dicho artículo para su eventual publicación en Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, ISSN 0718-3305 versión en línea.

Saluda atentamente a usted,

Dr. Kristopher Chandía Valenzuela
Editor
Ingeniare. Revista chilena de ingeniería
<http://cl.submission.scielo.org/index.php/ingeniare>

Luis G. González M. Ph.D

Investigador Prometeo

Facultad de Ingeniería
Universidad de Cuenca
Tel.: (593 7) 405 1000 ext.2334
Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Ciudadela Universitaria
www.ucuenca.edu.ec

<https://outlook.live.com/owa/?path=/mail/search>

1/2

El artículo se presenta en el Anexo F.

Título: Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la cura de carga de la Ciudad de Cuenca

Evento: II Congreso I+D+ingeniería, Universidad de Cuenca

Estado: Aceptado

18/9/2017

Correo - robertogp84@hotmail.com

Fwd: IDI 2017 notification for paper 2

LUIS GERARDO GONZALEZ MORALES <luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec>

vie 18/08/2017 20:20

Para Roberto Gómez <robertogp84@hotmail.com>:

----- Mensaje reenviado -----
De: "IDI 2017" <idi2017@easychair.org>
Fecha: 18 ago. 2017 3:09 PM
Asunto: IDI 2017 notification for paper 2
Para: "Luis Gonzalez" <luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec>
Cc:

Estimado/a Luis

El Comité de Programa IDI 2017, tiene el gusto de informarle que su resumen extendido "Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la curva de carga de la Ciudad de Cuenca" ha sido aceptado. Por favor, tomar en cuenta las recomendaciones de los revisores y enviar el artículo completo hasta el día 25 de agosto (actualizar el archivo en easychair). El artículo debe ser presentado en formato MASKANA (<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/information/authors>), le recordamos que al menos uno de los autores debe registrarse al congreso y presentar el artículo, para que éste sea publicado en la revista.

Agradecemos por el interés presentado en el Congreso IDI 2017 y por pensar en nosotros para divulgar sus resultados de investigación. Esperamos contar con su presencia en Cuenca.

A continuación los resultados de la evaluación:

----- REVIEW 1 -----

PAPER: 2
TITLE: Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la curva de carga de la Ciudad de Cuenca
AUTHORS: Julio Gomez, Luis Gonzalez, Natália Gameiro and Paula Vide

Evaluación general: 1 (weak accept)

----- Evaluación general -----

Calificación: 4/10

1. La idea del artículo es interesante, sin embargo no está claramente descrita en el artículo.
2. En el al Abstract se debe colocar unicamente lo relacionado a las contribuciones, resultados obtenidos y metodologías, mas no antecedentes, esto debe ser corregido. La introducción no describe claramente el estudio realizado, la literatura utilizada es muy pobre.
3. No existe una definición clara de la metodología, se dice que es experimental, pero no se especifican los procedimientos de las pruebas en el laboratorio, así como también el tipo de equipo de carga del VE si es de carga rápida, o lenta, concentrada o distribuida ni los parámetros técnicos (potencia, voltaje, etc).
5. Los resultados nu muestran coherencia, ya que realizan pruebas de carga y descarga de la batería de un VE y se ls coloca en una curva de demanda residencial, sin embargo esto no es así, ya que el proceso de carga de los VEs es estocástico/probabilístico, por lo tanto, el análisis debe ser hecho en base a un análisis que considere esta naturaleza. Los resultados no muestran coherencia con la propuesta del trabajo, se habla de escenarios deterministas, esto no es práctico. La ortografía del artículo en general debe ser mejorada.

----- REVIEW 2 -----

PAPER: 2
TITLE: Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la curva de carga de la Ciudad de Cuenca
AUTHORS: Julio Gomez, Luis Gonzalez, Natália Gameiro and Paula Vide

Evaluación general: 2 (accept)

<https://outlook.live.com/owa/?path=/mail/search>

1/2


El artículo se presenta en el Anexo E.

Título: Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la red de distribución de Cuenca


Evento: Casa Abierta Universidad de Cuenca

Impacto de la estación de carga para vehículo eléctrico en la red de distribución de Cuenca

Resultados previos de tesis de maestría J. R. Gomez



J. R. Gomez y L. G. González
Universidad de Cuenca
Cuenca-Ecuador

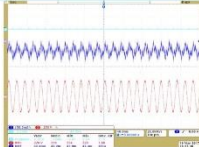
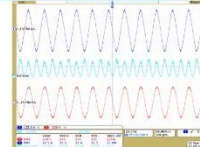
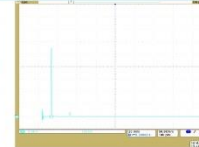


Paula Vide y Nátalia Gameiro
Instituto Politécnico Leiria
Leiria-Portugal

Resumen

En este trabajo se analiza el nivel de afectación producido por la utilización de las estaciones de carga para vehículos eléctricos, para ello se modela una estación de carga nivel 2 según la norma IEC 61851, la cual se integra en el sistema de distribución de la ciudad de Cuenca. Aplicando varios escenarios, con esto se obtuvo una distorsión armónica total de tensión menor al 1.36%, desde el punto de vista de la capacidad del sistema, se demuestra que algunos puntos de la red deben ser redimensionar. Así también se determina la eficiencia del convertor del vehículo eléctrico producida al utilizar una estación de carga de nivel 1 y nivel 2. Además de conocer el costo de la utilización de cada estación de carga.

Modelamiento de Estación de carga






Medición de Voltaje y corriente de la estación de carga de nivel 2 en condiciones de Stand-by


Medición de Voltaje y corriente de la estación de carga nivel 2 en estado de carga de baterías (VE)

Armónicos de corriente de la estación de carga al realizar la carga de baterías del (VE)

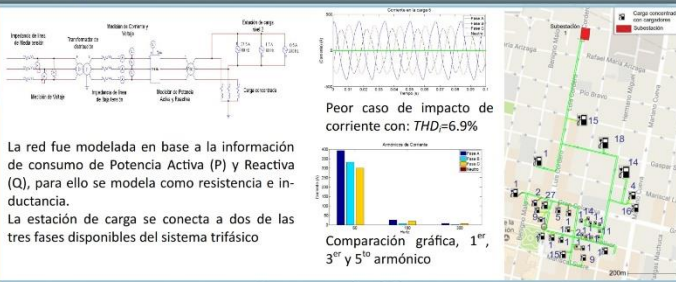
Para la simulación de la estación de carga, con las mediciones obtenidas, se modela como fuentes de corriente una que consume y dos fuentes de corriente de 3^{er} y 5^{to} armónico que inyectan corriente a la red.



Curvas de carga



Implementación en la red de Ciudad de Cuenca



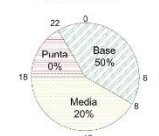
Peor caso de impacto de corriente con: THD=6.9%

Comparación gráfica, 1^{er}, 3^{er} y 5^{to} armónico


Esquema tarifario

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) en la regulación 038/15 establece el sistema tarifario para la utilización de recarga de vehículos eléctricos.



Días Laborables



Fin de semana y feriados

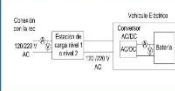


Costos de Uso

Con la utilización de la estación de carga nivel 1 en el horario más favorable tiene un costo de 1.73 USD y en el horario menos favorables 2.00 USD, mientras que la estación de nivel 2 presenta un costo de 1.08 USD y 2.16 USD para el uso en el horarios más favorable y menos favorable respectivamente.

Eficiencia estación nivel 1 y 2




Con las mediciones realizadas se obtiene que la estación de nivel 1 tiene una eficiencia del 70.58 % vs 87.40% de la estación nivel 2.

Conclusiones

- Se comprobó que con el uso de las estaciones de carga de mayor potencia (nivel 2) el convertor del vehículo eléctrico presenta una mejor eficiencia alcanzando un 87.40% vs un 70.58% de la estación de nivel 1.
- La utilización de las estaciones de carga no presenta un problema desde el punto de vista de la calidad de la energía, estas presentan un THD, < 1.36% que se encuentra dentro de los límites de la norma IEEE 519-2014 e IEC 61000-3-4. Desde el punto de vista de la capacidad del sistema, se observa la necesidad de realizar un estudio para determinar los casos en que se requiera un redimensionamiento de la capacidad instalada.
- El esquema tarifario esta diseñado para influir en el comportamiento del usuario, incentivándolo a la utilización de las estaciones de carga en el horario de demanda base contribuyendo a mejorar la curva de carga.

Elementos usados



Bibliografía

- [1] Endesa, “El coche eléctrico,” 2014. [Online]. Available: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/coche-electrico. [Accessed: 03-Aug-2017].
- [2] Endesa, “Beneficios del Vehículo Eléctrico,” 2013. [Online]. Available: <https://www.endsavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/beneficios/>. [Accessed: 03-Aug-2017].
- [3] ABB, “Actualidad,” *Actualidad*, vol. 27, no. 1, p. 26, 2009.
- [4] F. García, “¿Será Tesla el acicate para el impulso del coche eléctrico?,” 2016. [Online]. Available: <http://www.expansion.com/empresas/motor/2016/04/18/571511a9268e3e27288b457d.html>. [Accessed: 03-Aug-2017].
- [5] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (Institución), “Sectores Estratégicos,” 2013.
- [6] I. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Guía para la promoción del vehículo eléctrico en las ciudades, MOVELE*. 2011.
- [7] Circutor, “Modos de carga (IEC-61851-1),” 2015. [Online]. Available: <http://circutor.com/es/formacion/vehiculo-electrico/modos-de-carga-iec-61851-1>. [Accessed: 16-May-2017].
- [8] Electromovilidad, “Modos de recarga del vehículo eléctrico,” 2017. [Online]. Available: <http://electromovilidad.net/modos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>. [Accessed: 16-May-2017].
- [9] Faen, “Recarga del Vehículo Eléctrico.”
- [10] Arquitecsolar, “Todo sobre la recarga de coches eléctricos,” 2016. [Online]. Available: <http://blog.arquitecsolar.com/todo-sobre-la-recarga-de-coches-electricos-wallbox/>. [Accessed: 20-Jul-2017].
- [11] CHAdeMO Association, “Chademo Association – EV Fast Charging Organisation,” 2017. [Online]. Available: <https://www.chademo.com/>. [Accessed: 19-May-2017].
- [12] Chademo Association, “Technology Overview,” 2013. [Online]. Available:

- <https://www.chademo.com/technology/technology-overview/>. [Accessed: 24-May-2017].
- [13] Fernando M, "Tipos de conectores," 2014. [Online]. Available: <http://foro-ev.com/index.php?topic=1573.0>. [Accessed: 20-Jul-2017].
- [14] G. a. Putrus, P. Suwanapingkarl, D. Johnston, E. C. Bentley, and M. Narayana, "Impact of electric vehicles on power distribution networks," *2009 IEEE Veh. Power Propuls. Conf.*, pp. 827–831, 2009.
- [15] L. Alexandre, *Fast charging diversity impact on total harmonic distortion due to phase cancellation effect experimental results*. 2017.
- [16] T. Anegawa, "Characteristics of CHAdeMO Quick Charging System," *World Electr. Vehicle J. Vol.4 - ISSN 2032-6653-2010 WEVA*, vol. 4, no. October, pp. 818–822, 2007.
- [17] T. Anegawa, "Development of Quick Charging System for Electric Vehicle Development of Quick Charging System," *Proceeding World Energy Congr. 11th-16th Sept 2010*, 2010.
- [18] J. H. Lee, J. S. Moon, Y. S. Lee, Y. R. Kim, and C. Y. Won, "Fast charging technique for EV battery charger using three-phase AC-DC boost converter," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, pp. 4577–4582, 2011.
- [19] A. Purwadi, N. Shani, N. Heryana, T. Hardimasyar, M. Firmansyah, and S. R. Arrester, "Modelling and analysis of electric vehicle DC fast charging infrastructure based on PSIM," *Proc. - 1st Int. Conf. Artif. Intell. Model. Simulation, AIMS 2013*, pp. 359–364, 2014.
- [20] B. Jar, N. Watson, and A. Miller, "Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger," *EEA Conf. Exhib. 2016, 22-24 June, Wellingt.*, pp. 1–17, 2016.
- [21] Ministerio de Industria Energía y Turismo, "Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020)," p. 12, 2015.
- [22] Electricidecolorado, "HOW ELECTRIC VEHICLES CAN in funding for EV infrastructure over the next four years .," 2015.
- [23] Patrick Ponticel, "SAE standard on EV charging connector approved - SAE International," 2010. [Online]. Available: <http://articles.sae.org/7479/>. [Accessed: 02-May-2017].
- [24] T. massachusetts D. of Energy and Sources, "Installation Guide for Electric Vehicle Supply Equipment (Evse)," 2014.

- [25] B. Bart, "Level 1 and Level 2 Electric Vehicle Service Equipment (EVSE) Reference Design," no. February, pp. 1–36, 2016.
- [26] Electropaedia, "Lithium Battery Failures," 2005. [Online]. Available: http://www.mpoweruk.com/lithium_failures.htm#soc. [Accessed: 23-May-2017].
- [27] L. Alexandre, "Fast charging diversity impact on total harmonic distortion due to phase cancellation effect experimental results," 2017.
- [28] L. Kutt, E. Saarijarvi, M. Lehtonen, H. Molder, and J. Niitsoo, "Harmonic distortions of multiple power factor compensated EV chargers," *2014 16th Eur. Conf. Power Electron. Appl. EPE-ECCE Eur. 2014*, pp. 3–9, 2014.
- [29] F. J. Yébenes Cabrejas, "Gestión de la cargabilidad de transformadores de potencia," *Univ. Carlos III Madrid, Escuela Politec. Super.*, 2009.
- [30] P. K. Bl, S. Member, R. Mathew, and S. Member, "Asset management of transformer based on loss of life calculation," 2016.
- [31] C. Darwin and S. Juan, "Determinación De La Demanda En Transformadores, Para Los Servicios De La Comercialización En Base a Los Usos De Energía, En La Empresa Electrica Regional Centro Sur Para La Ciudad De Cuenca," Universidad de Cuenca, 2012.
- [32] Endesa, "Gestor de Carga. Jornada técnica de Movilidad Barcelona." [Online]. Available: <http://docplayer.es/8012909-Gestor-de-carga-jornada-tecnica-de-movilidad-barcelona-25-de-enero.html>. [Accessed: 15-May-2017].
- [33] I. Transportation and V. Technology, *IEEE 2030.1.1 Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles IEEE Vehicular Technology Society IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles*. 2015.
- [34] L. G. González, "Diseño del sistema de conversion de enegía capaz de gestionar la carga rápida de vehiculos," 2017.
- [35] Wima, "WIMA DC-Link Capacitors," 2011.
- [36] Semikron, "SKiiP 613 GD123-3DUW V3 SKiiP 613 GD123-3DUW V3," 2012.
- [37] NIPPON CHEMI-CON, "U37F Series U37F Series."
- [38] J. C. Olives Camps, "Control convertidor dc-ac de 100kW," Universidad Pólitecnica de Cataluña, 2014.
- [39] A. Villa Manrique, "Estudio del Filtro LCL aplicado a Inversores Fotovoltaicos,"

- Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [40] F. M. Gonzalez-Longatt, "Entendiendo la Transformacion de Park," p. 4, 2004.
- [41] B. I. O. Alberto and B. Batista, "Modulação Vetorial Aplicada a," Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- [42] Á. Gómez, "ESTUDIO COMPARATIVO DE UN CONVERTIDOR CC-CC EN PUENTE COMPLETO CON DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES BASADOS EN SILICIO Y EN NITRURO DE GALIO," Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2016.
- [43] R. Iglesias *et al.*, "Modelado y Simulación de una Batería de Ion-Litio Comercial Multicelda," *Semin. Anu. Automática, Electrónica Ind. e Instrumentación (SAAEI 2012)*, no. June 2013, pp. 464–469, 2013.
- [44] M. Smith and J. Castellano, "Costs Associated With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment," 2015.
- [45] BC Hydro, "Design Guidelines and Standards Bc Public Electric Vehicle," 2013.
- [46] El mercurio, "Parqueo gratuito en parque De la Madre | Diario El Mercurio - Cuenca Ecuador," 2013. [Online]. Available: <http://www.elmercurio.com.ec/379720-parqueo-gratuito-en-parque-de-la-madre/>. [Accessed: 31-Jul-2017].
- [47] Red Eléctrica de España, "Gestión de demanda," 2016. [Online]. Available: <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/gestion-de-demanda>. [Accessed: 14-Jun-2017].
- [48] Salt River Proyect, "Plan Time-of-Use de SRP," 2017. [Online]. Available: <https://www.misrp.com/prices/tou.aspx>. [Accessed: 31-Aug-2017].
- [49] E. y C. Ministerio Coordinador de Producción, "El Dr. Vinicio Alvarado, Ministro Coordinador de Producción, anunció las ventajas e incentivos para la introducción y uso de vehículos eléctricos en el país – Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad," 2016. [Online]. Available: <http://www.produccion.gob.ec/el-dr-vinicio-alvarado-ministro-coordinador-de-produccion-anuncio-las-ventajas-e-incentivos-para-la-introduccion-y-uso-de-vehiculos-electricos/>. [Accessed: 14-Apr-2017].
- [50] Lineida Castillo, "Tres taxis eléctricos ya circulan en Loja | El Comercio," 2017.
- [51] El Tiempo, "Cada año Cuenca tiene más autos," 2015. [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/364786/cada-ano-cuenca-tiene->

- mas-autos. [Accessed: 07-Jun-2017].
- [52] J. G. Vélez Sánchez, “Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador,” Universidad de Cuenca, 2017.
- [53] D. Sarango and P. Moncayo, “Determinación del indicador kilómetros-vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca,” Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [54] G. Astudillo, “La ciudad de Cuenca tiene un déficit de suelo industrial,” 2016. [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/cuenca-deficit-suelo-industria-ecoparque.html>. [Accessed: 09-Jun-2017].
- [55] Agencia de Regulación y Control de electricidad, “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas,” 2017.
- [56] Electromaps, “Relación de vehículos eléctricos y tipo de conector que usan,” 2017. [Online]. Available: <http://www.electromaps.com/coches-electricos/tipos-de-conectores>. [Accessed: 21-Jul-2017].

ANEXOS

Anexo A. Conectores usados según la marca del vehiculos [56]

Marca	Modelo	Tecnología	Carga Modo 2		CARGA Modo 3 SERIE/OPCIONAL/ACCESORIO			Carga acelerada Potencia > 3,7 KW	Carga rápida (SERIE/OPCIONAL)				Conector de bdo del vehículo
	A3 SPORTBACK e-tron	PHEV	✓	✓	ACCESORIO		3,7 Kw						✓
	Q7 e-tron	PHEV	✓	✓	ACCESORIO		7,2 KW						✓
	i3	EV	✓		ACCESORIO		✓	3,7 Kw (7,3 KW OPCIONAL)			OPCIONAL		✓
	i3 REX	REx	✓		ACCESORIO		✓	3,7 Kw (7,3 kW OPCIONAL)			OPCIONAL		✓
	i8	PHEV	✓		ACCESORIO		✓						✓
	330e	PHEV	✓		ACCESORIO		✓						
	740e	PHEV	✓		ACCESORIO		✓						
	225xe	PHEV	✓		ACCESORIO		✓						
	X5 xDrive40e	PHEV	✓		ACCESORIO		✓						✓
	E6	EV											✓
	Volt	EV											✓
	C-Zero	EV	✓							SERIE			✓
	Berlingo	EV	✓							SERIE			✓
	Focus electric	EV	✓		ACCESORIO		✓	6,6 kW					✓
	Soul EV	EV	✓		ACCESORIO		✓	6,6 Kw		OPCIONAL			✓
	S500e	PHEV	✓		OPCIONAL		✓						✓
	C350e	PHEV	✓		OPCIONAL		✓						✓
	GLE 500 E4MATIC	PHEV	✓		OPCIONAL		✓						✓
	Clase B ED	EV	✓		SERIE		✓	11 kW					✓
	Outlander PHEV 2016	PHEV	✓							SERIE			✓
	i-MEV	EV	✓							SERIE			✓
	Leaf	EV	✓	✓	OPCIONAL	✓	✓	6,6 Kw (3)		SERIE			✓
	e-NV200	EV	✓	✓	OPCIONAL	✓	✓	6,6 Kw		SERIE			✓

ANEXOS B. Datos de los consumidores del alimentador 0102

Carga No.	Capacidad del transformador (KVA)	Tipo de cliente	Número de clientes	Nivel de tensión (V)	Potencia Consumida (KVA)
1	400	Residencial Comercial	440	120	166.225
2	500	Residencial Comercial	456	120	221.779
3	250	Residencial Comercial	200	120	132.29
4	125	Residencial	1	120	48.24
5	150	Residencial Comercial	12	120	23.44
6	37.5	Residencial	1	120	5.72
7	45	Residencial Comercial	55	120	11.23
8	75	Comercial	1	120	19.01
9	160	Residencial Comercial	209	120	39.35
10	60	Residencial Comercial	19	120	6.7
11	125	Residencial Comercial	94	120	72.6
12	300	Residencial Comercial	183	120	177.5
13	200	Residencial Comercial	34	120	41.71
14	500	Residencial Comercial	289	120	307.06
15	75	Residencial	1	120	11.16
16	200	Residencial Comercial	16	120	40.49
17	25	Residencial Comercial	3	120	10.95
18	160	Residencial	1	120	10.85
19	50	Residencial	1	120	6.24
20	200	Residencial	1	120	66.7
21	112.5	Residencial Comercial	5	120	4.23
22	60	Residencial	1	120	52.68
23	30	Residencial	2	120	6.4
24	75	Residencial	1	120	0.3
25	75	Residencial	1	120	23.95
26	75	Residencial Comercial	3	120	1.56

27	30	Residencial Comercial	4	120	0.24
28	45	Comercial	1	120	8.83
29	37.5	Residencial	5	120	0.03
30	100	Comercial	2	120	7.34
31	192.5	Comercial	1	120	77.23
32	200	Residencial Comercial	12	120	54.9
33	200	Comercial	1	120	65.54
34	50	Comercial	1	120	4.85
35	30	Comercial	2	120	3.13
36	75	Residencial Comercial	7	120	0.086
37	75	Residencial Comercial	31	120	8.814

ANEXO C. Cargadores conectados

No. Carga	Fase A	Fase B	Fase C	Estaciones conectadas
1	15	8	7	15
2	11	11	14	18
3	8	7	7	11
4	1	1	0	1
5	1	1	0	1
6	1	1	0	1
7	11	9	8	14
8	1	1	0	1
9	9	14	9	16
10	4	4	0	4
11	10	11	7	14
12	10	8	12	15
13	7	7	4	9
14	16	22	16	27
15	1	0	1	1
16	6	6	6	9
17	0	1	1	1
18	1	1	0	1
19	1	1	0	1
20	1	1	0	1
21	0	2	2	2
22	1	1	0	1
23	1	1	0	1
24	1	1	0	1
25	1	0	1	1
26	1	1	0	1
27	2	2	0	2
28	0	0	0	0
29	1	0	1	1
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	1	1	0	1
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	1	1	1
37	5	5	0	5

ANEXO D. Resultados obtenidos en el alimentador 0102 con la estación de nivel 2

Carga No.	Corriente	A	THDi%	Voltaje	V	THDv%	S kVA
C1	I1a	761.62	3.26	V1a	117.48	0.30	242.76
	I1b	614.41	2.25	V1b	118.85	0.93	
	I1c	611.42	2.20	V1c	118.75	1.06	
C2	I2a	839.41	2.18	V2a	118.52	0.22	319.62
	I2b	849.04	0.78	V2b	118.30	0.37	
	I2c	907.21	2.70	V2c	118.01	0.52	
C3	I3a	537.21	2.52	V3a	119.23	0.21	195.50
	I3b	515.64	0.58	V3b	119.19	0.52	
	I3c	518.90	2.46	V3c	119.28	0.67	
C4	I4a	159.43	1.06	V4a	121.69	0.18	57.19
	I4b	156.45	1.15	V4b	121.51	0.53	
	I4c	135.81	0.70	V4c	121.79	0.67	
C5	I5a	90.55	1.90	V5a	122.14	0.18	30.84
	I5b	87.80	1.98	V5b	121.95	0.53	
	I5c	66.24	0.71	V5c	122.24	0.68	
C6	I6a	40.37	4.31	V6a	119.09	0.18	11.16
	I6b	38.88	4.48	V6b	119.01	0.53	
	I6c	15.79	0.71	V6c	119.24	0.68	
C7	I7a	256.23	6.80	V7a	121.04	0.23	84.52
	I7b	234.16	2.19	V7b	121.05	0.54	
	I7c	189.01	6.58	V7c	121.43	0.68	
C8	I8a	78.22	2.20	V8a	122.21	0.18	26.09
	I8b	75.61	2.29	V8b	122.03	0.54	
	I8c	53.75	0.71	V8c	122.31	0.68	
C9	I9a	316.52	4.81	V9a	120.05	0.90	132.00
	I9b	421.80	0.62	V9b	121.15	0.61	
	I9c	318.71	4.97	V9c	122.85	1.12	
C10	I10a	121.44	5.73	V10a	120.93	0.46	29.51
	I10b	119.35	5.83	V10b	122.87	0.71	
	I10c	18.93	0.78	V10c	122.10	0.75	
C11	I11a	426.35	3.84	V11a	119.65	0.97	155.02
	I11b	447.04	1.18	V11b	121.45	0.70	
	I11c	358.59	3.42	V11c	121.33	1.02	

C12	I12a	705.75	2.13	V12a	119.93	0.87	266.57
	I12b	664.27	0.80	V12b	118.78	0.57	
	I12c	750.63	2.58	V12c	118.69	1.22	
C13	I13a	275.75	4.29	V13a	120.40	0.71	94.85
	I13b	273.75	1.85	V13b	121.88	0.62	
	I13c	205.94	3.46	V13c	121.35	0.80	
C14	I14a	1163.79	1.83	V14a	115.53	1.25	453.36
	I14b	1300.49	0.59	V14b	116.88	0.56	
	I14c	1187.42	2.03	V14c	118.98	1.36	
C15	I15a	54.13	3.27	V15a	121.47	0.19	17.52
	I15b	31.03	0.52	V15b	120.99	0.50	
	I15c	55.58	3.18	V15c	120.86	0.67	
C16	I16a	245.19	4.16	V16a	120.63	0.62	93.07
	I16b	245.30	0.52	V16b	120.50	0.51	
	I16c	245.85	4.29	V16c	120.67	0.88	
C17	I17a	30.54	0.19	V17a	121.09	0.19	17.27
	I17b	55.33	3.14	V17b	120.57	0.51	
	I17c	53.31	3.30	V17c	121.24	0.66	
C18	I18a	54.93	3.14	V18a	120.74	0.23	16.99
	I18b	52.93	3.26	V18b	121.02	0.51	
	I18c	30.35	0.69	V18c	120.92	0.66	
C19	I19a	42.68	4.07	V19a	121.61	0.22	12.26
	I19b	41.14	4.22	V19b	121.92	0.55	
	I19c	17.58	0.73	V19c	121.81	0.70	
C20	I20a	207.69	0.78	V20a	120.84	0.22	75.85
	I20b	205.62	0.91	V20b	121.26	0.56	
	I20c	184.80	0.73	V20c	121.18	0.70	
C21	I21a	11.86	0.18	V21a	121.80	0.18	15.93
	I21b	63.01	5.73	V21b	121.02	0.57	
	I21c	61.63	5.85	V21c	122.21	0.73	
C22	I22a	170.53	0.97	V22a	120.70	0.22	61.49
	I22b	168.26	1.08	V22b	121.09	0.57	
	I22c	147.35	0.75	V22c	121.01	0.72	
C23	I23a	42.30	4.10	V23a	119.28	0.23	11.97
	I23b	40.78	4.26	V23b	119.63	0.57	
	I23c	17.69	0.74	V23c	119.50	0.72	
C24	I24a	26.78	6.68	V24a	121.68	0.18	5.92
	I24b	26.65	6.72	V24b	121.94	0.55	
	I24c	0.86	0.73	V24c	121.80	0.70	
C25	I25a	88.86	1.95	V25a	121.89	0.22	31.39
	I25b	67.23	0.58	V25b	121.44	0.55	

	I25c	91.71	2.06	V25c	121.27	0.72	
C26	I26a	30.09	5.94	V26a	121.59	0.19	6.38
	I26b	25.97	6.89	V26b	121.87	0.55	
	I26c	4.41	0.74	V26c	121.71	0.71	
C27	I27a	52.39	6.83	V27a	120.95	0.24	11.37
	I27b	52.29	6.84	V27b	121.75	0.53	
	I27c	0.68	0.70	V27c	121.41	0.67	
C28	I28a	24.66	0.19	V28a	121.29	0.19	9.42
	I28b	24.71	0.53	V28b	121.04	0.50	
	I28c	24.75	0.69	V28c	121.19	0.66	
C29	I29a	25.93	6.84	V29a	121.49	0.19	5.75
	I29b	0.08	0.49	V29b	120.97	0.49	
	I29c	25.93	6.84	V29c	120.84	0.66	
C30	I30a	20.46	0.19	V30a	121.03	0.19	7.80
	I30b	20.51	0.52	V30b	120.77	0.49	
	I30c	20.53	0.68	V30c	120.92	0.65	
C31	I31a	213.50	0.19	V31a	120.09	0.19	81.15
	I31b	214.21	0.53	V31b	119.97	0.50	
	I31c	214.46	0.69	V31c	120.12	0.66	
C32	I32a	176.22	0.94	V32a	120.37	0.23	63.57
	I32b	173.93	1.01	V32b	120.73	0.51	
	I32c	153.13	0.69	V32c	120.66	0.66	
C33	I33a	181.78	0.19	V33a	120.50	0.19	69.29
	I33b	182.36	0.53	V33b	120.36	0.49	
	I33c	182.59	0.69	V33c	120.52	0.66	
C34	I34a	13.55	0.19	V34a	121.27	0.19	5.18
	I34b	13.58	0.52	V34b	121.00	0.49	
	I34c	13.60	0.68	V34c	121.16	0.65	
C35	I35a	8.75	0.19	V35a	121.26	0.19	3.34
	I35b	8.77	0.52	V35b	120.99	0.49	
	I35c	8.78	0.68	V35c	121.14	0.65	
C36	I36a	0.23	0.19	V36a	121.34	0.19	5.77
	I36b	26.03	6.92	V36b	120.80	0.49	
	I36c	26.01	6.93	V36c	121.48	0.66	
C37	I37a	151.74	5.84	V37a	119.77	0.47	36.98
	I37b	149.16	5.95	V37b	122.16	0.66	
	I37c	24.68	0.68	V37c	121.12	0.65	

ANEXO E. Impact of Electric Vehicle Charging on the Distribution System in Cuenca, Ecuador

J. R. Gómez, *Student Member, IEEE* and L.G. González

University of Cuenca
Cuenca, Ecuador

roberto.gomezp@ucuenca; luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec

Paula Castro Vide and Natália S. Gameiro

Polytechnic Institute of Leiria
Leiria, Portugal

paula.vide@ipleiria.pt; nsgameiro@ipleiria.pt

G. Guerron

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
Ecuador

gonzalo.guerron@iner.gob.ec

Abstract— This paper presents an impact study of the incorporation of station charging for electrical vehicle level 2 on the network. A charging station with these characteristics was modeled and integrated into a sector of the electric power distribution system corresponding to the historic center of Cuenca. For simulation purposes, Psim® simulation software was used. Several charging scenarios are presented and power quality related to harmonic distortion is assessed. The analysis shows that, from the point of view of power quality, in the worst case, the voltage harmonic distortion is lower than 1.36%. From the point of view of energy capacity, it is demonstrated that in some cases the re-dimensioning of the distribution system is necessary because the capacity of the system could not withstand these new burdens.

Index Terms—Electric vehicles charging stations, power distribution, power quality.

I. INTRODUCTION

Nowadays humanity is increasingly dependent on electrical equipment to perform its different activities, which require more electric power. Maintaining this tendency with an increasingly indiscriminate use of the resources available, in addition to the growth of world population, it may not be sustainable over time, if actions are not taken, as conventional energy resources are finite. In the case of petroleum-based raw materials, they involve a high degree of environmental damage in the exploited areas, as well as the areas where their derivatives are used.

The environmental concerns and the correct use of raw materials have promoted research studies to implement new ways to obtain energy and develop environmentally friendly techniques. One of the areas to be studied is the means of transportation that currently relies on the consumption of oil derivatives. The need to find alternatives to reduce the use of fuels places this topic as an important source of discussion in the international scientific community.

To mitigate these consequences, some alternatives have been proposed to reduce the use of private vehicles that currently use a high percentage of fuels derived from petroleum for their operation. An alternative would be the mass use of public transport that allows transporting more people, which would imply a decrease in the use of polluting fuels. To promote this, some Latin American cities like Quito, Bogotá and Mexico City have been applying restrictions to the circulation of private vehicles.

Although these measures help to decrease the use of petroleum-based means of transportation, in the case of Ecuador it is observed that in the last 5 years the number of cars has increased by 57% [1]. This leads us to search a more effective alternative: the use of the electric vehicle (EV).

Alternatives to encourage the use of electric vehicles have been used in cities such as San Francisco, USA, where the concept of time of use was established [2,3]. A scheme of electric energy tariffs differentiated by schedules, for the reduction of peak consumption during high demand hours (example, Pacific Gas and Electric Company [4]). The EV presents several advantages against a vehicle driven by an internal combustion engine (ICE), the main advantage is that it is more efficient [5], reducing the impact on the environment and the economic costs. In terms of energy efficiency, comparing the EV with its version of ICE, converting the consumption of both to electric power it can be seen that the EV consumes between 2.91 and 3.15 times less than one of ICE [6].

One of the initiatives taken for a decade in the Republic of Ecuador is the development of new infrastructure that contributes to the change from electrical energy generation based on oil derivatives to generation based on the renewable energy source. Investments have been made for the construction of electricity generation projects based on the use of renewable sources such as hydroelectric, wind, solar, biomass, etc. [7]. It is estimated that after the conclusion of

these projects, 81.14% of hydraulic generation will be available [8].

It is also important to promote the efficient use of the energy with programs like the promotion of more efficient equipment, such as lighting systems with led technology, induction cookers, and electric vehicles, among others.

The massive use of EV brings advantages but could also bring disadvantages. So, in this paper a study on the effect of this new load (EV charging level 1 and 2 according to the standard IEC 61851-1 [9]) on the distribution system of Cuenca, Ecuador, is carried out. The area for the study was the substation No.1.

It is presented a study to analyses the harmonic distortion of voltage and current of a charging station and its incidence on the distribution network. This is carried out using simulation tools to determine its incidence to the installed electric power distribution systems in the area studied.

II. BACKGROUND OF ELECTRIC VEHICLES

Given the use of renewable energy source for the electrical generation in Ecuador and having reached the point of decline in oil production, and to motivate the use of alternative sources, the Ecuadorian State has introduced a series of regulations to promote the use of new energy sources for urban mobility purposes, among which are:

A. Incentives

There are several factors that influence the change of vehicles from ICE to fully electric vehicles in Ecuador, among them the promotion of information to the community, highlighting the different benefits that this change entails. The policies chosen by the government contributes on making the use of electric vehicles attractive. From the point of view of acquisition, there is a series of tax benefits to incentivize the purchase the EV, among which are [10]: 0% Import duty on models whose value is more than 40,000 USD; 0% taxes for vehicles with a value less than 35,000 USD; the implementation of an importers registry to guarantee the existence of spare parts, maintenance and technical service; no import limit for this type of technology. On the other hand, local governments are working with the central government of Ecuador develop other benefits. An example of this is the municipality of Cuenca which, among others, proposes the reduction of taxes, reduction of vehicle maintenance fees and preferential parking. Other incentives have been presented by other municipalities of Ecuador [11, 12].

B. Tariffs

The Electricity Regulation and Control Agency (ARCONEL) has established the regulation 038/15 related to the tariff scheme for those consumers that wish to install charging stations with capacity of up to 10 kW. For this the consumer must have a meter with hourly demand recorder that allows the identification of the energy consumption, as well as the period in which the charge takes place. The most important aspects of these regulations are [13]:

- The service implementation charge, expressed in USD / consumer. This value is independent of energy consumption.
- A charge for energy, expressed in USD / kWh, depends on the energy consumed according to the rate schedule. Figure 1 shows the percent discount applied according to the schedule.

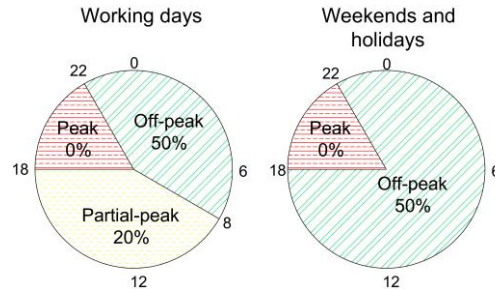


Figure 1. Tariff scheme

C. Regulations relate to power quality

The National Electricity Council (CONELEC) renamed as ARCONEL, in the regulation 004/01 [14] gives the regulations and limits that must be met by the electricity distributor with the consumer. In this paper, the case studies presented will take as references the regulations referred to previously concerning voltage levels and their harmonics. The variation of voltage allowed in medium voltage and low urban voltage is $\pm 8\%$. Within the power quality regulation, it is necessary to carry out a monthly monitoring of the voltage harmonics in a sample of 0.15% of the distribution transformers, measured in the low voltage terminals, in addition to specifying the permitted limits. In relation to current harmonic limits, given that the national regulations do not contemplate them, for this research work the reference in IEEE 519-2014 has been considered, where maximum harmonics in current are stipulated considering the relation between the maximum short-circuit current and maximum load current, however, there is also IEC 61000-3-4 where the limits are slightly higher [15].

III. CASE STUDY

The analysis of the impact on the distribution system of electric power using charging station level 2 is studied using as reference the type of load produced by a commercial charger with a maximum power of 7.2 kW, obtained during the loading process of an electric vehicle in the facilities of the Electrical Microgrid Laboratory of the University of Cuenca. The load has been replicated using computational tools in a distribution system of Cuenca, Ecuador. The case study characteristics are detailed below:

A. Electric Vehicle (EV)

The Electrical Microgrid Laboratory of University of Cuenca has a Kia Soul EV, which was used to perform the load modeling. In the case study, a complete charge of the EV battery is made to understand the behavior of the currents during this process. Some of the most important characteristics of the vehicle are shown in Table 1.

B. Charging Station

An EVSE-RS model AeroViroment charger is available in the Electrical Microgrid Laboratory. It uses a SAE J1772 connector, with an AC voltage of 208/240 V, supporting a maximum output current of 30 @ 60 Hz and according to its characteristics and the standard IEC 61851-1, it is considered a level 2 charger. Figure 2 shows the instrumentation used for the measurements made.

TABLE I. CHARACTERISTICS ELECTRIC VEHICLE [16]

Max power out (kW)	81,4	Acceleration 0 to 100km/h (sec)	12
Max. Par (Nm)	285	Max velocity (km/h)	145
Type of Battery	lithium-ion polymer	Distance per charge (Km)	200
Capacity (kWh)	27	Emissions CO ²	0
Power (kW)	90	Charging connector	J1772/CHAdEMO



Figure 2. Instrumentation used

C. Area of study

To analyze the impact of EV charging on a distribution network, an area in the center of Cuenca was selected. This area is supplied by substation N°1 with an exit level of 6.3kV. Figure 3 shows the location of the feeder 0102. The study presented in this paper is performed on this feeder.

The transformers in the study area are three-phase with voltage levels of 6.3kV / 220V, where the capacity varies according to the number of clients connected to each point of the network. All the connections are made with an underground wiring system. This area is characterized of customers with residential and commercial consumption

IV. SIMULATIONS AND RESULTS

For the characterization of the EV load station, the voltage and current behavior is measured during the load interval from 15 to 100%. An oscilloscope model DPO 4104 was used, with current probe TCP303 and voltage probe Tektronix P5200. The state of the charge vs time has a linear behavior as can be observed in figure 4. Figure 5 (a) shows the current and voltage waveforms of the charger in stand-by mode. The current waveform has a high distortion of 69.43%, since it is affected by the 5th harmonic with a value of 56.62%. Under this operating condition, the energy consumption is 1.76W. The energy consumption is very low and it is only related to the electronics associated with the charger, in this condition would not satisfy the standard harmonics levels requirement 61000-3-4. Figure 5 (b) shows the waveforms when the EV is charged at rated power. It can be seen that the waveform of the current has a distortion, while the voltage has the sinusoidal

shape. In figure 7 the harmonic content (FFT) of the electric current is shown. The 3rd and the 5th harmonics have a value of 1.7 A, that is equivalent to 6.29 %, and 0.5 A, that is equivalent to 1.85 %, respectively, representing an estimated harmonic distortion of 6.56%. These measured harmonic magnitudes are used to simulate the harmonic distortion that is generated when the electric vehicle is charge.

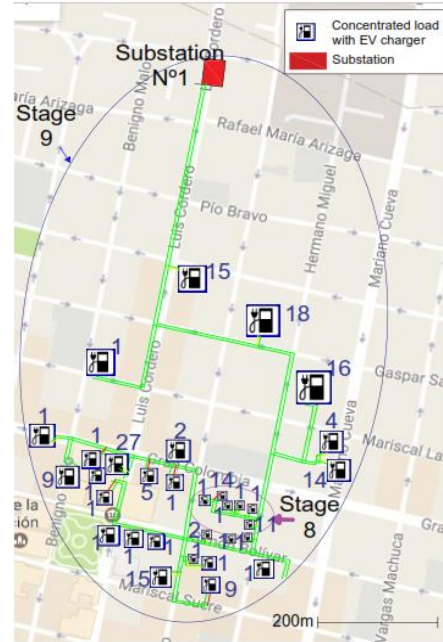


Figure 3. Feeder and network analysis

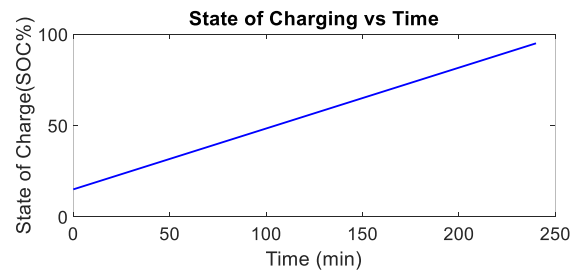


Figure 4. SOC vs time

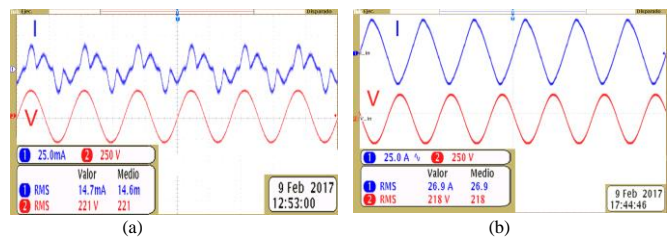


Figure 5. Voltage and current waveforms measured: (a) Stand-By mode, (b) Rated power

The connection of the charger to each charging point as well as the measuring points can be seen in figure 6.

In order to simulate the insertion of charging stations into the distribution network it was used the Psim software, with load data provided by the Regional Electricity Company Centrosur (EERCS). To carry out this study, first it was analyzed a group of loads that are nearby in order to evaluate the impact load points, as shown in Figure 7, used for

scenarios 1 to 8. For scenario 9 the entire feeder of Figure 3 is used

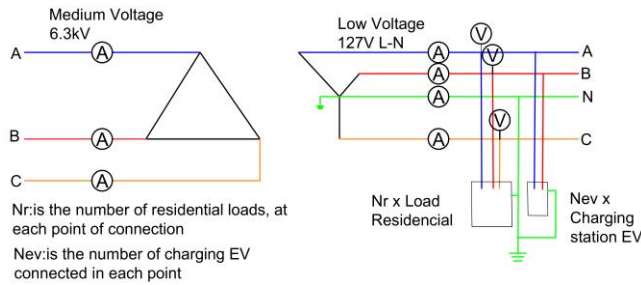


Figure 6. Connection and measurement at each load point

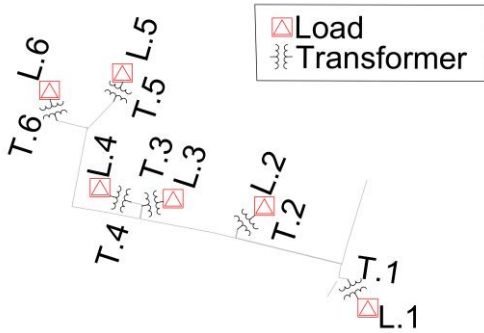


Figure 7. Selection of distribution system under study

Figure 7 shows the concentrated loads with different numbers of clients, and their respective low voltage transformer (see table 2). For the connection of the charging station two phases of the three-phase system are used. The load consumption is established by data from the EERCS, distributed equally in the system phases as balanced system for purpose of simplification since the data supplied does not make a detailed study of the load balance. Another consideration taken is that the load is instantaneous, it is assumed that this load is constant for the 24h giving a worst case to evaluate.

TABLE II. TRANSFORMER CAPACITY AND NUMBER OF CUSTOMERS

Load 1		Load 4	
Client	Residential/Commercial	Client	Residential
consumption	132,29 kVA	consumption	5,728 kVA
Transformer	250 kVA	Transformer	37,5 kVA
No. Clients	200	No. Clients	1
Load 2		Load 5	
Client	Residential	Client	Residential Commercial
consumption	48,24 kVA	consumption	11,23 kVA
Transformer	125 kVA	Transformer	45 kVA
No. Clients	1	No. Clients	55
Load 3		Load 6	
Client	Residential/Commercial	Client	Commercial
consumption	23,44 kVA	consumption	19,04 kVA
Transformer	150 kVA	Transformer	75 kVA
No. Clients	12	No. Clients	1

In the study, the worst case has been defined when all the chargers are operating simultaneously and their harmonics are not cancelled among themselves. Studies carried out in [17,18] indicate that in loads with harmonics that start to operate at random time, some of the harmonics can be cancelled among themselves, reducing their impact on the distribution network.

For the simulation of EV charging station in PSIM the sum of the following sources is used; current with value of 23 A, for the 3rd harmonics 1.7 A and, for 5th harmonic 0.5 A.

For the analysis of the impact of charging stations, 8 scenarios are studied.

A.- Scenario 1. Analysis of the area without the incursion of any charging stations, and considering the loads indicated in table 2. The study area is analysed and the rated line neutral voltage level of 120 V rms is considered, for all loads. The harmonic analysis allows us to know the level of harmonics and how they affect both voltage waveform, measured at the node of each load, and current waveforms measured in the respective transformers and connection cables. As a result of this analysis it is observed that the presence of harmonics is negligible at all loads.

B.- Scenario 2. One charger connected to node 6 without the usual load. The harmonics and voltage analysis can be seen in Figure 8.

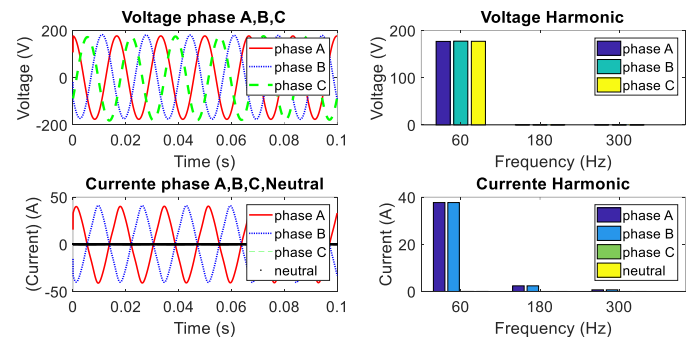


Figure 8. Voltage and current of station charging

It can be seen that values similar to those achieved with the oscilloscope measurement were obtained, with a current of 26.71A per phase, a line to line voltage of 216.9V and 5.2kW. This increase of voltage is because there is no additional load considered. The harmonics observed, from the harmonic analysis, are also similar to those measured with the oscilloscope. A sinusoidal voltage waveform with negligible harmonics with a THD_v of 0.93% is observed, while the current presents a slight distortion with the presence of the 3rd harmonic with amplitude of 1.69A and the 5th harmonic of 0.49A, corresponding to 6.35% and 1.86% respectively. The estimated THDi is 6.61%.

C.- Scenario 3. Six chargers are connected in loads L.1 to L.6 respectively. Their usual loads are also considered. For the analysis, measurements are taken on all associated transformers and since they have similar behaviors, with line voltages with 0.003% less than the initial case. Figure 9 shows the behavior of the current harmonics in the low voltage of transformer 4, which is more affected.

In relation to the voltage, there are no changes in its waveform, while the current, due to linear and nonlinear loads associated with the EV charger, presents a harmonic content of 4.19% and 1.17% for the 3rd and 5th harmonic, respectively, reaching a THDi of 4.43% per phase. The effect

of the charging station is reduced when compared to the previous case scenario.

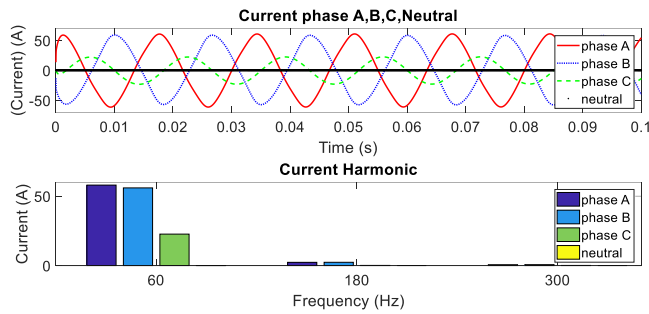


Figure 9. Harmonic results on load 4 with 1 station charging.

D.- Scenario 4. Eight chargers are connected, three in load L.5 in phase A and B, and one charger in each of the other loads. The respective usual loads are considered. The analysis is performed in load 5. The result of the flow analysis shows that the voltage levels do not present significant variation. Figure 10 shows the result of the harmonics analysis where a slight deformation can be observed in the current waveform of phases A and B. From the analysis, a magnitude of 4.64% and 1.30%, in the 3rd and 5th harmonic respectively harmonic respectively is obtained, with a THDi of 4.87%. The THDv is 0.34% in phase A 0.84 % in phase B and 0.93 in phase C, the voltage is sinusoidal.

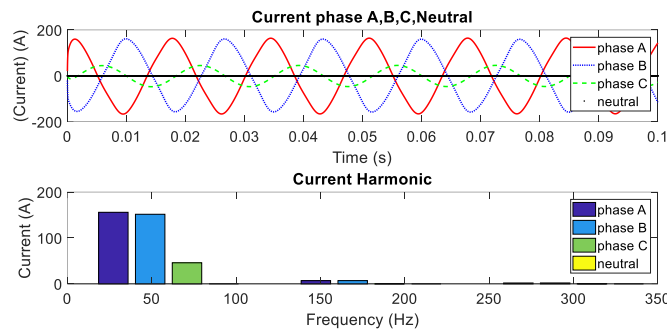


Figure 10. Harmonics results on load 5.

E.- Scenario 5. Three charging stations are connected to load L.5 in a balanced manner, in the other loads one charger and their respective usual loads are considered. Figure 11 shows the harmonics analysis on load L.5. Under these conditions, it is considered that it is not a real case, which presents a negligible harmonic distortion.

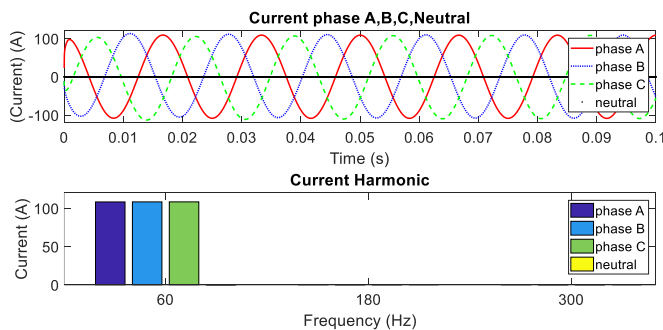


Figure 11. Harmonic results on load 5.

F.- Scenario 6. Eleven chargers are connected in load L.1, three chargers in L.5, one charger in the other loads and their usual loads. The flow analysis presents values of currents of $I_a=513,8A$, $I_b=495,14A$, $I_c=498A$, which corresponds to the analysis behavior of harmonics in Figure 12.

The present capacity of the 15 kV CU 250-type cable with a capacity of 400 A is exceeded and 537.21 A is required. In terms of harmonic analysis, the low-voltage effect is maintained with THDi of 2.52%, 0.58% and 2.46% for phases A, B and C. In the rest of the loads there is no significant variation. As a consequence of this scenario, the cable must be modified to a 15kV CU 500 with a driving capacity of 685A.

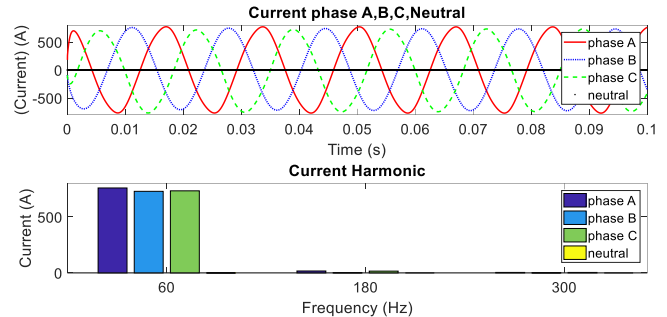


Figure 12. Harmonic results on load 1.

G.- Scenario 7. Nine chargers are connected in load L.5, 11 in L.1, and one in the other loads and their usual energy loads. The result of the flow analysis shows that the capacity of the transformer is exceeded and 56,083 KVA is required. The voltage levels are not affected, but it must be considered that it will work with this overload at least 5 years approximately so its lifetime will be affected by the effects of temperature. [19]

The distribution transformers are dimensioned between 8 and 10 years, in this work is used a method used by the EERCS and described below.

The projected average unit demand (DMUp) with a value of 1.36KVA [20] is determined. The maximum projected demand (DMp) at the point is given by: $DM_p = DMU_p * N * F_{coin}$. Where N is the number of clients, which in this case is 55, the coincidence factor given by $F_{coin} = N^{0.0944}$, has a $DM_p = 51,24$ kVA. It is necessary to add the special loads that would be the charging station, in this case 14, to obtain the dimensioning D, which is multiplied by a correction factor, for this case 0.7 according to [20]. With this analysis, results obtained that a transformer with an estimated minimum capacity of $D=83,412kVA$ is required. Under this consideration, the analysis was performed again with the use of a transformer with a capacity of 100kVA.

H.- Scenario 8. Fourteen chargers are connected in load L.5, 11 in L.1 and one in the other loads and their respective usual loads. It is observed that there are no problems in the voltage levels. The THDv is 0.22%, 0.54% and 0.68% for phase A, B and C. The THDi is 6.79%, 2,19% and 6.57% for phases A, B and C. Figure 13 shows harmonic analysis.

It can be observed that the tendency of the effect on the current waveform is maintained, within the allowed and the effect on the different points of the network is not significant.

I.- Scenario 9. A total of 178 chargers, distributed through the feeder, are connected as shown in Figure 3. The current capacity in the cable is exceeded in 5 cases, the capacity of the transformer is exceeded in one case and requires 133.72 kVA when the transformer is of 125 kVA. The higher voltage distortion is presented with a value of 0.87%, while the THDi is on the low side is of 6.93% in the load with one EVSE connected. Figure 3 shows the entire voltage path in green indicating that there is low distortion, while the current has yellow parts that represent the presence of harmonics and red level of higher harmonics on the secondary voltage of some transformers while the medium voltage side has low harmonic level so it is in green.

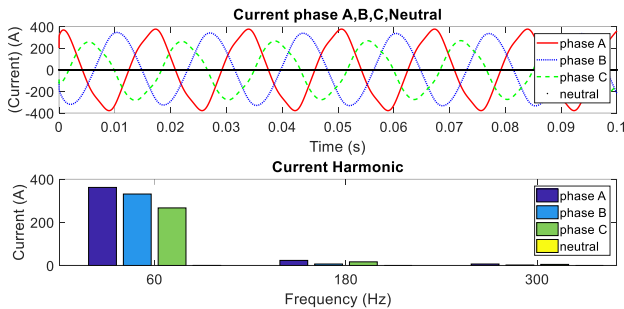


Figure 13. Harmonic results on load 5.

V. CONCLUSIONS

This paper presents a case study in which the load of a charging station for electric vehicles was modeled to analyze the connection of a feeder in Cuenca, Ecuador. It was demonstrated the inexistence of any problem in the power quality, since in the worst case the distortion of the voltage is 1.36%, which is within the limits allowed. It was also demonstrated that it is feasible to carry out additional studies to increase the capacities of the distribution system since the new loads in two of the scenarios studied required changes on the distribution network because they could not withstand the power demanded.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the electrical company Centrosur who provided the technical information about the electrical network of Cuenca.

The first author is grateful to the Secretariat of Higher Education, Science, Technology and Innovation (SENESCYT) of the Republic of Ecuador for funding to carry out Masters studies. Also thank to DIUC for supporting the REDU project titled "Más allá del petróleo: Un estudio de la relación entre la forma urbana y el transporte en dos ciudades del Ecuador".

The five authors wish to thank the economic and institutional support of the Prometheus project sponsored by the Secretariat of Higher Education, Science, Technology and Innovation (SENESCYT) of the Republic of Ecuador.

REFERENCES

[1] INEC, "El parque automotor de Ecuador creció 57% en cinco años Instituto Nacional de Estadística y Censos," 2016. [Online]. Available:

<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-cinco-anos/>. [Accessed: 1-feb-2017].

[2] D. X. Morales; Y. Besanger; M. Todelo; R. D. Medina. "Impact study of new loads and time of use Schedule in the low voltage network". 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), pp 1-6.

[3] G. A. Putrus; P. Suwanapinkarl; D. Johnston; E. C. Bentley; M. Narayana," Impact of electric vehicles on power distribution networks", 2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp 827-831.

[4] Pacific Gas and Electric Company. "Electric Schedule EV". [Online]. Available: https://www.pge.com/tariffs/tm2/pdf/ELEC_4830-E-A.pdf. [Accessed: 1-feb-2017].

[5] Antonio Cosmen Rodríguez, "Vehículo Eléctrico vs Tradicional, el modelo energético marca la diferencia - SoloKilovatiosVerdes," 2015. [Online]. Available: <http://blog.gesternova.com/vehiculo-electrico-vs-tradicional-el-modelo-energetico-marca-la-diferencia/>. [Accessed: 1-feb-2017].

[6] P Ibañez, "Hablemos de eficiencia: coche de combustión vs coche eléctrico," 2012. [Online]. Available: <https://www.motorpasionfuturo.com/coches-electricos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vs-coche-electrico>. [Accessed: 1-feb-2017].

[7] Ministerio coordinador de sectores estratégico. "Avanzamos en el cambio de la matriz energética". 2016 [Online]. Available: <http://www.sector.esestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Web-Sectores-Estrate%CC%81gicos-para-el-Buen-Vivir-01.pdf>

[8] Agencia de regulación y control de la electricidad. "Resumen Operativo del Sistema Nacional Interconectado".2017 [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/resumen-operativo-sni/>

[9] J. Martínez-Lao, Francisco G. Montoya, Maria G. Montoya. "Electric vehicles in Spain: An overview of charging system". 2015. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

[10] Ministerio Coordinador de Producción, "El Dr. Vinicio Alvarado, Ministro Coordinador de Producción, anunció las ventajas e incentivos para la introducción y uso de vehículos eléctricos en el país – Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad," 2016. [Online]. Available: <http://www.produccion.gob.ec/el-dr-vinicio-alvarado-ministro-coordinador-de-produccion-anuncio-las-ventajas-e-incentivos-para-la-introduccion-y-uso-de-vehiculos-electricos/>. [Accessed: 4-feb-2017].

[11] Roberto Alvarado, "Inicia proceso para implementar el taxi eléctrico | Municipio de Loja," 2016. [Online]. Available: <http://www.loja.gob.ec/noticia/2016-08/inicia-proceso-para-implementar-el-taxi-electrico>. [Accessed: 14-feb-2017].

[12] Lineida Castillo, "Tres taxis eléctricos ya circulan en Loja" | El Comercio".2017. [Online]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/taxiselectricos-circulan-loja-transporte.html>

[13] Arconel. Resolución No. ARCONEL- 038/15. 2015. [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/038.pdf>

[14] Conelec. Regulación CONELEC N° 004/01. 2011. [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-CalidadDeServicio.pdf>

[15] Universidade Estadual de Campinas. "Electromagnetic Compatibility (EMC) Low-Frequency Standards". [Online]. Available: <http://www.dsce.fe.unicamp.br/~antenor/pdf/IEC.pdf>

[16] kia (2017). Kia Soul EV. [Online]. Available: <http://www.kia.com/es/campaigns-and-redirects/soulev/>

[17] Lucas A. "Fast charging diversity impact on total harmonic distortion due to phase cancellation effect".2017.

[18] Lauri Kütt, Eero Saarijärvi, Matti Lehetonen, Heigo Mölder, and Jaan Niitsoo, "Harmonic Distortions of Multiple Power Factor Compensated EV Chargers in Power Electronics and Applications, Lappeenranta", 2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications pp 1-7.

[19] Paneendra Kumar BL Roy Mathew. "Asset management of transformer based on loss of life calculation". 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS) 2016,pp1-5.

[20] EERSSA. "Normas técnicas para diseño de redes eléctricas urbanas y rurales". (2012) [Online]: http://www.eerssa.com/eerssa/lotaip/2016/Mayo/archivos/a3/Normas_tecnicas_para_el_diseño_de_redes_electricas_urbanas_y_rurales.pdfAvailable: Accessed: 1-mar-2017].

ANEXO F. Estudio de eficiencia energética en la carga de vehículos eléctricos con estaciones domésticas

Energy efficiency study on electric vehicles charging with domestic stations

J. R. Gómez¹ J.L. Espinoza¹ Natália S. Gameiro² Paula Castro Vide²
L.G. González^{1*}

Recibido xx de junio de 20xx, aceptado xx de octubre de 20xx

Received: June xx, 20xx Accepted: October xx, 20xx

RESUMEN

El presente artículo presenta un estudio de eficiencia energética del cargador de baterías embebido en vehículos eléctricos. El comportamiento energético es estudiado con el uso de estaciones de carga nivel 1 y nivel 2 según el estándar IEC 61851-1. Se realiza la medición de voltaje y corriente en la entrada de las estaciones de carga y en el bus de corriente continua del vehículo eléctrico durante una carga completa. Con este procedimiento, la estación de carga nivel 2 presenta una eficiencia de un 87.41% frente al 70.57% de la estación nivel 1.

Palabras clave: Estación de carga, vehículo eléctrico, eficiencia energética.

ABSTRACT

This paper presents an energy efficiency study of the battery charger embedded in electric vehicles. The energy performance is studied with the use of level 1 and level 2 charging stations according to the IEC 61851-1 standard. Measurements of voltage and current at the input of the charging stations and at the DC bus of the electric vehicle during a complete charge is performed. With this procedure, the level 2 charging station has an efficiency of 87.41% compared to 70.57% of the level 1 station.

Keywords: Charging station, electric vehicle, energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

Con la propuesta del cambio de la matriz energética del Estado ecuatoriano se busca reemplazar el uso de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica [1]. Esta menor dependencia en los derivados de petróleo y la ruta hacia una matriz energética ambientalmente sustentable ha exigido una gran inversión económica en la construcción de

varios proyectos de generación eléctrica, denominados emblemáticos, basados en la utilización de fuentes de energía renovable, destacándose las centrales hidroeléctricas [2].

Con la construcción de dichos proyectos, en el Ecuador se dispone de energía eléctrica suficiente para el suministro interno e incluso para la venta de energía a los países vecinos [3]. El incremento de la oferta de energía debe venir

1 Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad de Cuenca. Av. 12 de Abril y Av. Loja. Cuenca, Ecuador. E-mail: roberto.gomezp@ucuenca.ec; juan.espinoza@ucuenca.edu.ec; luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec

2 Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria. R. Gen. Norton de Matos, 2411-901 Leiria, Portugal. E-mail: paula.vide@ipleiria.pt; ngameiro@ipleiria.pt

de la mano con un uso más eficiente en el lado de la demanda. Por ejemplo, se recomienda realizar acciones para reducir el pico en horas de alto consumo ya que contar con energía suficiente para cubrir esa condición llevaría a un incremento de este pico, dando como resultado una saturación del sistema y el aumento de pérdidas en este periodo. Es por esto que se viene trabajando en el denominado tiempo de uso [4-5], que plantea establecer tarifas en función a la hora de consumo con el fin de incentivar el uso de energía eléctrica en horarios donde hay menos demanda.

En Ecuador se llevan a cabo una serie de iniciativas con la finalidad de promover el uso eficiente de la energía eléctrica. Una de ellas es el programa de sustitución de luminarias incandescentes por fluorescentes compactas, más conocidas como “focos ahorradores” [6-7]. Esta tecnología ha sido bastante aceptada en el país; solamente en el año 2013 se importaron más de 15 millones de unidades [8]. Otra iniciativa plantea un alumbrado público más eficiente mediante el uso de la tecnología led la cual presenta varias ventajas frente a la iluminación tradicional [9]. A escala residencial se cuenta también con el programa nacional de sustitución de refrigeradoras ineficientes, de más de 10 años de antigüedad, por refrigeradoras con mayor eficiencia energética [10]. No menos importante es el programa de cocción eficiente, por medio de las cocinas de inducción, que busca incentivar el uso de la energía eléctrica en remplazo del gas licuado de petróleo (GLP). Además de los beneficios tecnológicos de las cocinas de inducción, este programa cuenta con subsidios y otros incentivos para que sea atractivo para los consumidores [11].

La energía eléctrica está incursionando también en el sector de la movilidad. Es así que en el país se impulsa la sustitución de los vehículos tradicionales (con motores de combustión interna) por vehículos eléctricos (VE), los cuales presentan ventajas económicas al necesitar un menor mantenimiento y contar con tarifas eléctricas relativamente bajas. Además, al ser más eficiente, el VE es una tecnología menos contaminante [12]. Asimismo, en el sector de la transportación pública, ciudades como Quito y

Cuenca están invirtiendo ingentes recursos para contar con el metro y tranvía, respectivamente, ambos movidos con electricidad [13-14]. Incluso el Municipio de Cuenca se encuentra realizando estudios para la incorporación de buses 100% eléctricos para el transporte urbano, para reducir la contaminación producida por los buses a diésel y facilitar el transporte masivo de la población [15].

Con la popularización del VE existen varios aspectos que se tendrán que modificar en el sector eléctrico, principalmente en los sistemas de distribución. De allí surge la necesidad de realizar varios estudios de impacto de esta tecnología. Uno de los elementos que se incorporarían al sistema de distribución de manera regular son las denominadas estaciones de carga, que son equipos que permiten realizar la carga de las baterías del VE. Siendo este un elemento importante para la adopción y utilización de esta tecnología, en este trabajo se analiza la eficiencia energética del convertidor de potencia embebido en el VE bajo dos condiciones (con dos estaciones) de carga. Para ello se realiza, de manera experimental, la medición de energía que se obtiene a la salida de cada una de las estaciones de carga y la energía que efectivamente es entregada al banco de baterías en DC del vehículo.

ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA ADOPCION MASIVA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

El cambio de la matriz energética en Ecuador promueve la generación de energía eléctrica basada en fuentes de energía renovable, lo que ha permitido un importante aprovechamiento de las fuentes hídricas con que cuenta el país. La generación hidroeléctrica, que actualmente representa un 87% del parque generador [16], permite contar con tarifas eléctricas más económicas. Este contexto ha permitido que el Estado plantee las siguientes condiciones para el uso del VE:

Incentivos en la adquisición de VE

La aceptación que tenga el VE en la sociedad depende de varios factores, entre ellos está la correcta publicidad y socialización que se le

otorgue a esta tecnología. Otro factor importante se relaciona a los beneficios económicos que impulse el Estado con el fin de que el VE sea una alternativa viable y atractiva, en remplazo al vehículo tradicional. Esta nueva opción de movilidad debe también reconocerse como una forma de reducir la contaminación generada por los vehículos que usan combustibles fósiles. Pensando en todo esto, para adquirir un VE, desde el Estado ecuatoriano se han planteado los siguientes incentivos [17]:

- 0% de arancel para la importación de modelos cuyo valor sean menor a 40,000 USD.
- 0% de IVA e ICE para vehículos de venta al público con valor inferior a 35,000 USD.
- Implementación de un Registro de Importadores con la finalidad de garantizar la existencia de repuestos, mantenimiento y servicio técnico.
- No hay límite de importación para este tipo de tecnología.
- Tarifa diferenciada en el costo de la energía eléctrica, este aspecto se discute en la siguiente sección.

Otro punto importante para la introducción del VE en el mercado ecuatoriano es el trabajo que han realizado los gobiernos locales para dar otros beneficios a los ya propuestos por el Estado central. Por ejemplo, el Municipio de Cuenca plantea la reducción de impuestos de tasa de rodaje, la disminución en el cobro de la revisión vehicular, parqueos preferenciales, entre otros [18]. Otro caso de iniciativa local es el presentado por el Municipio de Loja, que aprobó la creación de una compañía de taxis que empleen vehículos eléctricos. Dicha compañía consta de 50 cupos de los cuales se ha asignado 40 para ciudadanos migrantes que han retornado al país y 10 cupos para el público en general que no hayan pertenecido al sector público, militar o que hayan sido socios de alguna cooperativa de transporte en los 10 últimos años [19].

Tarifas eléctricas para estaciones de carga

La tarifa eléctrica es uno de los puntos

importantes tanto para la popularización del VE, como para realizar el proceso de carga en periodos de bajo consumo. Por ello, la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL) ha establecido la normativa relacionada con el esquema tarifario para aquellos consumidores que deseen instalar estaciones de carga lenta con capacidad de hasta 10 kW. La Regulación 038/15, de fecha 24/06/2015, establece que los usuarios que dispongan de estaciones de carga lenta y quieran beneficiarse de las tarifas, deben contar con un medidor de energía que permita registrar el consumo y el horario de utilización, sea en los periodos de punta, medio o base.

Los aspectos más importantes de esta normativa se muestran a continuación [20]:

- Un cargo por comercialización, expresado en USD/consumidor, este valor es independiente del consumo de energía y potencia.
- Un cargo por energía, expresado en USD/kWh, en función de la energía consumida en los periodos:
 - Demanda punta de 18h00 hasta las 22h00, de lunes a domingo.
 - Demanda media de 8h00 hasta las 18h00, de lunes a viernes; equivalente al 80% del cargo en el periodo de punta.
 - Demanda base de 22h00 hasta las 8h00, de lunes a domingo añadiéndose el horario de 8H00 a 18H00 los días sábado y domingo; equivalente al 50% del cargo en el periodo de punta.

El esquema tarifario se muestra en la figura 1.

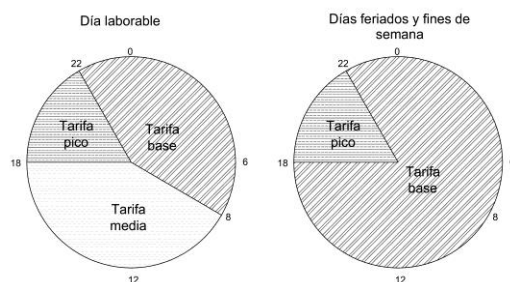


Figura 1. Esquema tarifario para el uso de estaciones de carga de VE en Ecuador

Modos de carga

Otro de los factores que favorece la popularización del VE es contar con la infraestructura necesaria para su uso. Dentro de ello se contemplan las estaciones de carga que permitan al VE su circulación por la ciudad sin presentar problemas con su autonomía. Los modos de carga tienen que ver con el nivel de comunicación entre la estación de carga y el VE, están normados según la norma IEC 61851-1 y se describen a continuación [21-22]:

Modo 1: Utiliza niveles propios de domicilios teniendo un nivel de voltaje de 120 V en corriente alterna y con una intensidad máxima permitida de hasta 16 A. El tiempo de carga puede demorar más de 8 horas. No posee comunicación con la red.

Modo 2: Se puede utilizar en domicilios y parqueaderos privados, con niveles de voltaje de 220 V en alterna y con una corriente máxima de 32 A. Tiene comunicación baja, el conector del VE con la estación de carga cuenta con un dispositivo intermedio de control de piloto para verificar la correcta conexión.

Modo 3: Utiliza un conector exclusivo para la recarga del VE, teniendo un elevado grado de comunicación con la red. Los dispositivos de control y protección se encuentran dentro de la estación de carga. La conexión del vehículo eléctrico a la red de corriente alterna soporta una corriente máxima hasta 32 A y puede ampliarse a 64 A.

Modo 4: Emplea una estación de carga que convierte la corriente alterna en continua para alimentar la batería del VE. Este modelo está pensado para la recarga rápida, con intensidades de corriente de hasta 400 A. Tiene una elevada comunicación con la red.

Niveles de estaciones de carga AC según SAE J1772

El estándar SAE J1772 clasifica el rango de

carga según el nivel de corriente en:

Nivel 1: opera con tensión de 120 V AC una fase con corrientes menores a 16 A. Usualmente de emergencia debido a la portabilidad de la estación. Dependiendo del vehículo, la carga de una hora puede dar entre 3.21 a 8.04 km.

Nivel 2: opera a 240 V monofásico y corriente máxima de 80 A, es para uso comercial y residencial. Requiere la instalación de una estación exclusiva de carga. Dependiendo del vehículo, por una hora de carga puede dar entre 16 a 32 Km.

CASO DE ESTUDIO

En el presente estudio se realiza un análisis de eficiencia energética del cargador embebido de un VE con las estaciones de carga disponibles en las instalaciones del Laboratorio de Micro red eléctrica de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Estas estaciones corresponden al nivel 1 y 2 según el estándar SAE J1772, específicamente 1.4 kW y 5.9 kW de potencia, respectivamente. A continuación, se detallan las características de los elementos que intervienen en el caso de estudio:

Vehículo Eléctrico (VE)

El Laboratorio de Micro red eléctrica de la Universidad de Cuenca dispone de un vehículo eléctrico marca Kia Soul EV en el cual se procedió a realizar el proceso de carga de las baterías mediante las dos estaciones disponibles. En este caso de estudio se realizó el monitoreo de una carga promedio de la batería del vehículo con el fin de determinar el comportamiento de la potencia de entrada y la potencia de salida. Las características más importantes del vehículo se muestran en la Tabla 1.

Estación de carga de vehículo eléctrico (Nivel 1)

La primera estación de carga que se analiza en este trabajo, denominada estación A, es la que viene incluida con la compra del vehículo, es de modo 2 y nivel 1, sus características principales son: conector SAE J1772, los niveles de entrada son 120 V AC y 12 A @ 60 Hz monofásico, y la

salida a 120 V AC, 12 A @ 60 Hz.

Máx potencia del motor (kW)	81.4	Aceleración 0 a 100k/h (seg)	12
Mas. Par (Nm)	285	Max velocidad (km/h)	145
Tipo de Batería	lithium-ion polymer	Distancia por carga (Km)	200
Capacidad (kWh)	27	Emisiones CO ²	0
Potencia máx. de batería (kW)	90	Conector de Carga	J1772/ CHAdeMO

Tabla 1. Características Vehículo Eléctrico [23].

Estación de carga de vehículo eléctrico (Nivel 2)

Así también se dispone de una estación modelo EVSE-RS de la marca AeroViroment, denominada estación B, la cual emplea un conector SAE J1772, con un rango de voltaje de 208/240 V en AC, y soporta una corriente máxima de salida de 30 A. a una frecuencia de 60Hz [24]. Según estas características podría considerarse que la misma se encuentra en el modo 3 según el estándar IEC 61851-1, y nivel 2 según estándar SAE J1772. En la figura 2 se muestra la instrumentación utilizada para las mediciones.



Figura 2. Instrumentación utilizada.

Metodología de Estudio

En este estudio se analiza la distorsión armónica producida por las estaciones de carga y la eficiencia del cargador del vehículo ante condiciones de cargas distintas, con estaciones de carga nivel 1 y nivel 2 las que serán usadas

con mayor frecuencia a escala residencial. Como ejemplo de esto, en el año 2016, la ciudad de Massachusetts contaba con 586 estaciones de carga nivel 2 y 55 estaciones del tipo nivel 3 [25] llamadas comúnmente de carga rápida ya que permiten cargar en DC con potencia nominales de 50 kW en un tiempo de promedio de 15 minutos [26]. Esta diferencia de 10 a 1 en el número de estaciones se explica pues se requiere una mayor inversión en el caso de las estaciones rápidas [27] que las hacen inaccesibles para su instalación a nivel doméstico.

En el presente análisis se observa las pérdidas existentes en la conversión de AC a DC para el caso de las estaciones de carga indicadas anteriormente. Esta conversión es realizada por el VE con el cargador embebido en el mismo, con este fin se realizan las mediciones de corriente y tensión de entrada bajo la carga con las estaciones nivel 1 y nivel 2. En la salida se mide la energía entregada al bus DC del vehículo. Con este procedimiento se obtiene la energía eléctrica tanto de entrada como de salida, lo cual que permite determinar la eficiencia de la utilización del cargador bajo las condiciones de carga descritas.

Procedimiento y análisis de resultados

Con el fin de estimar la potencia de entrada y de salida, se procedió a medir el comportamiento del voltaje y corriente con un osciloscopio modelo DPO 4104, con sonda de corriente TCP303 y sonda de tensión P5200A de la marca Tektronix. En las mediciones de corriente y voltaje también se analiza su espectro para conocer el nivel armónico. Con ambas estaciones, se procedió a realizar la carga de las baterías del VE iniciando con un estado de carga de 18% y finalizando en el 95%, tomado medidas intermedias durante dicho periodo de carga. Al analizar el espectro armónico se obtuvo una distorsión del 1.28% para la estación de carga A y del 6.51% para la estación B, valores que se encuentra dentro los rangos permitidos por la norma IEEE 519-2014, donde se estipula los armónicos máximos en corriente

considerando la relación de la máxima corriente de cortocircuito y la máxima corriente de carga. Sin embargo, también existe la norma IEC 61000-3-4 con límites más permisivos [28]. Las mediciones de voltaje y corriente son tomadas en la entrada de cada estación, así también se realiza la misma medición en la salida del convertor AC/DC del vehículo eléctrico como se indica en la figura 3. Las capturas de las mediciones obtenidas mediante el osciloscopio son presentadas en la figura 4, que muestra la forma de onda y valor de tensión, corriente y potencia en la entrada de la estación A. En la figura 5 se observa la tensión, corriente y potencia de salida hacia la batería al usar la estación A. Se destaca en este caso que el comportamiento de la corriente presenta una componente alterna producto del tipo de convertidor no controlado del VE, mientras que la tensión permanece constante ya que la resistencia interna serie del banco de baterías está en el orden de los $m\Omega$. De la misma manera, en la figura 6 se presenta la tensión, corriente y potencia a la entrada de la estación B y en la figura 7 la tensión, corriente y potencia en la salida del convertor AC/DC. En la tabla 2 se presentan los valores de las mediciones obtenidas además de la eficiencia de utilizar cada estación.

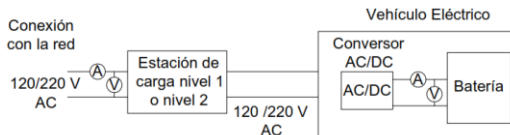


Figura 3. Esquema de conexión de mediciones en proceso de carga.

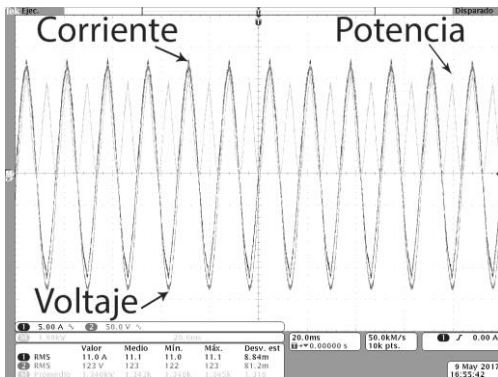


Figura 4. Tensión corriente y potencia en la entrada de la estación A.

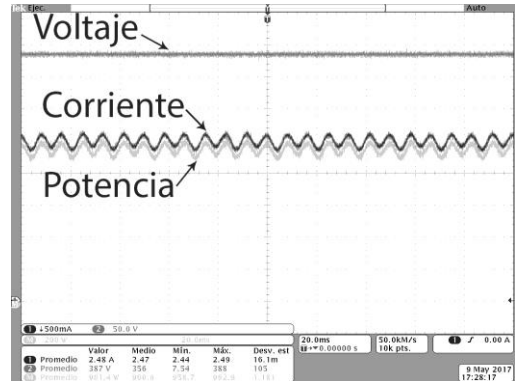


Figura 5. Tensión corriente y potencia en la salida del convertor AC/DC del VE.

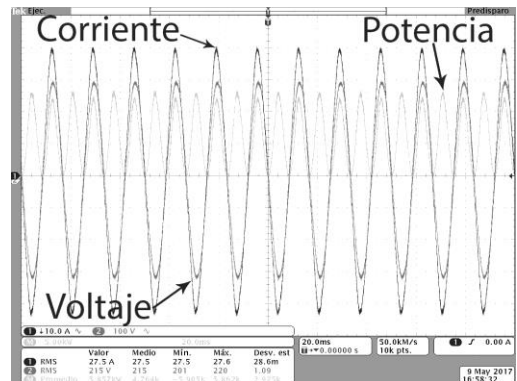


Figura 6. Tensión corriente y potencia en la entrada de la estación B.

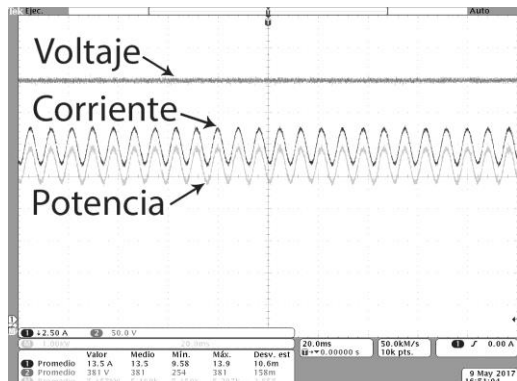


Figura 7. Tensión corriente y potencia en la salida del convertor AC/DC del VE.

SOC %	Estación A (1.4 kW)		Estación B (5.9 kW)		Voltaje en batería (VDC)
	Potencia entrada (kW)	Eficiencia %	Potencia entrada (kW)	Eficiencia %	
18	1.3	65.77	5.88	83.84	342
24	1.34	62.76	5.87	87.22	349
31	1.34	70.75	5.88	87.07	349
38	1.3	74.00	5.68	88.38	353
43	1.36	71.25	5.86	86.52	357
50	1.35	71.78	5.81	88.30	361
55	1.34	74.48	5.8	89.31	365
65	1.34	69.40	5.9	87.63	373
75	1.34	74.03	5.83	88.51	381
85	1.34	71.64	5.83	87.48	388
95	1.34	70.45	5.87	87.22	395
Promedio	1,335	70.58	5,837	87.40	

Tabla 2. Comportamiento de eficiencia energética, estaciones A y B.

En la figura 8, se presenta la gráfica del estado de carga “state of charge” (SOC) en relación al voltaje en la batería, donde se puede observar que el proceso de carga tiende a realizarse de forma constante, empezando con un valor de 342 VDC cuando el SOC se encuentra al 18% y 395 VDC cuando el SOC tiene un 95%. Esto se debe a que el proceso de carga se realiza bajo el sistema de corriente constante, ya que la corriente de carga es baja y su influencia sobre la resistencia serie equivalente es despreciable.

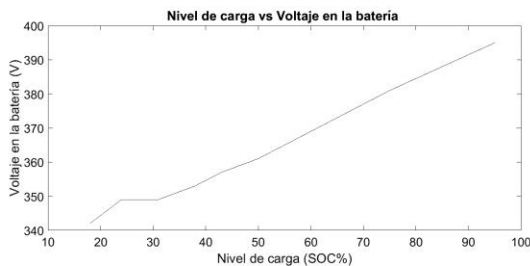


Figura 8. Nivel de carga vs Voltaje en la batería.

La figura 9 muestra el estado de carga en relación con la potencia de entrada de cada

estación y la potencia DC en la salida hacia el banco de baterías, en donde se puede apreciar que durante el periodo de carga las dos estaciones de carga presentan la misma tendencia. Se puede notar que la potencia de entrada para las dos estaciones de carga no presenta gran variación durante el proceso de carga, similar a la potencia de salida que presenta poca variación en cada intervalo de medición.

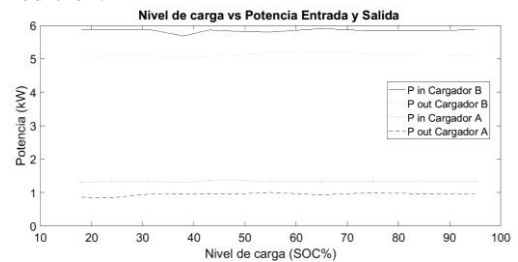


Figura 9. Nivel de carga vs Potencia.

En la tabla 2, se observa que al utilizar la estación A se presenta una eficiencia promedio del 70.58% en tanto que con la estación B se tiene 87.40%, con lo que la utilización de esta última resulta ser más eficiente. Con los valores de eficiencia y la potencia de entrada obtenemos la potencia en la salida del convertor AC/DC para cada estación, obteniendo 0.945 kW y 5.10 kW para la estación A y estación B respectivamente. La diferencia entre la potencia de entrada y la de salida son pérdidas teniendo para la estación A, en promedio, 0.39 kW mientras que con la estación B se tiene 0.74 kW. Estas pérdidas son el resultado de la transformación en calor debido a la conversión energética.

Para el caso del vehículo de estudio, para una carga completa de la batería es necesario 27kWh de energía. Si se utiliza la estación A el convertor AC/DC entrega 0,945 kW por lo que le tomaría un tiempo de 28.57 h en tanto que con la estación B el convertor AC/DC entrega 5.10 kW tomándole un tiempo de 5.3 h. Tomando en cuenta el rango ideal de trabajo del SOC entre el 20% al 90% recomendado en [29] a fin de extender la vida útil del banco de baterías, se tendría que cargar únicamente 18.9 kWh de energía que representa el 70% bajo esta

condición, con lo que a la estación A le tomaría 20 h para alcanzar esta energía, mientras que la estación B emplearía un tiempo de 3.7 h aproximadamente. Bajo estas condiciones al realizar la carga, la energía que se pierde para cada estación según su respectivo tiempo de uso de 7.8 kWh y 2.73 kWh para las estaciones A y B, respectivamente. Como se puede observar de las pérdidas totales por el uso de las estaciones, al utilizar la estación A se produce 2.86 veces más pérdidas que al usar la estación B.

COSTOS DE LA ENERGIA

Con el objetivo de incentivar el uso de las estaciones de carga de uso doméstico en horarios con menor demanda eléctrica, en Ecuador se implantó el sistema tarifario descrito en la sección Tarifas eléctricas para estaciones de carga según el cual, se busca que el usuario acceda a la tarifa más económica. Para ello se ha tomado una tarifa de $T_p=0.05$ USD/kWh, 0.08 USD/kWh y 0.1 USD/kWh en los horarios base, media y punta, respectivamente. Este último valor corresponde al precio promedio de electricidad a nivel residencial. Para calcular el consumo de energía de la estación de carga es necesario multiplicar la potencia y el tiempo de uso y el costo correspondiente a la carga comprendida en más de un uso tarifario. Para ello, se utiliza la ecuación 1, donde E_p es la energía consumida en el intervalo con la tarifa correspondiente T_p identificada anteriormente.

$$C_T = \sum(E_p * T_p) \quad (1)$$

Para la estación A que tiene una potencia de 1.335 kW, las horas de uso (h), que en este caso son 20, se presentan en la figura 10. Teniendo con el horario más favorable una energía consumida de 13.35 kWh/carga en periodo base y 13.35 kWh/carga en periodo medio. Para el uso en horario menos favorable se tiene 8.01 kWh/carga, 13.35 kWh/carga y 5.34 kWh/carga en horario base, media y punta respectivamente. Así mismo en la figura 10 se indica el tiempo de uso en cada periodo con lo que se llegaría a un costo de 1.73 USD por cada carga que se realice bajo las condiciones más favorables y de 2 USD

por cada carga en el horario con condiciones menos favorables.

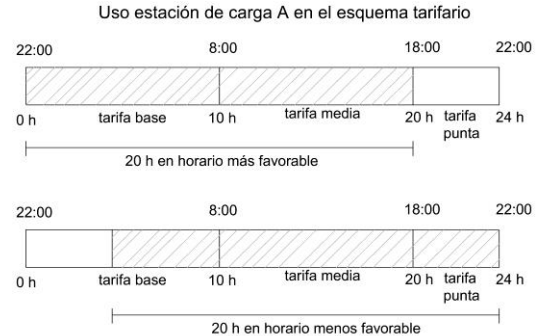


Figura 10. Horas de uso de la estación A en el esquema tarifario ecuatoriano.

De la misma manera tenemos que para la estación B con una potencia de 5.837 kW, las horas de uso se presenta en la figura 11 teniendo una energía consumida de 21.60 kWh/carga. Con un costo de 1.08 USD por cada carga en el horario más favorable y de 2.16 USD en el horario menos favorable.

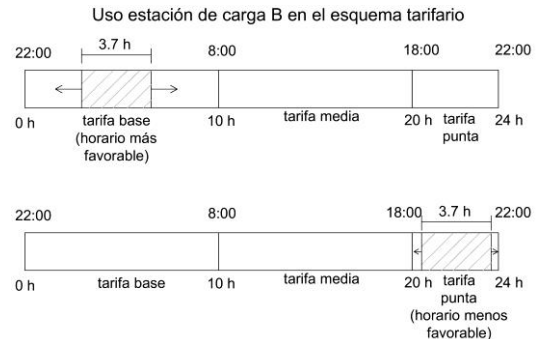


Figura 11. Horas de uso de la estación B en el esquema tarifario ecuatoriano.

Usando las estaciones de carga en los periodos con tarifas más bajas, se observa que cada carga con la estación A representa un costo de 0.65 USD más que con la estación B. Si bien este no podría ser el factor decisivo para que el usuario opte por usar una estación de carga nivel 2, la razón más importante sería el tiempo que le toma en realizar una carga completa frente a una estación de nivel 1.

No existe una normativa que regule los límites de pérdidas al utilizar las estaciones de carga,

pero con el fin de conocer el valor que se paga en pérdidas por el uso de cada estación, se tendría un costo de:

Para la estación A igualmente usando los horarios de tarifas más baja se tiene 10 h en horario base y 10 h en horario medio, tendiendo 3.9 kWh/carga de pérdidas de energía en base y media. Por lo que se pagaría en pérdidas de energía 0.51 USD por cada carga realizada.

Así también para la estación B se tiene 2.74 kWh/carga de energía perdida, con un costo de 0.14 USD por cada carga que se realice.

Si bien los valores a pagar por pérdidas de energía en cada carga son bajos, en el caso de la masificación de la utilización de estaciones de carga es importante utilizar siempre equipos que produzcan la mayor eficiencia energética posible no solo por el tema económico sino también por el aspecto ambiental.

CONCLUSIONES

En este estudio se comparó el uso de dos estaciones de carga de uso doméstico para vehículos eléctricos. El estudio demuestra que al utilizar la estación nivel 2 en comparación a la de nivel 1, el convertidor embebido del vehículo presenta mayor eficiencia, resultando en 87.41% y 70.57% de eficiencia, respectivamente. Así también el uso de la estación de nivel 2 produce 2.87 veces menos pérdidas de energía al final de un ciclo de carga promedio entre el 20 y 90% SOC. Finalmente, del análisis de costos por cada carga se tiene como resultado un valor aproximado de 1.73 USD con la estación nivel 1 frente a 1.08 USD con la estación nivel 2, en el mejor escenario y usando en el peor escenario 2 USD y 2.16 USD para la estación nivel 1 y nivel 2 respectivamente, con el esquema tarifario propuesto por ARCONEL.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador por la beca de cuarto nivel.

El quinto autor desea agradecer el apoyo económico al proyecto Prometeo por parte de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador.

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y a la Red Ecuatoriana de Universidades para Investigación y Posgrados (REDU) por el apoyo en el proyecto "Más allá del petróleo: Un estudio de la relación entre la forma urbana y el transporte en dos ciudades del Ecuador".

REFERENCIAS

- [1] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. "Sectores Estratégicos". Revista del Ministerio del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Volumen 1. pp 4-7. 2013. Disponible: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Web-Sectores-Estrategicos-para-el-Buen-Vivir-01.pdf>
- [2] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. "Informe de rendición de cuentas 2012". pp 11-20 2012. Disponible: <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/10/7.8Informe-Rendición-de-Cuentas-MEE-R-2012.pdf>
- [3] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. "Ecuador se consolida como exportador de energía para Perú y Colombia"[Consulta:11-May-2017]. Disponible: <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/ecuador-seconsolida-como-exportador-de-energia-paraperu-y-colombia/>.
- [4] Hydroone, "Time of Use Prices," 2016 [Accessed: 11-May-2017]. Disponible: <http://www.hydroone.com/TOU/Pages/Default.aspx>
- [5] D. X. Morales, Y. Besanger, M. Toledo, and R. D. Medina. "Impact Study of New Loads and Time of Use Schedule in the Low Voltage Network", PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2016 IEEE. pp. 4-9. 2016.
- [6] Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica. "Ecuador entregará 800

- mil focos ahorradores para incentivar el ahorro de energía en la población” 2014. [Consulta: 09-May-2017]. Disponible: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-entregara-800-mil-focos-ahorradores-incentivar-ahorro-energiapoblacion.html>.
- [7] Fernández Claudia, “¿Focos incandescentes o focos ahorradores?” 2014 [Consulta: 09-May-2017]. Disponible: http://horno3.ensi.com.mx/apps/newsletter/idea.php?module=Newsletter&action=ReadNewsletter&newsletter_id=6556.
- [8] G. Pinasco. “Importadores de focos ahorradores preocupados por nueva norma el INEN” 2014[Consulta: 05-Jun-2017]. Disponible: <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/actualidad/50550-importadores-focos-ahorradores-preocupados-nueva-norma-inen>.
- [9] L. Lojano and F. Orellana. “Mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología led (light emitting diode,” Universidad de Cuenca, Tesis previa a la obtención del título de ingeniero eléctrico. 2014.
- [10] Empresa Eléctrica Quito. “Plan Renova - Refrigeradora,” 2015 [Consulta: 09-May-2017]. Disponible: <http://www.eeq.com.ec:8080/energia-renovable-y-eficiencia/plan-renova-refrigeradora>.
- [11] Empresa Eléctrica Quito. “Programa Cocción Eficiente PEC: cocinas inducción,” 2015. [Consulta: 09-May-2017]. Disponible: <http://www.eeq.com.ec:8080/energia-renovable-y-eficiencia/programa-de-coccion-eficiente-pec>.
- [12] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. “Catálogo permitirá la adquisición de vehículos eléctricos en Ecuador” 2012. [Consulta: 09-May-2017]. Disponible: <http://www.energia.gob.ec/catalogo-permitira-la-adquisicion-de-vehiculos-electricos-en-ecuador/>.
- [13] Metro de Quito. “METRO DE QUITO” 2013. [Consulta: 01-Jun-2017]. Disponible: <http://www.metrodequito.gob.ec/metrohome.php?c=43>.
- [14] D. Coellar. “Tranvía de Cuenca, Ecuador”.2017[Consulta: 01-Jun-2017]. Disponible: <http://www.eoi.es/blogs/merme/tranvia-de-cuenca-ecuador/>.
- [15] CSM. “Buses eléctricos para reducir contaminación” Diario el Mercurio 2016[Consulta: 11-May-2017]. Disponible: <http://www.elmercurio.com.ec/522009-buses-electricos-para-reducir-contaminacion/>.
- [16] CENACE. “Información operativa mensual”.2017[Consulta: 01-Jun-2017]. Disponible: <http://www.cenace.org.ec/docs/InformacionOperativa.htm>.
- [17] Ministerio Coordinador de Producción Empleo y Competitividad. “Vehículos eléctricos, una realidad en Ecuador”. 2016[Consulta: 01-Jun-2017]. Disponible: <http://www.produccion.gob.ec/vehiculos-electricos-una-realidad-en-ecuador/>.
- [18] Ilustre Municipal Cuenca. “Municipalidad de Cuenca recibe a prueba vehículo eléctrico BYD E”.2015[Consulta: 01-Jun-2017]. Disponible: <http://www.cuenca.gov.ec/?q=content/municipalidad-de-cuenca-recibe-prueba-vehiculo-electrico-byd-e6>.
- [19] L. Castillo. “Tres taxis eléctricos ya circulan en Loja”. Diario el Comercio, 2017[Consulta: 01-Jun-2017]. Disponible: <http://www.elcomercio.com/actualidad/taxiselectricos-circulan-loja-transporte.html>
- [20] ARCONEL. “Resolución ARCONEL-No 038/15”. 2015.
- [21] Observatorio Tecnológico de la Energía, “Mapa Tecnológico movilidad eléctrica” pp. 1–79. 2012.
- [22] J. Martínez-lao, F. G. Montoya, and M. G. Montoya, “Electric vehicles in Spain : An overview of charging systems” Renewable and Sustainable Energy Reviews. pp. 1–14, 2016. ISSN: 1364-0321, DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.239
- [23] Electromaps. “Todo sobre el KIA Soul EV”. [Consulta: 10-May-2017]. Disponible: <https://www.electromaps.com/coche-s-electricos/kia/soul-ev>.
- [24] AeroVironment, “Electric vehicle charging station” 2011. Disponible: <http://www.evsolutions.com/Upload/Product/635652510567126000.pdf>
- [25] F. Wagner, J. Frandcfort, and S.

- White, “Massachusetts Plug-in Electric Vehicle and Charging Infrastructure Case Study,” No. December. 2016. Disponible: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/reports/MassachusettsCaseStudyDec2016.pdf>
- [26] S. Magnusson. “New Zealand Electric Car Guide” 2016. Disponible: <http://www.electriceaven.nz/NZ-Electric-Car-Guide-3June2017.pdf>
- [27] Electricidecolorado, “how electric vehicles can in funding for EV infrastructure over the next four years,” 2015. Disponible: http://raqc.org/postfiles/clean_air_fleets/documents/How_EVs_Benefit_PropertyDevelopers.pdf
- [28] Unicamp, “Electromagnetic Compatibility (EMC) Low-Frequency Standards Standards on Low-Frequency.” pp. 1–17. Disponible: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/IEC.pdf>
- [29] Electropaedia. “Lithium Battery Failures” 2005. [Consulta: 23-May-2017]. Disponible: <http://www.mpoweruk.com/lithiumfailures.htm#soc>.

ANEXO G. Impacto de las estaciones de carga para vehículo eléctrico en la curva de carga de la Ciudad de Cuenca

J R Gomez¹, L. G. González¹, Paula Vide², Nátalia S. Gameiro².

¹ Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad de Cuenca. Av. 12 de Abril y Av. Loja. Cuenca, Ecuador.

² Instituto Politécnico de Leiria Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria. R. Gen. Norton de Matos, 2411-901 Leiria, Portugal.

Corresponding author: *L. G. González*, luis.gonzalez@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción:

Fecha de aceptación:

ABSTRACT

This article presents a study of the incidence in the demand curve of the residential sector of the city of Cuenca, with the massification of the use of the electric vehicle, with this purpose characterized the charging station used at the domestic level, having an average power of 5.83 kW. So also different scenarios are presented with different numbers of electric vehicles connected according to the level of penetration of this to the Ecuadorian medium, the differences are evaluated between scenario without tariff scheme, tariff scheme and with intelligent recharge, the study is observed that the tariff scheme is efficient for the first years of introduction of the electric vehicle, shifting the use of the recharge to a schedule of low demand, but to have a greater penetration is required to pose another strategy as is the intelligent recharge that allows to have a Distribution with greater uniformity in the low demand schedule.

Keywords: demand curve, tariff scheme, Electric vehicle.

RESUMEN

El presente artículo presenta un estudio de la incidencia en la curva de demanda energética del sector residencial de la ciudad de Cuenca, con la masificación del uso del vehículo eléctrico, para ello se caracteriza la estación de carga utilizada a nivel doméstico, teniendo una potencia promedio de 5.83 kW. Así también se plantean distintos escenarios con diferentes números de vehículos eléctricos conectados según el nivel de penetración de este al medio ecuatoriano, se evalúa las diferencias existentes entre escenarios sin esquema tarifario, con un esquema tarifario y con recarga inteligente, del estudio se observa que el esquema tarifario es útil para los primeros años de introducción del vehículo eléctrico, desplazando la utilización de la recarga a un horario de baja demanda, pero al tener una mayor penetración se requiere el plantear otra estrategia como es la recarga inteligente que permite tener una distribución con mayor uniformidad en el horario de demanda baja.

Palabras clave: Curva de demanda, esquema tarifario, vehículo eléctrico.

1. INTRODUCCIÓN

El estado ecuatoriano en los últimos años se ha planteado fortalecer el sistema eléctrico ecuatoriano, dentro de ello encuentra que ha realizado una gran inversión en lo referente al cambio de la matriz energética (ANDES, 2016), cuyo objetivo consiste en producir energía eléctrica con fuentes de generación de energía renovables, las cuales son amigables con el medio ambiente, y por otro lado permite al país tener independencia energética de los derivados de petróleo, de dichos proyectos destacan los denominados proyectos emblemáticos detallados en (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012).

El cambio de la matriz energética también abarca la masificación del uso de la energía eléctrica, entorno a ello, se ha llevado a cabo varios proyectos como por ejemplo el cambio de cocinas domesticas alimentadas por gas natural de petróleo por el uso de cocinas alimentadas con energía eléctrica mediante el principio de inducción, para lo cual se ha destinado varios incentivos (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2014), permitiendo que se atractivo para los clientes optar por esta tecnología para realizar las actividades de cocción. Así mismo se encuentra el plan para remplazar el calentamiento de agua por medio de calefón a gas con equipos que utilizan energía eléctrica para este proceso (El Comercio, 2014).

Otro programa que se está llevando a cabo es una alternativa en lo que se refiere al transporte en donde se está realizando incentivos para la adquisición de los vehículos eléctricos (VE) como remplazo de los vehículos de combustión interna, los cuales utilizan para su funcionamiento derivados de petróleo y por tanto son contaminantes. En este aspecto el Ecuador presenta una gran ventaja a la utilización del VE ya que actualmente la generación eléctrica con fuentes de energía renovables alcanza un 87% (CENACE, 2017), contribuyendo así a disminuir la dependencia de energías derivadas de petróleo y desde el aspecto ambiental , reducir la contaminación.

Con el fin de incentivar el uso del VE el gobierno ecuatoriano ha realizado una serie de incentivos para motivar al usuario a la compra de los VE, así también ha diseñado un esquema tarifario para realizar la carga de las baterías del VE en donde el objetivo es inducir en el usuario dueño de VE realice la carga en horas de baja demanda, mediante la utilización de tarifa reducida en este periodo (ARCONEL, 2015). Con la introducción del VE en el medio es lógico pensar que la curva de demanda se verá afectada, con lo que se ve la necesidad de realizar un estudio con el fin de evaluar el nivel de afección y plantear las estrategias a emplear con el fin de minimizar el impacto producido.

En (Putrus *et al.*, 2009) se presenta un estudio en el cual plantean casos para evaluar cómo afecta el ingreso del VE a la curva de carga, en donde se evidencia la necesidad de plantear estrategias que permitan disminuir la utilización en horas críticas de consumo energía eléctrica (picos).

De allí se ve la importancia de realizar la gestión de la demanda “Demand Side Management” que es la planificación e implementación de medidas destinadas a influir en el modo de consumir energía con el fin de modificar el perfil de consumo. Con ellas se contribuye a una gestión más eficiente y sostenible del sistema eléctrico (Red Eléctrica de España, 2016).

Las estrategias que utilizarse en la gestión de la demanda básicamente las podemos agrupar en dos grupos. La primera consiste en reducir el consumo energético, por ejemplo, con campañas que promuevan al usuario la utilización de equipos con mayor eficiencia energética. La segunda consiste en desplazar el consumo, en esta estrategia se induce al usuario a la utilización de los diferentes equipos en un horario diferente al que está acostumbrado, esto se puede lograr con el uso de esquemas tarifarios, que induce al usuario cambiar sus hábitos y utilizar los diferentes equipos eléctricos en horarios con tarifas más económicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realiza de forma experimental, para ello se plantea conocer el comportamiento de la carga típica de una estación de carga de nivel 2, la cual cumple las especificaciones dadas por el estándar IEC 61851 (Circuitor, 2015). Para la determinación de la carga típica, se realiza mediciones de corriente y tensión durante el proceso de carga de un VE.

Una vez determinada la carga típica, se realiza la estimación de potencia y energía en el proceso de carga, se plantea evaluar la afectación a la curva de carga del sector residencial de la Ciudad de Cuenca, para ello tomando en cuenta los distintos factores que intervienen en la carga, como son: las costumbres del consumidor, el recorrido del VE, la capacidad de la batería del vehículo, la preferencia de hora en la que se cargue. Estos factores hacen que sea un proceso estocástico, siendo difícil determinar la hora a que el usuario cargue el vehículo, por lo que se pretende evaluar el peor caso el cual se da cuando se realiza una carga de forma simultánea.

A continuación, se describen los elementos que intervienen en este trabajo.

2.1 Estación de carga nivel 2

la estación de carga utilizada es la “AV EVSE-RS 30A EV CHARGING STATION” de marca AeroViroment, disponible en el laboratorio de microrred de la Universidad de Cuenca. Esta estación de carga trabaja con un nivel de voltaje de entrada máximo de 240 V AC, con una corriente máxima de 30 A, a una frecuencia de 50 o 60 Hz, cuenta con un conector j1772 (AeroVironment, 2011), este tipo de estación proveen de voltaje y corriente en AC, siendo el vehículo el que realiza el proceso de conversión DC para la carga de las baterías.

3. RESULTADOS

Para determinar la potencia requerida, así como los niveles de voltaje y corriente al cargar las baterías del Kia Soul EV, se procede a realizar la carga del 15% al 100%, teniendo un tiempo aproximado de 4.5 h. Durante el proceso de carga se determina el valor de la corriente, tensión y potencia mediante mediciones con un osciloscopio modelo DPO 4104, con sonda de corriente TCP303 y sonda de tensión P5200A de la marca Tektronix, presentando una potencia promedio 5.83 kW, voltaje de 220 V y 22 A. Se define el caso base, con una curva de demanda diaria típica en la ciudad de Cuenca en un sector en el que predominan los usuarios residenciales, en la figura 2 se presenta la curva de demanda diaria actual de la subestación No. 3, tomando en cuenta solo la zona urbana. En la cual se puede observar que el horario donde existe mayor utilización energética (demanda pico) es el comprendido entre las 18:00 y 22:00.

La primera consideración tomada en cuenta se basa en la curva de demanda presenta en la figura 2, donde se observa a que hora se empieza a utilizar mayoritariamente la energía eléctrica y podemos asumir que desde esta hora se iniciaría el proceso de carga del VE, ya que, al no tener ninguna restricción de uso, el usuario utilizara según su comodidad. Definiendo así las 19:00 como hora de inicio del proceso de carga. Ya que a esta hora se tendrá usualmente mayor uso tomando en cuenta que se finaliza la jornada laboral y retorno a los hogares, con lo que al llegar a sus respectivos hogares el consumidor conectaría el vehículo a red para realizar el proceso de carga.

Otra consideración tomada en cuenta es el número de vehículos que se conectan, para ello se plantea 3 escenarios con diferentes niveles de penetración del VE para diferentes años, basados en un estudio realizado en (Vélez Sánchez, 2017), en donde se presenta una proyección de cuantos vehículos se venderían en el Ecuador, además se indica que del total del país el 7% representa a la ciudad de Cuenca. Tomando en cuenta que la subestación escogida abastece de energía alrededor del 30% de la población con lo que se tendría un estimado de 207 usuarios con VE para el escenario 1, 419 VE para el escenario 2 y 654 VE escenario 3.

También se considera para el análisis el peor caso que sería cuando todos los VE se cargan al mismo tiempo.

Para la aplicación de la gestión de la demanda se estudian los 3 escenario descritos, la primera estrategia que de gestión de la demanda que se aplica es la reducción del uso energético, para ello se plantea fomentar el uso de estaciones de carga con mayor eficiencia de manera de reducir las pérdidas energéticas al realizar la carga, en este aspecto mediante mediciones de la estación de carga se determina que tiene un nivel de eficiencia del 87.4%. Con solo la aplicación de esta estrategia la curva de demanda base se modifica como se presenta en la figura 2. En donde se puede observar un incremento en las horas pico además que este incremento se sigue elevando mediante más VE ingresen en el medio, la masificación de uso del VE es un evento deseado, pero el incremento de la demanda pico es un evento que se debe evitar, debido a la necesidad del ingreso de otras fuentes de generación eléctrica que

permitan satisfacer la nueva demanda. Con lo que se evidencia la necesidad de plantear restricciones de uso, restricciones que pudiesen ser implementadas entre otras mediante un esquema tarifario.

La utilización de un esquema tarifario es una estrategia de gestión de demanda que cumple el objetivo de desplazar el uso energético a un horario de menor demanda. En este aspecto existe un esquema tarifario dado por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL) en la regulación 038/15, la cual establece los horarios y descuento producido según el horario de demanda. Siendo las horas de menos consumo y por ende con un incentivo de descuento del 50% de la tarifa regular, entre las 22:00 y 8:00 con lo que, al aplicar este esquema, se busca influir en el usuario que cambie sus costumbres de utilizar la energía en la hora pico, y busque ahorro empezado a realizar el proceso de carga a partir de las 22:00. Bajo esta estrategia la curva de demanda se modifica como se observa en la figura 3.

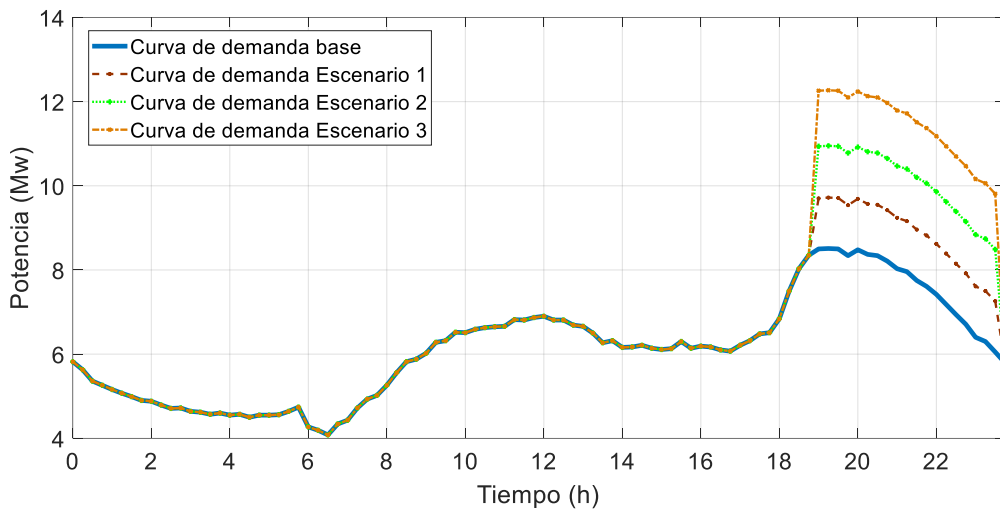


Figura 2. Curva de demanda sin esquema tarifario

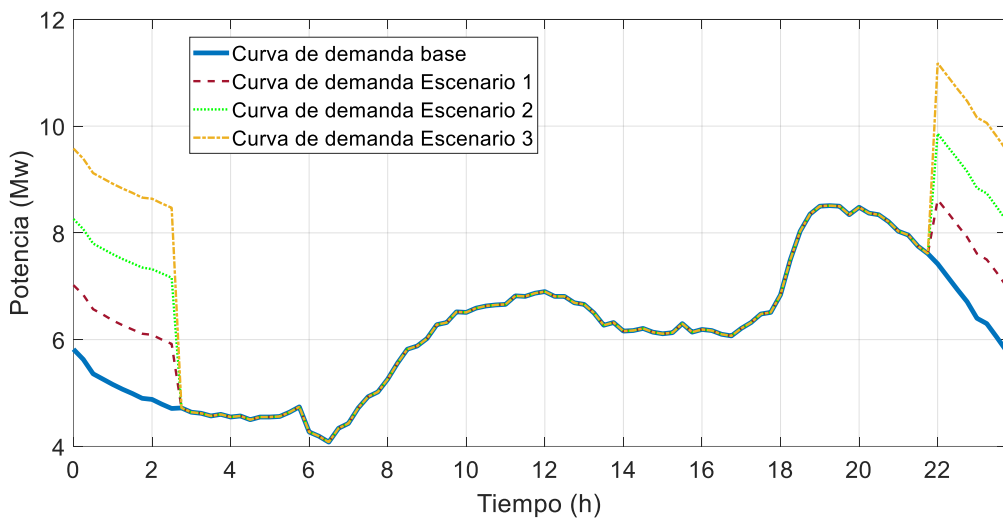


Figura 3. Curva de demanda con esquema tarifario

Como se puede observar en la figura 3 con la aplicación del sistema tarifario se obtiene una disminución del pico presentado en la figura 2, pero también se puede observar que con el paso del tiempo, al tener una mayor penetración del VE, específicamente en el escenario 3 se presenta la creación de un nuevo pico a partir de las 22:00, el cual tiene corta duración, con lo que se requiere poner en funcionamiento otras fuentes de generación y a su vez realizar el proceso de detención de las mismas en un tiempo corto, resultando elevación en el costo de producción, por lo que se observa la necesidad de plantear otras estrategias a futuro.

La estrategia de demanda debe cumplir con el objetivo de desplazamiento de la carga. Una alternativa planteada es el utilizar equipos con sistema de retraso, lo cuales empiezan el proceso de carga un tiempo después que el usuario conecta el VE a la estación de carga, con lo que se consigue tener mayor diversificación de la carga. Otra alternativa es la aplicación de la denominada “carga inteligente”, para esto se requiere la utilización de equipos que posean un nivel de comunicaciones elevado, con el fin de permitir tener comunicación entre el usuario y la empresa distribuidora de energía, la cual sería la encargada de recopilar la información de todos los usuarios que desean realizar a carga del VE, así como cuanta energía necesita para realizar la carga y en base a esta información realizar una programación, con el objetivo de distribuir el proceso de carga de todas las estaciones de carga que solicitan carga durante las 8 horas del horario de demanda base, de esta manera se puede obtener una distribución de carga más equilibrada, además de permitir determinar de mejor manera cuanta energía se requiere y en que horarios, permitiendo realizar una planificación de generación de energía con mayor eficiencia.

La aplicación de esta estrategia para los escenarios 1, 2 y 3 se presenta en las figuras 4, 5 y 6 respectivamente.

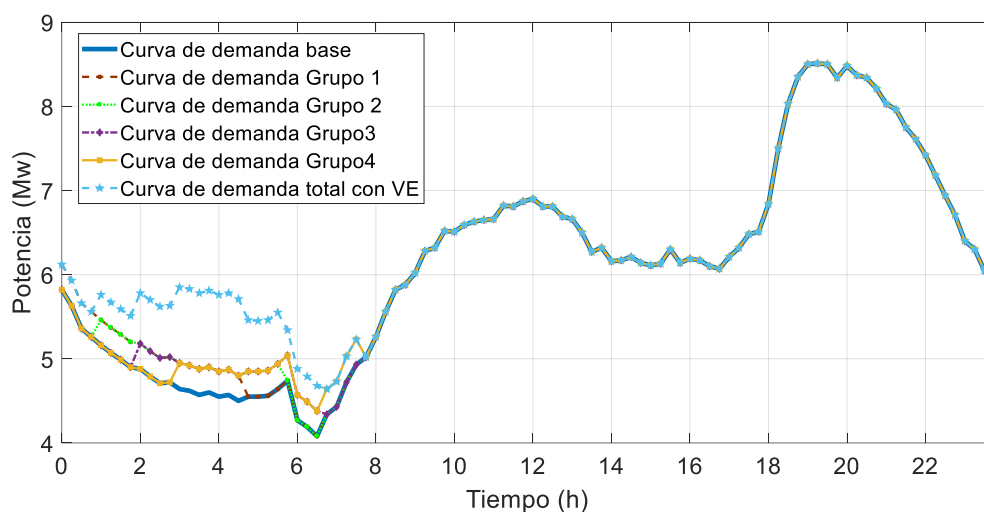


Figura 4. Curva de demanda con carga inteligente (Escenario 1)

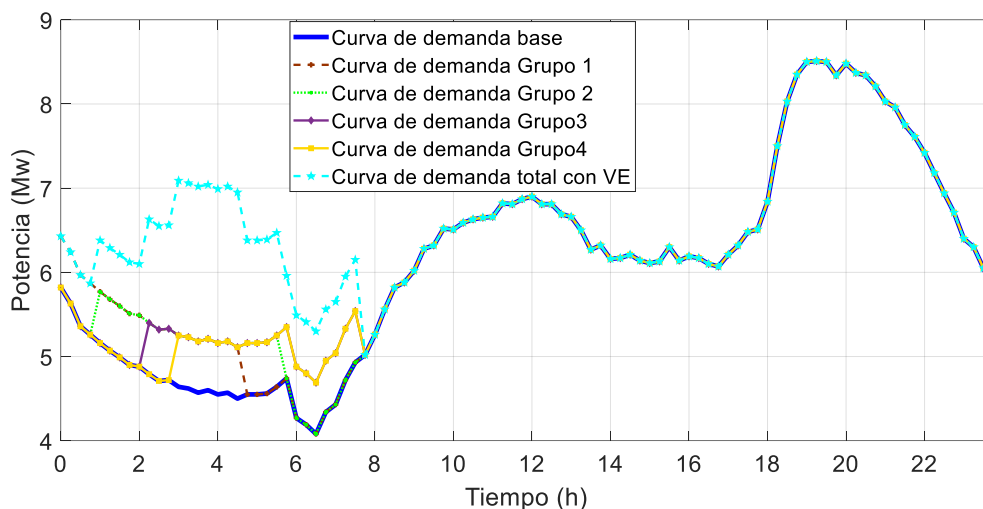


Figura 5. Curva de demanda con carga inteligente (Escenario 2)

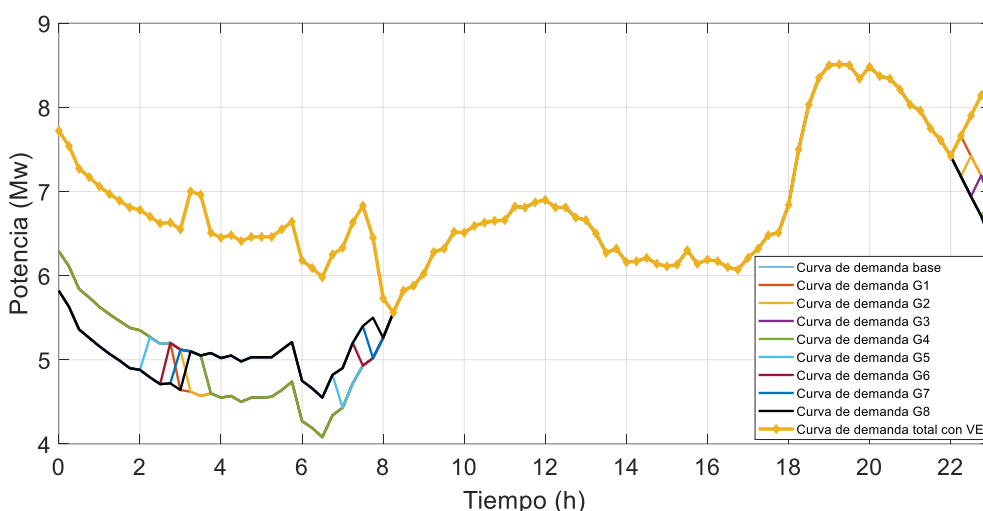


Figura 6. Curva de demanda con carga inteligente (Escenario 3)

Con la carga inteligente se aprecia que se puede conseguir el objetivo de tener una curva de demanda distribuida de mejor manera en el horario de demanda base, permitiendo reducir costos en la producción de energía eléctrica, evitando el arrancar generadores por periodos cortos de funcionamiento.

4. CONCLUSIONES

Con el ingreso del VE a la ciudad de Cuenca se ha analizado el impacto de la curva de carga en el sector residencial, donde las medidas tomadas por parte del sector gubernamental con el uso de un esquema tarifario ayudan a inducir al usuario realizar el proceso de carga en horarios con demanda baja con precios más económicos, sin embargo, se puede ver que de masificar el uso de los VE se requiere una

MASKANA

mayor planificación con el uso de carga inteligente que requiere equipos más costoso que incorporen comunicación con la distribuidora, la cual organiza y planifica el proceso de la carga a lo largo de la franja horaria más económica, obteniendo una distribución de energía a lo largo de este periodo lo que lleva consigo una mejor planificación en el arranque y para de generadores permitiendo una generación eficiente.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador por la beca de cuarto nivel.

El segundo autor desea agradecer el apoyo económico al proyecto Prometeo por parte de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador.

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y a la Red Ecuatoriana de Universidades para Investigación y Posgrados (REDU) por el apoyo en el proyecto "Más allá del petróleo: Un estudio de la relación entre la forma urbana y el transporte en dos ciudades del Ecuador".

REFERENCIAS

AeroVironment (2011) *ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION*.

ANDES (2016) *El cambio de la matriz energética y la rehabilitación de la red vial marcan un antes y un después en Ecuador*. Available at: <http://www.andes.info.ec/es/noticias/cambio-matriz-energetica-rehabilitacion-red-vial-marcan-antes-despues-ecuador.html> (Accessed: 28 June 2017).

ARCONEL (2015) *Resolución No. ARCONEL-038/15*. Available at: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/038.pdf>.

CENACE (2017) *INFORMACIÓN OPERATIVA MENSUAL*. Available at: <http://www.cenace.org.ec/docs/InformacionOperativa.htm> (Accessed: 1 June 2017).

Circuitor (2015) *Modos de carga (IEC-61851-1)*. Available at: <http://circuitor.com/es/formacion/vehiculo-electrico/modos-de-carga-iec-61851-1> (Accessed: 16 May 2017).

El Comercio (2014) *Régimen prepara proyecto para reemplazar calefones a gas*. Available at: <http://www.elcomercio.com/actualidad/plan-gobierno-reemplazo-calefones-gas.html> (Accessed: 28 June 2017).

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2012) *Informe de rendición de cuentas 2012*.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2014) *Ecuador cambia*. Available at:

<http://www.ecuadorcambia.com/> (Accessed: 28 June 2017).

Putrus, G. a. *et al.* (2009) 'Impact of electric vehicles on power distribution networks', *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 827–831. doi: 10.1109/VPPC.2009.5289760.

Red Eléctrica de España (2016) *Gestión de demanda*. Available at: <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/gestion-de-demanda> (Accessed: 14 June 2017).

Vélez Sánchez, J. G. (2017) *Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador*. Universidad de Cuenca. Available at: [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27353/1/TRABAJO DE TITULACION.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27353/1/TRABAJO_DE_TITULACION.pdf).