

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE
REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS
A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”**

**AUTOR:
BRYAN PATRICIO RODRÍGUEZ VALDIVIEZO**

**TUTOR:
LEONY ORTIZ MATOS**

Quito, Julio 2021

Bryan Patricio Rodríguez Valdiviezo.

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2021.

Ingeniería Eléctrica.

Breve reseña histórica e información de contacto



Bryan Patricio Rodríguez Valdiviezo (Y'1995) Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio “Técnico Sucre” de la ciudad de Quito. Obteniendo el título de técnico en “Instalaciones, Equipos y Máquinas Eléctricas”. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en un análisis dinámico comparativo de modos de regulación/carga en la inserción de sistemas VE-conectados a micro - redes híbridas en CA/CC. E-mail: brodriguezv1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Leony Ortiz Matos (Y'1982). Recibió el título de MSc. e Ingeniería en Automática por el Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella (ISPJAM) de la Universidad de Oriente, Cuba. Actualmente se encuentra estudiando para obtener su título de Doctor en Ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana-Colombia-Medellín, es miembro del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes (GIREI). Forma parte del equipo académico de la carrera de Ingeniería Eléctrica de Universidad Politécnica Salesiana Quito-Ecuador. Sus principales intereses de investigación Automatización y Control, Control robusto y Control Tolerante a Fallos, Micro-redes Eléctricas Inteligentes híbrida, CA/CC.

Todos los derechos reservados:

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

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO – ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Leony Ortiz Matos, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “*ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC*” realizado por Bryan Patricio Rodríguez Valdiviezo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Julio 2021



Leony Ortiz Matos
CI: 1754230389

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Bryan Patricio Rodríguez Valdiviezo, con documento de identificación N° 172398173-2, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: *“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Bryan Patricio Rodríguez Valdiviezo

Cédula: 172398173-2

Fecha: Julio del 2021

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Micro-redes híbridas en CA/CC	3
2.1	Modelado y simulación de micro-redes	3
3	Vehículos eléctricos	4
3.1	Modelamiento y simulación de vehículos eléctricos	4
3.2	Vehículos eléctricos conectados a micro-redes.....	6
3.3	Carga, regulación y control de vehículos eléctricos.....	6
4	Planteamiento del problema.....	9
4.1	Efectos producidos por modos de regulación/ carga.....	9
4.2	Esquemas de carga	9
5	Caso de estudio	10
5.1	Micro-red híbrida CC/CA	11
5.2	Vehículo eléctrico	11
6	Análisis de resultado	15
6.1	Primer caso.....	15
6.2	Segundo caso.....	22
7	Conclusiones	25
8	Trabajos futuros	26
9	Referencias.....	26
10	Matriz Estado del Arte.....	32
11	Resumen de indicadores	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de vehículos eléctricos conectados a una micro-red [Autor].	3
Figura 2. Circuito equivalente de un motor CC [Autor].	5
Figura 3. Interfaz del vehículo eléctrico [Autor].	6
Figura 4. Tipos de carga para vehículos eléctricos [Autor].	7
Figura 5. Algoritmo para carga/descarga en un vehículo eléctrico [Autor].	8
Figura 6. Estructura fundamental de estabilización de tensión [Autor].	8
Figura 7. Micro-red en estudio [Autor].	10
Figura 8. Diagrama unifilar de conexión del vehículo eléctrico [Autor].	11
Figura 9. Circuito de medición y conexión con la micro-red [Autor].	12
Figura 10. Diagrama de selección de modos de control [Autor].	12
Figura 11. Bloque de topologías de vehículos eléctricos y su conexión [Autor].	12
Figura 12. Diagrama de estado de carga del vehículo eléctrico [Autor].	13
Figura 13. Perfil interno del vehículo eléctrico [Autor].	13
Figura 14. Generación de corriente a la red (regulación) [Autor].	13
Figura 15. Control de carga mediante comparación de rangos [Autor].	14
Figura 16. Control para la regulación hacia la red [Autor].	14
Figura 17. Secuencia para la regulación de la red [Autor].	14
Figura 18. Control cruce por cero en regulación hacia la red [Autor].	14
Figura 19. Control ante errores en la regulación hacia la red [Autor].	15
Figura 20. Generación de corriente a la red (carga) [Autor].	15
Figura 21. Control cruce por cero en carga desde la red [Autor].	15
Figura 22. Control ante errores durante la carga desde la red [Autor].	15
Figura 23. Perfil de voltaje en máxima demanda (pu) [Autor].	16
Figura 24. Perfil de voltaje en mínima demanda (pu) [Autor].	16
Figura 25. Potencia activa en máxima demanda [Autor].	17
Figura 26. Potencia activa en mínima demanda [Autor].	17
Figura 27. Potencia reactiva en máxima demanda [Autor].	18
Figura 28. Potencia reactiva en mínima demanda [Autor].	18
Figura 29. Pérdidas de potencia en máxima demanda [Autor].	19
Figura 30. Pérdidas de potencia en mínima demanda [Autor].	19
Figura 31. Factor de potencia por bus en máxima demanda [Autor].	20
Figura 32. Factor de potencia por bus en mínima demanda [Autor].	20
Figura 33. Índice de distorsión armónica por bus en máxima demanda [Autor].	21
Figura 34. Índice de distorsión armónica por bus en mínima demanda [Autor].	21
Figura 35. Estado lógico de los vehículos eléctricos [Autor].	22
Figura 36. Curvas (regulación/carga) del bloque vehículos eléctricos [Autor].	23
Figura 37. Voltaje rms del bus vehículos eléctricos [Autor].	23
Figura 38. Corriente del bus vehículos eléctricos [Autor].	23
Figura 39. Curva de carga total y corriente de los vehículos eléctricos [Autor].	24
Figura 40. Potencia activa del bus de vehículos eléctricos [Autor].	24
Figura 41. Potencia reactiva del bus de vehículos eléctricos [Autor].	24
Figura 42. Índice de distorsión armónica del bus vehículos eléctricos [Autor].	25
Figura 43. Resumen e indicador de la temática [Autor].	36
Figura 44. Indicador de formulación del problema [Autor].	36
Figura 45. Indicador de solución [Autor].	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de carga para vehículos eléctricos [58].....	7
Tabla 2: Modos de operación para el análisis [Autor].....	15
Tabla 3: Potencia nominal de los equipos en análisis [Autor].....	15
Tabla 4: Voltajes promedio por bus en pu [Autor].....	16
Tabla 5: Perfil de comportamiento de cada vehículo eléctrico [Autor].....	22

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”

Bryan Rodríguez Valdiviezo¹, Leony Ortiz Matos²

Resumen

La presente investigación desarrolla un estudio dinámico comparativo entre modos de regulación/carga de vehículos eléctricos (VE) conectados a micro-redes (MR) híbridas CA/CC. El estudio aborda el uso de cinco perfiles de vehículos eléctricos con capacidad de modos de regulación y carga. Se implementó un perfil de conexión y regulación típico para cada vehículo y se evaluó el comportamiento dinámico reflejado para variables como: voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia e índice de distorsión armónica, durante un día escalado a veinte y cuatro segundos de simulación. El presente caso de estudio usa un modelo de micro-red híbrida basado en el sistema de prueba IEEE 14 buses. El trabajo se desarrolló basado en un enfoque de simulación numérica en Matlab/Simulink, las simulaciones realizadas permitieron evaluar el comportamiento de los buses en la micro-red y el bus de acople para los vehículos eléctricos, durante los puntos de máxima y mínima demanda.

Palabras clave: Micro-red, Vehículos Eléctricos, Sistema de Control, Regulación, Carga.

Abstract

This research involves the development of a comparative dynamic study between regulation/charging modes of electric vehicles (EVs) connected to hybrid AC/DC microgrids (MG). The study addresses the use of five electric vehicle profiles with regulation and charging mode capabilities. A typical connection and regulation profile was implemented for each vehicle and dynamic behavior was evaluated for variables such as: voltage, current, active power, reactive power, power factor and harmonic distortion index, during the lapse of one day scaled to twenty-four seconds of simulation. The base case study uses a hybrid micro-grid model based on the IEEE 14-busbar test system. The study was carried out based on a numerical simulation approach using Matlab/Simulink. The simulations performed allowed for an evaluation of the behavior of the busbars in the micro-grid and the coupling busbar for electric vehicles, during the peak and minimum demand points.

Keywords: Microgrid, Electric Vehicles, Control System, Regulation Mode, Charge Mode.

¹ Estudiante egresado candidato al grado de Ingeniero Eléctrico – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito.

² Ingeniero Eléctrico, Estudiante de Doctorado – Universidad Pontificia Bolivariana - Colombia-Medellín - GIRED – Docente - Universidad Politécnica Salesiana - sede Quito.

1 Introducción

Las Micro-redes (MRs) en la actualidad han logrado grandes avances dentro del campo de acción del Smart Grid o las redes eléctricas inteligentes, siendo una gran alternativa de estudio y modelamiento.

En simulación son muy versátiles ya que se pueden adecuar a modelos reales, con distintos tipos de distribución o topología [1], [2].

Las MR pueden ser autónomas o conectadas, esto dependerá mucho del entorno y la distribución geográfica en la que se encuentren [1], [3], [4] y sus modos de operación están dados específicamente por su aplicación, partiendo desde una MR rural con un nivel de robustez lo suficientemente justo para satisfacer su demanda local [1], [2], [5], [6], así como una MR urbana en la cual su nivel de robustez debe ser idóneo para tomar acciones inteligentes de conexión o aislamiento. Considerando en ambos casos que la MR puede tener un comportamiento de carga o de ser el caso, un comportamiento de generador [7], mismo que aportará a la red local, cuando su sistema de control lo considere propicio [4], [8]–[13]. Dentro del ambiente de una MR, se ha vuelto habitual la conexión de vehículos eléctricos (VE) [14], [15]. Éstas herramientas tecnológicas de movilidad actualmente tienen un gran impacto, ya que cada vez es mayor la acogida en el mercado automovilístico, gracias a que cada año la tecnología detrás de los mismos se torna mucho más madura [16], [17]. Brindando grandes cifras de autonomía de equipamiento y seguridad, lo que a la final significa una gran atracción por parte de los consumidores ya que con su utilización se pretende disminuir los índices de contaminación causados por la emisión de gases contaminantes [18], [19]. Debido a que en la actualidad la mayoría de los medios de transporte utilizan

combustibles fósiles en su funcionamiento y además de esto, su medio de consumo no es lo suficientemente eficiente [20].

En comparación los VE poseen una gran acogida, ya que dependiendo de la tecnología empleada en su funcionamiento son: eficientes, no contaminantes y pueden llegar a ser regenerativos [21]. Dando con esto pautas de mayor eficiencia energética, y se puede mencionar que en países en los cuales existen tasas tolerantes por el pago de la energía eléctrica su utilización se torna muy idónea [22]. Logrando así reemplazar fácilmente la utilización de recursos no renovables como combustible y brindando beneficios al ambiente, ayudando de tal manera a la generación local de energía [23].

Además de esto los VE poseen características muy interesantes, ya que de manera bidireccional se puede utilizar sus residuos energéticos acumulados en sus baterías, inyectando de vuelta esa potencia en la MR, o simplemente aportar a la red local [24], [25], convirtiéndose así en un apartado más de generación.

La interconexión entre una MR y los VE en la actualidad forman un pilar fundamental, ya que se puede hablar de una interacción o intercambio de energía eficiente, desde el punto de carga hasta el punto de inyección de la potencia restante por parte del VE [12], [23]–[26].

Sin embargo se consideran varios parámetros eléctricos importantes, así cómo saber si la MR como caso de estudio no se ve afectada en algún punto por la conexión del VE [3], [27].

Es necesario analizar los perfiles típicos cómo: voltaje, frecuencia, potencia (activa y reactiva), factor de distorsión armónica THD y factor de desbalance de voltaje (FDV), estos parámetros permiten identificar las condiciones iniciales de la MR y el comportamiento

final que tendrá una vez que se realice el enlace con el VE [28].

2 Micro-redes híbridas en CA/CC

Una MR es el conjunto estratégico e inteligente de sistemas tales como: control, sensado y comunicación [4], [29], mismos que en conjunto brindan una mayor confiabilidad, debido a que una MR con dichos sistemas es lo suficientemente inteligente para saber asumir su propia demanda, y no verse afectada por perturbaciones externas de la red local o fallas tolerables en la misma [4], [29]–[35]. Además de esto permiten evitar la presencia de pérdidas por transmisión y distribución, que sí son comunes en una red convencional. Las MR pueden ser del tipo CA o CC, y a su vez estar o no enlazadas a la red convencional de medio o bajo voltaje [3], [36], [37].

La naturaleza de una MR parte de la versatilidad de sus dinámicas y modelos [38]–[40], para adaptarse a las condiciones del entorno eléctrico en el que se encuentre; modificando así sus funciones para adaptarse a la necesidad de la oferta y demanda propia. Considerando también los parámetros

de una red de generación externa más robusta [3].

2.1 Modelado y simulación de micro-redes

Para realizar el modelamiento de una MR se debe tener en claro la siguiente premisa: la MR es el conjunto de cargas interconectadas y de recursos energéticos con sistemas propios de almacenamiento de energía, acompañados de un sistema de control [3], [39], [40]; además de todo esto las MRs tienen la capacidad de conectarse o no a la red local, permitiéndole de esta manera trabajar como una red tipo isla. Para realizar el modelamiento de cada sección, se debe tomar en consideración que tipo de recurso energético (solar, eólico, térmico, etc.) va a estar implementado dentro de la MR. Estos elementos a su vez deben ser modelados mediante ecuaciones como en [39]–[41].

También es fundamental considerar dentro de estos parámetros el alojamiento de tecnologías de tipo descentralizadas y de dispersión, ya que durante las primeras etapas del alojamiento, se puede realizar la integración de nuevas unidades de

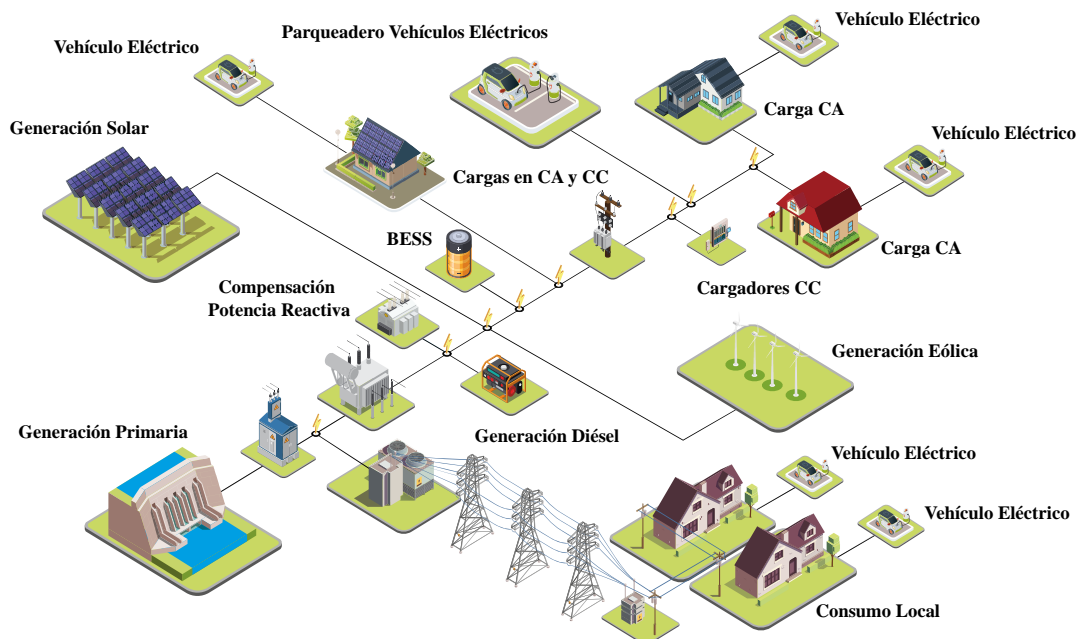


Figura 1. Esquema de vehículos eléctricos conectados a una micro-red [Autor].

generación, que aún no comparten la tecnología al igual que el resto de componentes [33], [42]–[44].

Posteriormente, una vez alcanzada la descentralización mediante el uso de comunicación interna dentro de la MR, se puede realizar de manera adecuada el intercambio de potencia entre una red y otra con un flujo limitado. Mejorando así la confiabilidad local y obteniendo menores pérdidas en las magnitudes eléctricas de la MR [4].

Se debe examinar si el modelamiento parte de un modelo radial, en el mismo que se considera que los controles de generación se encuentran a cargo de una regulación central, esto beneficia a que el traspaso de información se realice en menor tiempo y a su vez sea continuo [10], [11], [13], [29], [45].

3 Vehículos eléctricos

Los principales parámetros a ser considerados en un VE son: el tiempo de recarga de combustible y la autonomía total, siempre y cuando se requiera compararlo frente a un vehículo de combustión interna convencional [46].

Por esta razón en los últimos años los VE se vieron por debajo de los vehículos tradicionales, ya que su tecnología de almacenamiento de energía no era lo suficientemente sofisticada para brindar una buena autonomía para que al menos se comparen con el vehículo convencional más básico.

Gracias a las mayores densidades energéticas y a la innovación actual, se ha conseguido mejorar el almacenamiento con la utilización de baterías de iones de litio, mismas que ofrecen grandes autonomías sin embargo aún existen tiempos de recarga muy prolongados, por tal motivo es que todavía existen restricciones en cuanto a recorridos de larga distancia o viajes fuera de las rutas habituales. Claro que en la actualidad existen métodos de recarga parciales, con un tiempo

estimado de treinta minutos, pero es muy notable que al intentar recargar en menor tiempo y de manera muy repetitiva las baterías, su línea de tiempo útil se ve afectada [47].

Si en la actualidad los VE eliminan el uso de baterías, sería imposible pensar en utilizar un freno regenerativo, y de esta manera obtener un ahorro energético. Considerando esta premisa es fácil otorgarles características híbridas a los vehículos, arriesgando así la naturaleza eléctrica propia otorgada a los VE [28], [46], [48], [49].

3.1 Modelamiento y simulación de vehículos eléctricos

La manera más adecuada de integrar las características en modelos de simulación, puede basarse en el conjunto de softwares que a su vez se encuentran divididos por etapas de desarrollo [50]. La complejidad de lo que se requiera representar se verá en la utilización de los recursos informáticos, así como su uso específico para el modelado de las características del VE [49].

La arquitectura de modelado eléctrico puede ser considerada como genérica, ya que permite su aprovechamiento para simulaciones en tiempo real y no real, enfocándose para vehículos eléctricos con almacenamiento de baterías.

Este tipo de modelado permite obtener parámetros de compatibilidad funcional e intercambio entre cada componente de la simulación, ya que su objetivo es la reducción del esfuerzo y el mejoramiento de las actividades de validación mediante simulaciones [50].

El modelamiento es realizado mediante la parametrización de datos cotidianos del vehículo, tales como: los valores de carga y descarga de la batería, el modo de manejo del VE, la distribución geométrica del VE, diámetro de sus neumáticos, etc. Para lograr una

optimización de la modelación de VE, y de esta manera abarcar nuevas líneas de desarrollo, se podría empezar por el análisis de parámetros un poco más específicos como son: el rendimiento del motor eléctrico, parámetros de distancia recorrida (autonomía), sistema de carreteras (movilidad) y redes autónomas inteligentes tanto rurales como urbanas [51].

3.1.1 Modelado matemático

Para realizar la configuración del motor, se considera un modelo clásico de corriente continua (CC) [49].

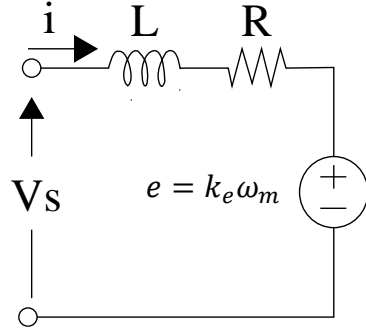


Figura 2. Circuito equivalente de un motor CC [Autor].

Este modelo puede ser descrito por las siguientes ecuaciones:

$$V_s = R * i + L \left(\frac{di}{dt} \right) + e \quad (1)$$

Donde, \$V_s\$ es el voltaje de la fuente, \$i\$ es la corriente de entrada del motor, \$R\$ es la resistencia terminal, \$L \left(\frac{di}{dt} \right)\$ la inductancia del rotor y \$e\$ es la fuerza contra electromotriz inducida.

$$T_e = k_f * \omega_m + J_m * \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \quad (2)$$

Donde, \$T_e\$ es el torque eléctrico, \$k_f\$ es el par de fricción, \$\omega_m\$ es la aceleración angular del motor, \$J_m * \frac{d\omega_m}{dt}\$ es la inercia del rotor y \$T_L\$ es el par de carga visto desde el eje del motor.

La fuerza contra electromotriz inducida (\$e\$) y el torque eléctrico (\$T_e\$) se expresan mediante:

$$e[V] = k_e[V * s] * \omega_m[s^{-1}] \quad (3)$$

$$T_e[Nm] = k_e \left[\frac{Nm}{A} \right] * i[A] \quad (4)$$

Donde, la fuerza contra electromotriz inducida \$e\$ esta en función de Laplace \$s\$ y el torque eléctrico \$T_e\$ en función de la fuerza de par y la corriente.

Después de operar y aplicar la transformada de Laplace:

$$I(s) = \frac{V_s(s) - k_e * \omega_m(s)}{R + L * s} \quad (5)$$

Donde, \$I(s)\$ es la corriente de entrada del motor en Laplace, \$V_s(s)\$ es el voltaje de la fuente en Laplace, \$k_e\$ es el par del motor, \$\omega_m(s)\$ es la aceleración angular en Laplace, \$R\$ es la resistencia terminal y \$L * s\$ la inductancia del rotor en Laplace.

$$\omega_m(s) = \frac{k_e * I(s) - T_L(s)}{k_f + J_m * s} \quad (6)$$

Donde, \$T_L(s)\$ es el par de carga visto desde el eje del motor en Laplace, \$k_f\$ es el par de fricción y \$J_m * s\$ es la inercia del rotor en Laplace.

Con estas ecuaciones se puede llevar a cabo el modelado del control [49], suponiendo que no existen pérdidas, se utiliza un controlador de motor simple para mantener la potencia de entrada igual a la potencia de salida [52].

Lado de alto voltaje (entrada):

$$V_H = K * V_L \quad (7)$$

Lado de alta corriente (entrada):

$$I_H = \frac{1}{K} * I_L \quad (8)$$

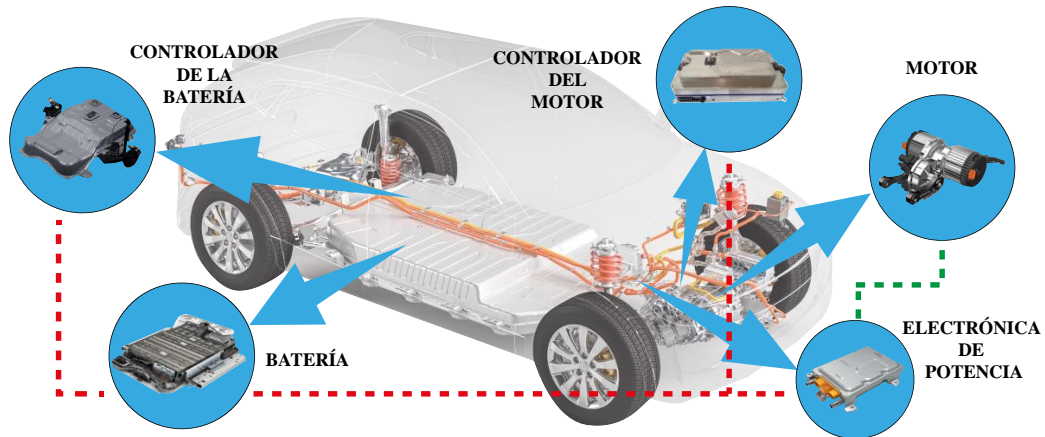


Figura 3. Interfaz del vehículo eléctrico [Autor].

Donde, V_H es el lado de alto voltaje, V_L es el lado de bajo voltaje, I_H es el lado del alta corriente, I_L es el lado de baja corriente y K es el valor de ganancia del controlador [52].

Para efectuar el modelado de la batería, se considera una fuente de voltaje (E_B), con valores de pérdida interna de la resistencia de la batería (R_A).

$$V_L = I_L * R_A + E_B \quad (9)$$

El voltaje interno requerido por la batería se calcula utilizando la corriente y el voltaje del controlador del motor [53]. La diferencia entre el voltaje $E_{B(cal)}$ calculado y el voltaje $E_{B(act)}$ real representa el error, el mismo que es representado por la siguiente fórmula [52].

$$E_{err} = E_{B(act)} - E_{B(cal)} \quad (10)$$

Con este valor del error se ajustará la constante de ganancia del controlador [52], [53].

3.2 Vehículos eléctricos conectados a micro-redes

Un VE dentro del entorno de una MR, generalmente es considerado como un electrodoméstico inteligente [54], con una interfaz armónicamente funcional así como lo demuestra la figura 3 [52]; ya que dependiendo del tipo de

conexión y de las adecuaciones realizadas, el mismo puede aportar al bajo consumo de potencia en la MR y de esta manera reducir los valores económicos de la generación interna directamente [55].

Los puntos de carga e interfaz que vaya a poseer la MR para con los VE, además de ser estratégicos en su ubicación, deben ser adecuados para cumplir los parámetros de carga de las baterías sin realizar daños futuros a las mismas y tener una visión posterior de posibles puntos de carga [56]. Estos puntos de carga únicamente serán usados para realizar la carga, y permitirán el intercambio bidireccional de potencia siempre y cuando las MR sean mucho más robustas y sofisticadas [56], [57].

Los VE conectados a una micro-red provocan en el momento de su carga, caídas de voltaje que principalmente afectan al tendido de la MR, si la misma no estuviese dimensionada para soportar dicha conexión, de igual manera los transformadores de bajo voltaje sufren niveles de sobrecarga con 20% sobre su nivel nominal como en [16].

3.3 Carga, regulación y control de vehículos eléctricos

Un VE como cualquier otro aparato de origen eléctrico necesita para su funcionamiento tener infraestructura

que le permita abastecerse de energía, regular los parámetros de carga, y controlar que los límites estén de acuerdo al dimensionamiento. El principal reto actual, es crear infraestructura de recarga estratégica, accesible y funcional para los usuarios [58].

3.3.1 Carga

Uno de los principales elementos para la carga de VE, es el tipo de arquitectura que va a ser utilizada para el sistema de carga y comunicación entre la MR y el VE, ya que dependiendo del tipo de robustez que se vaya a desarrollar, la gestión de operación de carga y regulación del VE se verán directamente influenciados, así como la gestión del sistema de almacenamiento (baterías) del mismo.

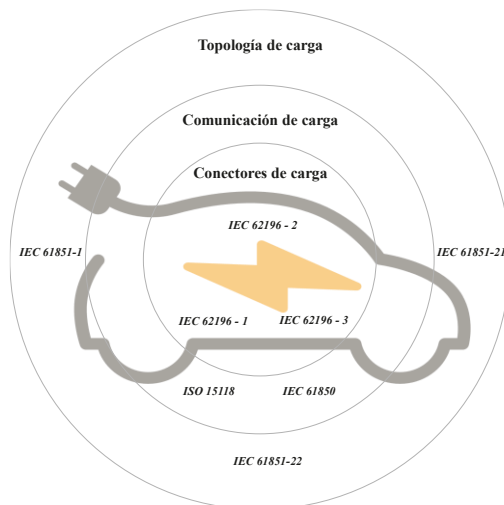


Figura 4. Tipos de carga para vehículos eléctricos [Autor].

El desarrollo de tecnologías que involucren a la electrónica de potencia,

permiten un mayor impacto sobre las operaciones de carga, dando características de menor tiempo de carga y aportando una mayor sostenibilidad [56], [59], [60]. Considerando las normativas: IEC 61851-1, IEC 61851-21 y la IEC 61851-22; que regulan la robustez de la carga para los VE cómo se indica en la figura 4 [60], se puede clasificar los tipos de carga como en la tabla 1 [58].

El proceso de carga puede ser descrito con la siguiente fórmula [59]:

$$E_i^{td} = E_i^{in} + \sum_{ta_i}^{\tilde{t}d_i} \left(P_{i,t}^{g2v} * n_i - \frac{P_{i,t}^{g2v}}{n_i} \right) \Delta t \quad (11)$$

Donde, E_i^{td} es un estado de carga actual de un VE_i , E_i^{in} es el estado de carga inicial, $\tilde{t}d_i, ta_i$ son los tiempos de llegada del VE y $P_{i,t}^{g2v}$ son las constantes de carga y descarga del VE que varían en intervalos de tiempo Δt .

3.3.2 Regulación y control

La regulación de potencia activa y reactiva, y el control en el ámbito automovilístico sugieren mantener un equilibrio entre la energía aprovechable (activa) y la energía que se pierde en procesos de conversión (reactiva); por ello es muy importante considerar los parámetros de regulación, para evitar costos innecesarios y disminuir el margen de diferencia entre el consumo energético.

Tabla 1: Tipos de carga para vehículos eléctricos [58].

Tipo de carga	Características	Potencia	Voltaje/ Corriente	Tipo	Tiempo de carga
Carga lenta	La más estandarizada, aplicaciones domésticas	3,4 – 5 kW	230 V, 16 A monofásica	CA	6 – 8 h
Carga semi-rápida	Adoptada por vehículos específicos	22 kW	400 V, 66 A	CA	3 – 4 h
Carga rápida	En etapa de desarrollo	80 kW	400 V, 200 A	CC	15 – 30 min

La regulación de la carga y descarga de VE, mediante la utilización de algoritmos de regulación y control genéricos multiobjetivos como en [61], permiten monitorizar inteligentemente las acciones de enlace entre la MR y los VE, ya que dependiendo del algoritmo utilizado y el enfoque que se le otorgue al mismo, sus acciones de regulación se verán direccionadas a un parámetro específico, como la regulación de potencia (activa y reactiva) bidireccional en el caso de [61]; utilizando algoritmos multiobjetivos con enfoque de suma ponderada.

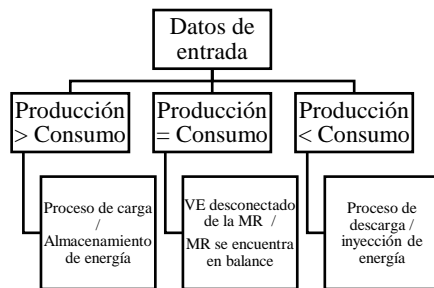


Figura 5. Algoritmo para carga/descarga en un vehículo eléctrico [Autor].

En este caso [61], el autor claramente expone que gracias a la aplicación de algoritmos de regulación y control en flujos de potencia bidireccional, se puede reducir de manera significativa el desperdicio energético considerando VE que poseen baterías con un nivel de descarga superior al 80%, evidentemente todo esto irá de la mano con el nivel de carga que posea la MR.

Para el control se puede proponer una acción deslizante para la regulación y estabilización de los niveles de voltaje como en la figura 6 según [62].

Todo esto en los puntos de acceso para la carga y descarga del VE, ya que mantienen los parámetros de voltaje dentro de los rangos mediante el control directo y conjuntamente con una regulación adecuada brindan beneficios cómo se muestra en [62], [63].

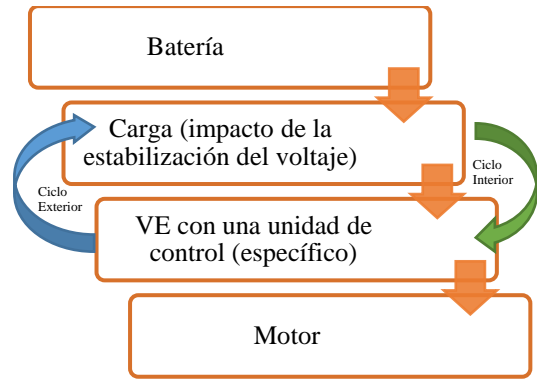


Figura 6. Estructura fundamental de estabilización de tensión [Autor].

En el caso del control de motores eléctricos, se puede decir que dependen directamente de la corriente que se aplique en sus devanados, la cantidad de fuerza mecánica o torque $\tau_m(t)$ que posean en un instante de tiempo.

Este tipo de control ayuda a mantener los niveles de corriente adecuados para que el o los motores en el VE no pierdan torque y velocidad directamente (v).

Uno de los controles más utilizados es el proporcional integral (PI), que para este caso en específico a diferencia del clásico se basa en eventos para la toma de decisiones; como por ejemplo el sobrepasar valores umbrales del error para la acción del mismo [53], [61].

Para un control por eventos se definen las siguientes ecuaciones:

- Función de evento $\xi : \chi \rightarrow R$ indica: ($\xi \leq 0$) o no (cuando $\xi > 0$) recalcula y actualiza la señal de control [53].
- Función de control u : acción estática basada en eventos. Cuando $u : \chi \rightarrow U$. El tiempo ($u : \chi \times R+ \rightarrow U$) o el índice de muestreo ($u : \chi \times N \rightarrow U$) se puede adicionar para construir un control dinámico basado en eventos [53].

Entonces de esta manera se aplica el ya mencionado control PI:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i z(t) \quad (12)$$

$$\dot{z}(t) = e(t) \quad (13)$$

Donde, $e(t)$ es el error de la señal de referencia en cada instante de tiempo y K_p y $K_i > 0$ son los parámetros de sintonización del sistema [53].

4 Planteamiento del problema

En esta sección se va a describir el problema a solucionar, identificando los parámetros principales entre modos de regulación/carga para la conexión de VE con MR híbridas CC/CA.

4.1 Efectos producidos por modos de regulación/ carga

Los autos eléctricos en la actualidad han tenido un gran despunte, ya que con el transcurso del tiempo las tecnologías asociadas al almacenamiento de energía (baterías) y el control de los VE se han tornado más maduras y con mejores características. No obstante, aún existen inconvenientes en la conexión de VE a la MR, ya que para lograr una conexión correcta se debe parametrizar de manera adecuada todos los perfiles eléctricos como: Voltaje (V), Frecuencia (f), Potencia activa (P), Potencia reactiva (Q), THD, Factor de desbalance de voltaje (FDV), y así mantener un rango óptimo.

De esta manera se puede lograr eliminar cualquier efecto no deseado en la MR y conseguir un enlace exitoso [64], [65].

Para lograr un modelado correcto y lo más cercano posible a la realidad, se debe considerar aparte de los parámetros eléctricos de la red asociada, parámetros cómo [65]:

- El número de vehículos en modo de carga.
- Los tipos de cargador (velocidad y capacidad de carga).
- El estado de carga (SOC).
- El tiempo de carga.
- La duración de los modos de carga.

De esta manera se asegura que el comportamiento del VE sea lo menos incierto y a su vez se tenga una coordinación inteligente con la MR [65].

4.2 Esquemas de carga

En esta sección se tratará de explicar los diferentes tipos de carga existentes para los VE, así como también explicar cada una de sus expresiones matemáticas y las diferencias entre cada tipo de carga.

4.2.1 Carga no coordinada

Este modelo de carga, se considera que un VE se conectará en cualquier instante del día, debido a que se trata de un patrón normal aleatorio de conexión. Por ende, se trata de una carga aleatoria normal, el rango de tiempo de conexión va desde las 6 am- 6 pm. De esta manera se considera la representación mediante una función de probabilidad distribuida con dominio entre el rango ya mencionado [65].

$$f(t_{inicio}) = \frac{1}{C_1 - C_2} \quad (14)$$

$$\text{Restricción: } C_1 \leq t_{inicio} \leq C_2$$

Donde, $f(t_{inicio})$ es la función de probabilidad distribuida, t_{inicio} es el tiempo inicial de carga, C_1 es primer caso de carga y C_2 es el segundo caso de carga.

4.2.2 Carga coordinada

En este modelo de carga, se considera que un VE se conectará en los valles más bajos de la demanda diaria de la MR, para que de esta manera se evite consumir energía más cara durante las horas pico. Y por consiguiente se obtendrían ahorros económicos al propietario, en este caso se podrá

realizar la conexión para la carga después de las 9 pm.

$$f(t_{inicio}) = \frac{1}{C_1 - C_2} \quad (15)$$

Restricción: $C_1 \leq t_{inicio} \leq C_2$

Donde, $f(t_{inicio})$ es la función de probabilidad distribuida, t_{inicio} es el tiempo inicial de carga, C_1 es primer caso de carga y C_2 es el segundo caso de carga.

4.2.3 Carga inteligente

En este modelo de carga las acciones son las más convenientes para el estado de horas de precio más bajo de la electricidad, ya que la carga se realiza de manera inteligente; obteniendo así mayores beneficios y ahorros. Para describir lo antes mencionado es necesario apoyarse en de una función de densidad de probabilidad normal:

$$f(t_{inicio}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t_{inicio}-\mu}{\sigma}\right)^2\right)} \quad (16)$$

Donde, $f(t_{inicio})$ es la función de probabilidad distribuida, σ y μ son la varianza y valor medio de la función de

probabilidad normal de carga inteligente [65].

Al conectar el vehículo a la toma de carga e iniciar el proceso, el SOC de la batería se puede calcular dependiendo de la distancia recorrida. Esto también se representa con una función de densidad de probabilidad logarítmica normal [65].

$$f(m) = \frac{1}{m\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-(\ln(m)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}; m > 0 \quad (17)$$

Donde, $f(m)$ es la función de distancia recorrida por el VE, m es la distancia, σ y μ son la varianza y valor medio de la función de probabilidad normal de carga inteligente.[65].

5 Caso de estudio

En esta sección se describirán los dos modelos utilizados como caso de estudio, haciendo énfasis en su estructura, así como en las características de cada uno.

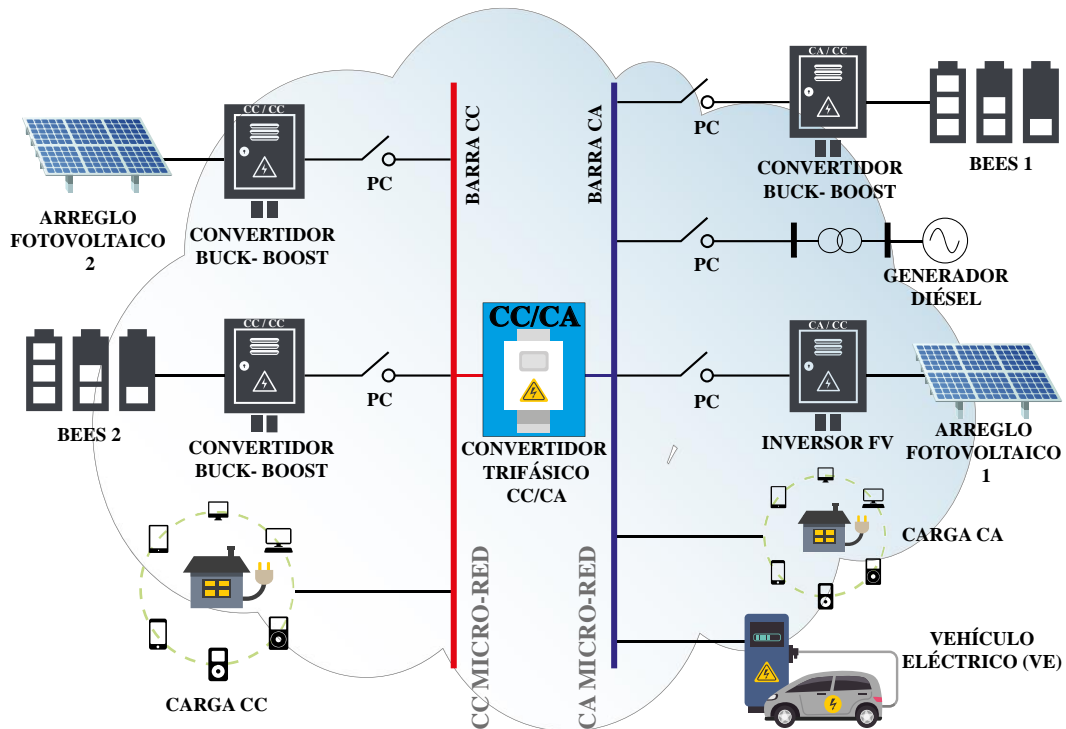


Figura 7. Micro-red en estudio [Autor].

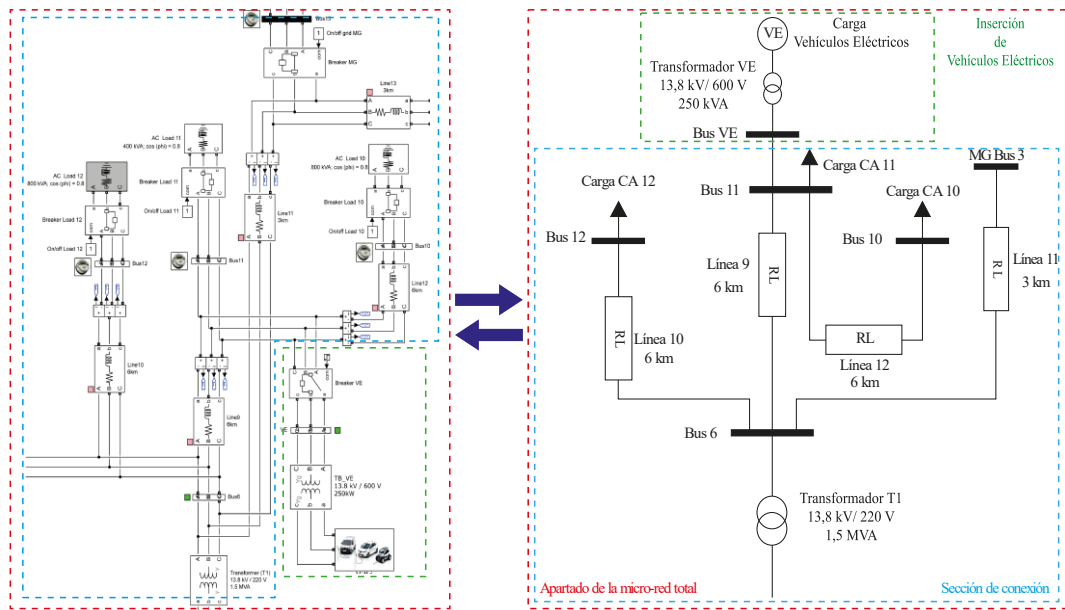


Figura 8. Diagrama unifilar de conexión del vehículo eléctrico [Autor].

5.1 Micro-red híbrida CC/CA

Los autores en [3], [66] proponen un caso de estudio dinámico para una MR híbrida en CC/CA, misma que se encuentra compuesta por: un generador diésel, dos sistemas de almacenamiento de baterías, dos sistemas fotovoltaicos (PV) y varias cargas de tipo lineal y no lineal. Además de esto la MR se encuentra formada por dos tipos de voltajes de distribución: 13,8 kV y 220V, además de una zona de voltaje continuo (CC) que opera a 300 V y 60 Hz. En la zona de CC se evidencia que está compuesta por un sistema BESS y un conjunto de paneles solares de 1750 unidades con una potencia nominal c/u de $725 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ expuestos a $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ con una temperatura de 25 °C. El conjunto adicional de paneles solares está compuesto por 42 unidades con una potencia nominal c/u de 10,5 kW [3], [66]. El sistema BESS está conformado por una batería ión-litio de 120 V(CC), el sistema BESS que se encuentra del lado de bajo voltaje en CA, está compuesto por tres baterías de hidruro de níquel y metal que operan a 650 V (CC). Además de esto se observa que los sistemas de baterías se encuentran en

una conexión en paralelo directamente hacia un inversor con una topología en cascada, la primera etapa del BESS está conectada por medio de un sistema boost-buck bidireccional, por otro lado, el sistema fotovoltaico está conectado mediante un convertidor de tipo boost. Finalmente, el sistema de CC se interconecta con el sistema de CA por medio de dos convertidores bidireccionales conectados en paralelo con características de acción tanto de rectificadores como inversores, según requiera la MR como lo expresa la figura 7 [3], [27], [66].

5.2 Vehículo eléctrico

El autor [67] propone un modelo de VE de tipología V2G, que tiene dos diferentes funciones, realiza el control de carga de las baterías conectadas a cada VE y utiliza la energía disponible para regular la red cuando ocurre algún evento durante un determinado tiempo. La estrategia de regulación implementada para los perfiles de los autos usa como realimentación la variable de frecuencia. El bloque del VE implementa 5 tipos de perfiles de usuarios de automóviles, para este caso de investigación se realizan el desarrollo de uno de estos modelos,

posteriormente se implementará los diferentes perfiles para analizar cuál será su efecto al conectarlos a la MR.

El autor en [67], propone para cada topología de VE un bloque general parametrizado con las conexiones a las

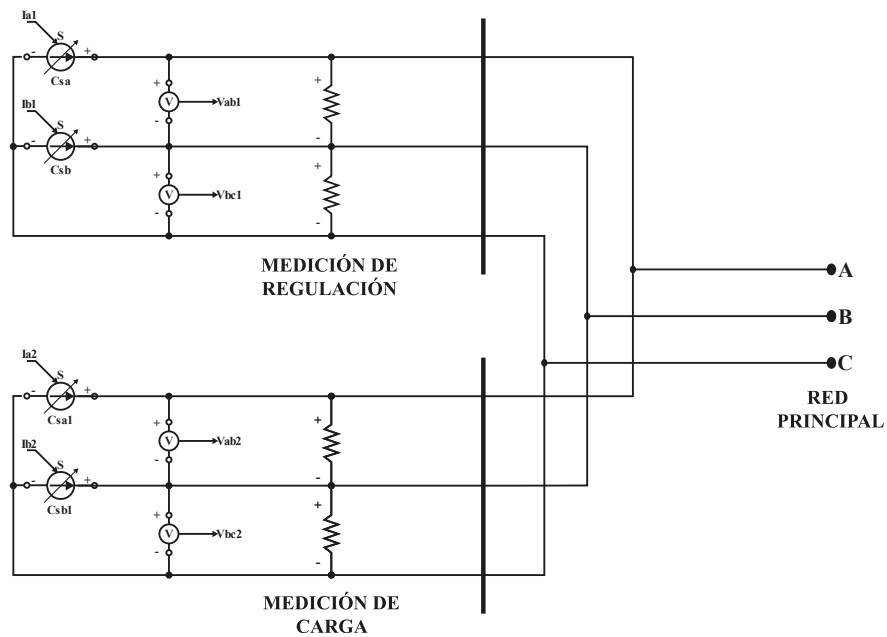


Figura 9. Circuito de medición y conexión con la micro-red [Autor].

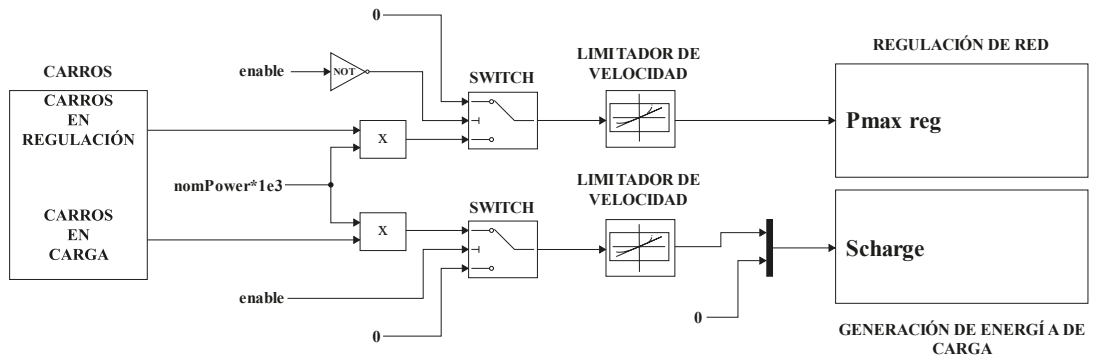


Figura 10. Diagrama de selección de modos de control [Autor].

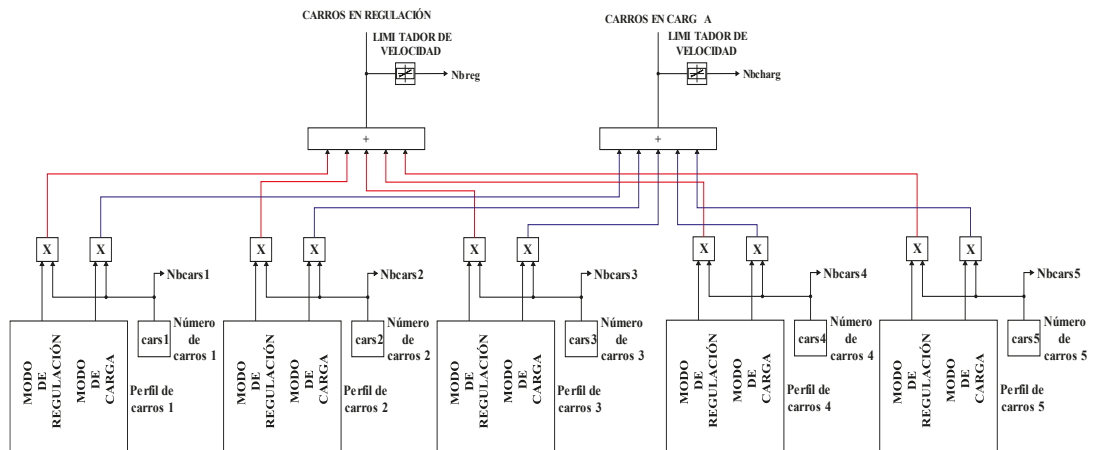


Figura 11. Bloque de topologías de vehículos eléctricos y su conexión [Autor].

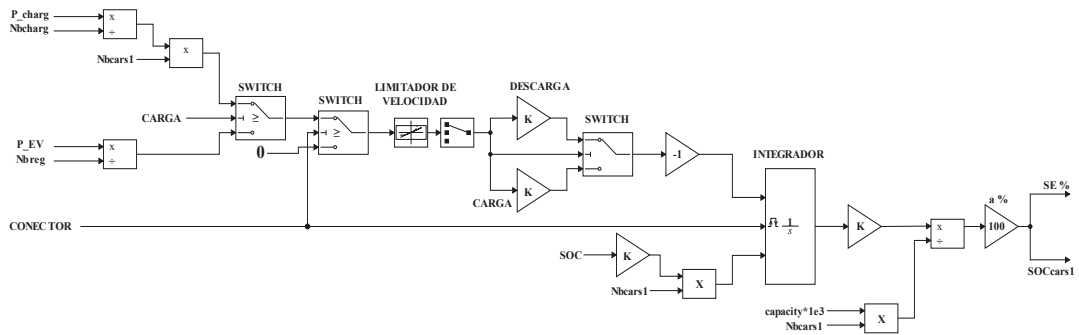


Figura 12. Diagrama de estado de carga del vehículo eléctrico [Autor].

líneas. Después de ser desglosado internamente se observa que la conexión se divide en dos buses (mediciones de regulación y mediciones de carga). Como se puede observar en la figura 9, adicionalmente se encuentran conectados los elementos de medición

objeto del presente estudio; se observan las diferentes topologías, así como también la conexión con los modos de regulación y carga descritos anteriormente.

Se evidencia la división igualitaria de cada uno de estos bloques para cada

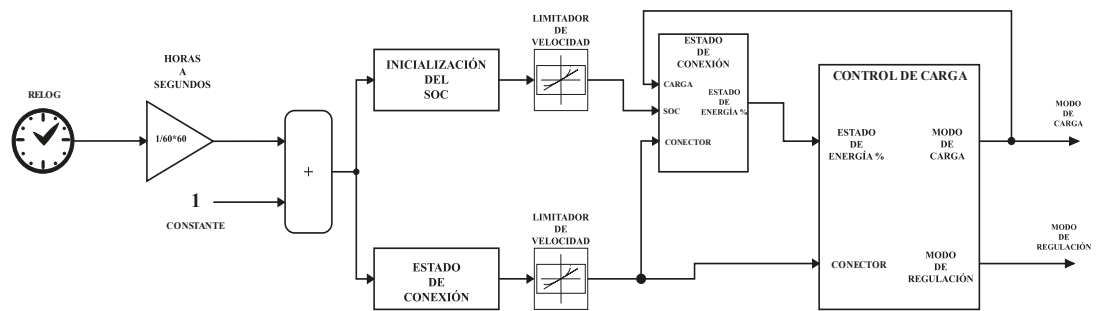


Figura 13. Perfil interno del vehículo eléctrico [Autor].

para la extracción de los valores de voltaje y corriente (V, I), que se utilizarán como parámetros de los siguientes bloques. En la figura 10 se encuentra el diagrama de bloques que expresan la selección de modos de control, además se muestran los dos modos de regulación y generación de energía de carga. Si se profundiza en el bloque principal de los VE, que es el

modo como lo expresa la figura 10.

En la figura 11 se visualiza el bloque general del modelado de los VE con sus dos terminales importantes como son: el modo de regulación y el modo de carga. Para el presente fin de investigación se utiliza una sola topología; que será descrita de manera general, ya que para los siguientes casos únicamente los parámetros de los

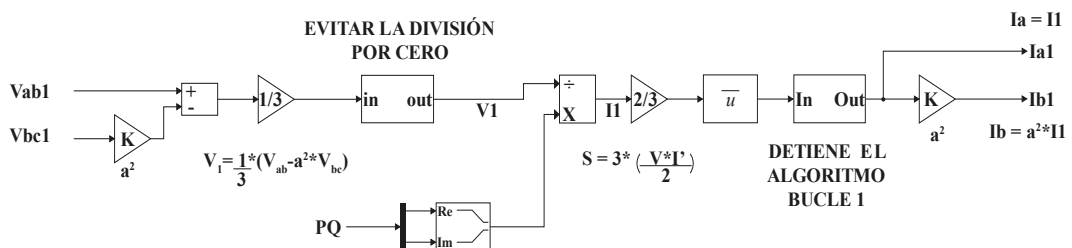


Figura 14. Generación de corriente a la red (regulación) [Autor].

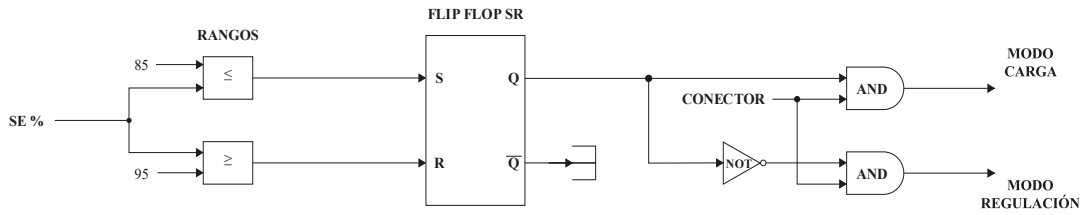


Figura 15. Control de carga mediante comparación de rangos [Autor].

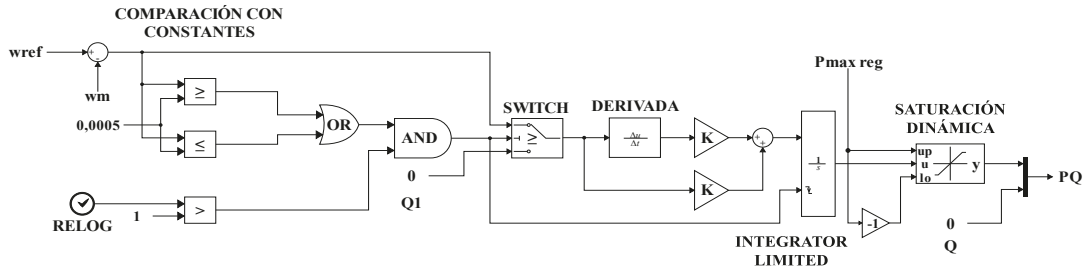


Figura 16. Control para la regulación hacia la red [Autor].

bloques se ven afectados. Sí se profundiza dentro del bloque del VE, se observa el estado de carga, así como el control de carga. Estos bloques ayudan en la definición la topología del VE, además de esto sirven como referencia para tomar los datos de la red y dar ciertos resultados acordes con la configuración como se muestra en la figura 12 y 13.

Regresando al exterior del modelo del VE, se encuentran dos bloques muy importantes como son la regulación de red y la generación de potencia de carga, que fueron ya descritos previamente en la figura 9.

Ahora se hace la descripción de los bloques que conforman la regulación de la red, mismos que son parte importante del control.

En el bloque de regulación de la red figura 14, se evidencia la regulación de control y regulación de generación de potencia de red en conjunto. Estos dos bloques son de ayuda al momento de analizar el estado de carga y tomar decisiones en el instante en el que se encuentra el VE conectado a la red.

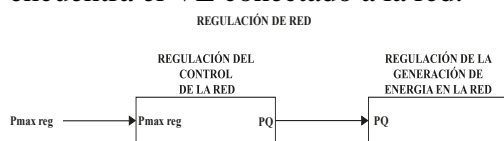


Figura 17. Secuencia para la regulación de la red [Autor].

En la figura 16 y 17, se encuentran descritos los bloques de regulación de control y de regulación de generación de potencia de la red. Cada uno de estos diagramas muestra el tipo de control y variables que se ven involucrados en la regulación por parámetros para cada VE.

Dentro de la figura 17, se hallan bloques muy característicos como: el bloque para evitar el cruce por cero y el bloque que detiene el algoritmo del bucle uno, cuando se detecta algún error en las mediciones.

Estas características se repiten tanto para la regulación de la red, como para la generación de potencia de carga.

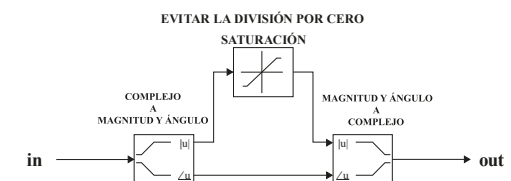


Figura 18. Control cruce por cero en regulación hacia la red [Autor].

En las figuras 20, 21 y 22, se realiza la descripción de los mismos bloques mencionados anteriormente, lo único que difiere de acuerdo al autor [67] son los parámetros de generación de potencia de carga que en conjunto con los bloques de las figuras 16 y 17

realizan la regulación y control para el o los VE conectados a la MR.

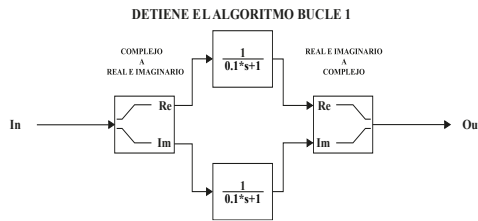


Figura 19. Control ante errores en la regulación hacia la red [Autor].

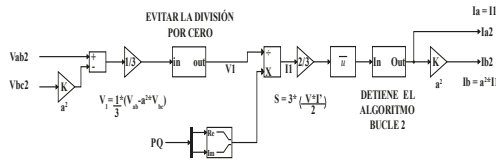


Figura 20. Generación de corriente a la red (carga) [Autor].

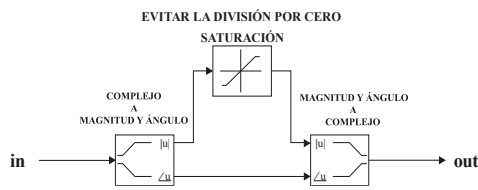


Figura 21. Control cruce por cero en carga desde la red [Autor].

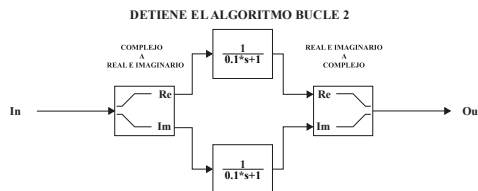


Figura 22. Control ante errores durante la carga desde la red [Autor].

6 Análisis de resultado

Esta sección muestra los resultados obtenidos durante los dos tipos de estudios propuestos a continuación.

6.1 Primer caso

En esta sección se muestra el efecto de la carga de cuatro VE de un total de cinco VE de muestra, para un instante de tiempo dado a los 16 segundos de simulación correspondiente a la hora 4:00 pm. Para este caso se considera la interacción total de la MR (máxima y mínima demanda), también su dinámica entre las cargas y la generación sin

excluir ningún elemento; los VE en este caso funcionan para ambos modos: regulación y carga.

Tabla 2: Modos de operación para el análisis [Autor].

Generación	Máxima Demanda	Mínima Demanda
Red Principal	Conectada	Conectada
Solar FV array 1 & 2	Generación 1000 W/m ²	Apagado 0 W/m ²
BESS 1	Carga a 5 A	Carga a 3 A
BESS 2	Generación	Carga
Convertidor Bidireccional 1.1 & 1.2	Inversor	Rectificador
Generador Diesel	Generación	Generación
Vehículos eléctricos	Regulación / Carga	Regulación / Carga

6.1.1 Análisis en máxima y mínima demanda

Se realizó la conexión del bloque de los VE en el bus 10 de la MR, utilizando un transformador con una relación de 13.8kV (fase-fase) a 600 [V] (fase-fase) sin considerar pérdidas [3].

Tabla 3: Potencia nominal de los equipos en análisis [Autor].

Equipo	Máxima Demanda P _{nominal}	Mínima Demanda P _{nominal}
Bloque VE	40 x 4 kW	40 x 4 kW
Transformador	250 kW	250 kW

La conexión realizada garantiza un comportamiento dinámico durante el transcurso del tiempo simulado, pretendiendo emular la respuesta que posiblemente tiene el bloque de los VE durante un día cotidiano de conexión, en este tiempo el bloque va realizando la acción de consumo y regulación automáticamente, dependiendo del horario y el estado energético de la MR.

Para este caso la regulación no es muy notoria, ya que al poseer cargas que no salen (desconexión), tanto el voltaje como la frecuencia del sistema no se ven afectados como se apreciar en las

Tabla 4: Voltajes promedio por bus en pu [Autor].

Buses	Voltaje (SVE) pu Máxima Demanda	Voltaje (SVE) pu Mínima Demanda	Voltaje (CVE) pu Máxima Demanda	Voltaje (CVE) pu Mínima Demanda
Bus 1	0,955	0,957	0,951	0,95
Bus 2	0,931	0,959	0,923	0,951
Bus 3	0,930	0,967	0,93	0,968
Bus 4	0,953	0,979	0,95	0,976
Bus 5	0,951	0,983	0,94	0,983
Bus 6	0,966	0,980	0,96	0,981
Bus 7	0,971	0,98	0,969	0,97
Bus 8	0,975	0,98	0,97	0,97
Bus 9	0,966	0,98	0,955	0,98
Bus 10	0,94	0,97	0,93	0,97
Bus 11	0,953	0,97	0,95	0,96
Bus 12	0,957	0,98	0,954	0,98
Bus 13	0,974	0,99	0,971	0,98
Bus 14	0,967	0,98	0,959	0,97
Bus CC	0,915	0,97	0,91	0,96

figuras 23 para máxima demanda y 24 para mínima demanda.

El tiempo de simulación de los VE es por horas y para lograr conservar una armonía entre la estabilidad y el tiempo transcurrido, se realizó una conversión

para disminuir el tiempo de simulación en el primer caso. Esta conversión se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$t_{eje} = \frac{t_{tot}}{t_{sim}} (seg) \quad (18)$$

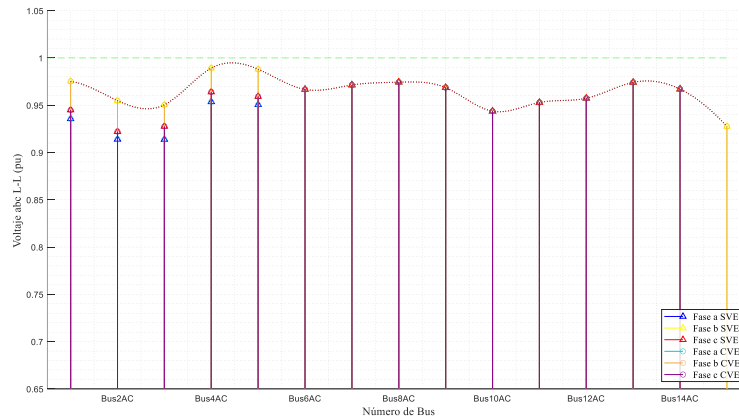


Figura 23. Perfil de voltaje en máxima demanda (pu) [Autor].

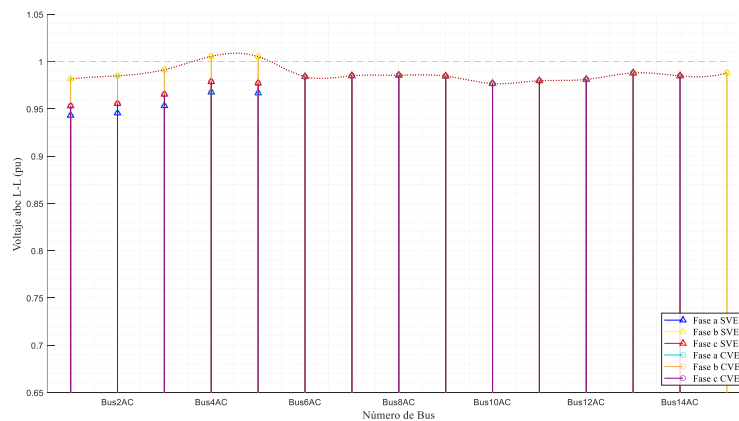


Figura 24. Perfil de voltaje en mínima demanda (pu) [Autor].

Donde, t_{eje} es el tiempo de simulación para cada caso, t_{tot} es el tiempo total de simulación de la MR y t_{sim} es el tiempo de análisis de los VE conectados a la MR.

$$t_{est} = \frac{1}{t_{eje}} \text{ (seg)} \quad (19)$$

Donde, t_{est} es el tiempo de estabilidad entre cambio de estado y t_{eje} es el tiempo de simulación para cada caso.

Entonces:

$$t_{eje} = \frac{24}{6} = 4 \text{ s}$$

$$t_{est} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ s}$$

Con base en estos valores los tiempos de ejecución en Simulink fueron configurados, para de esta manera obtener las siguientes ilustraciones.

Las figuras 23 y 24 ilustran los perfiles de voltaje en pu con los VE (CVE) y sin los VE (SVE) del sistema total, para máxima y mínima demanda respectivamente. En estas figuras se puede notar que los valores no difieren de los límites permisibles, es decir no sobrepasan la unidad, ni decaen por debajo del 0.8 pu. No obstante, al igual que en el caso de estudio original [3], existen caídas de tensión en la red de 220 V para ambos modos de análisis

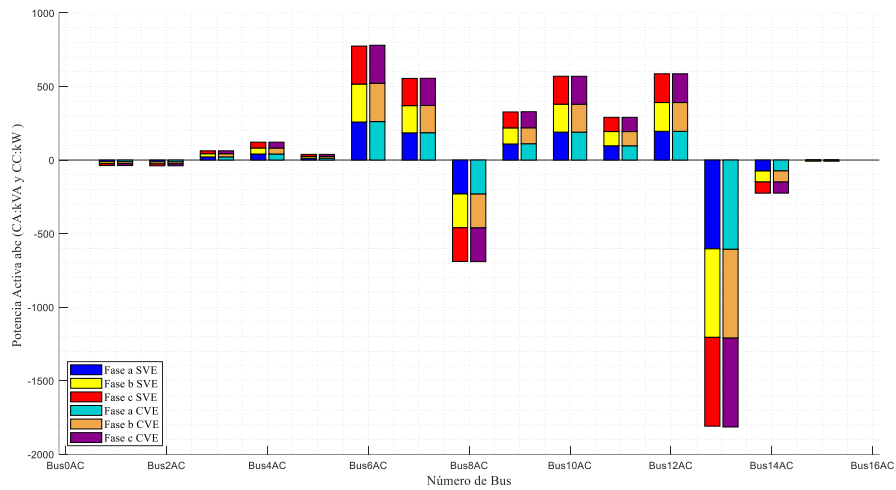


Figura 25. Potencia activa en máxima demanda [Autor].

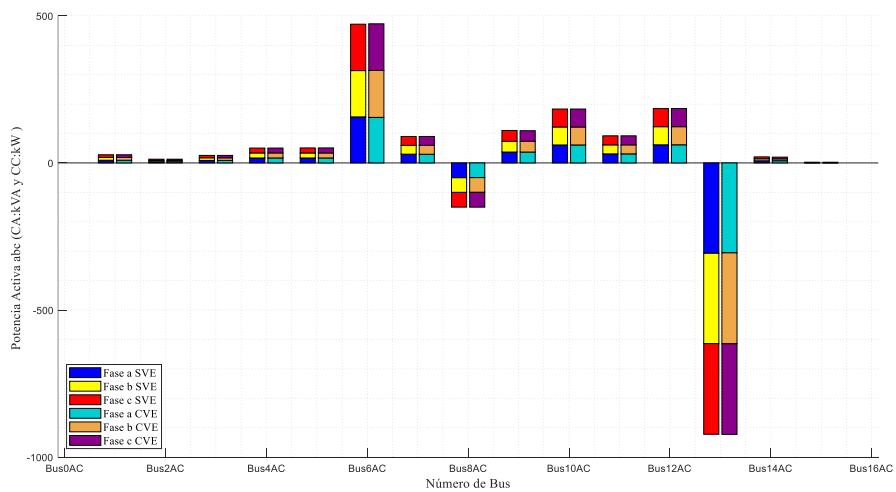


Figura 26. Potencia activa en mínima demanda [Autor].

(máxima y mínima demanda), también se puede evidenciar que los valores con y sin presencia del bloque VE son semejantes en cada bus, es decir no existen caídas como muestra la tabla 4. Esto da apertura a la posibilidad de realizar un estudio viable de compensación en este apartado de la micro-red; además se denota que con la inserción de los VE los perfiles de voltaje no varían de manera considerable en ningún modo de análisis.

En la potencia activa como expresan las figuras 25 y 26, existen diferencias en los buses de transferencia de potencia como son el bus: 5, 6, 7 y 14 y en el 13

que es el bus Slack, también se observa que la diferencia de potencia es administrada y compensada en parte por el bus AC del panel fotovoltaico (PV) en el modo de carga de los VE para los casos de máxima y mínima demanda.

Esta afirmación se puede evidenciar en las figuras 25 y 26, ya que es en donde únicamente se reflejan pequeñas variaciones de ± 5 kW en los buses 6 y 13. Es importante recalcar que la potencia al igual que el caso de estudio original [3], se encuentra correctamente distribuida; dejando la generación diésel para el flujo en el bus 8 y el resto de alimentación por parte del bus Slack 13. En la figura 27 se observa que existe una

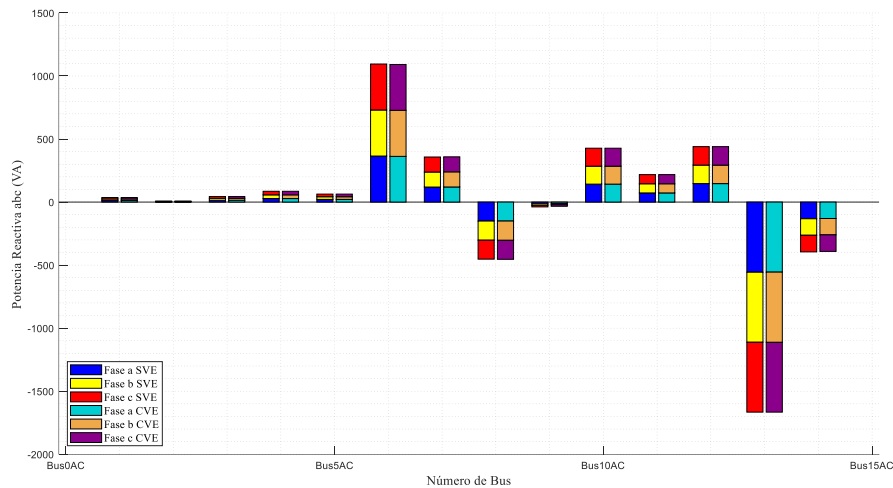


Figura 27. Potencia reactiva en máxima demanda [Autor].

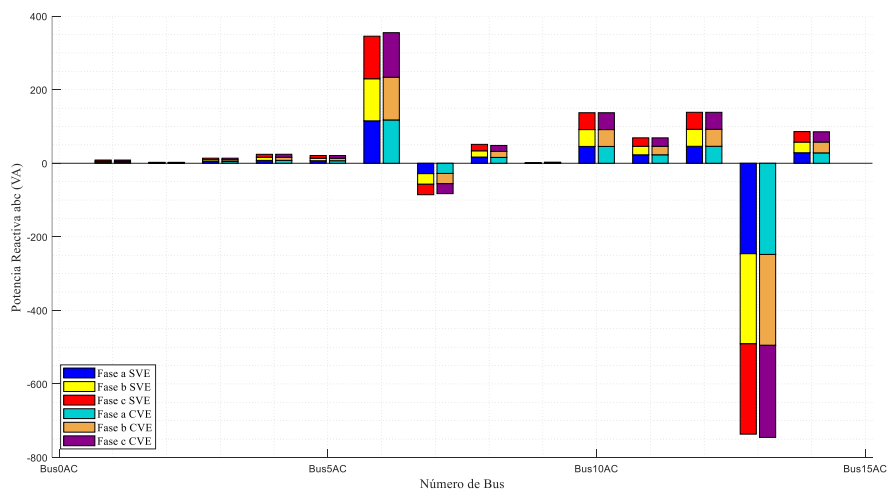


Figura 28. Potencia reactiva en mínima demanda [Autor].

condición de igualdad en cuanto a la inserción de potencia reactiva para el caso de máxima demanda. Para la figura 28 se observa que en mínima demanda existe una mayor propagación en los buses aguas abajo de la conexión de los VE; sin embargo, existe una pequeña variación de ± 7 kW en los buses 6 y 13, debido a que los módulos BESS y los rectificadores cambian de modo de operación como se indica en la tabla 2. Además, con el escaso desbalance de voltaje existente en cada bus como se aprecia en la tabla 4, se muestra una compensación entre la generación diesel y la red principal.

En los buses de transferencia existen valores de potencia negativa al igual que en el caso de estudio original [3], esto se debe a los flujos de potencia; con la inserción de los VE no existe la compensación de potencia reactiva necesaria para mejorar los perfiles de voltaje como se muestra en la tabla 4. Los valores de compensación por parte de los VE no son de gran impacto ya que difieren entre ± 5 kVA y ± 10 kVA. Esto es consecuencia de que los valores nominales de cada VE, como muestra la tabla 3 no superan el 5% de la potencia nominal de las generaciones expuestas en [3].

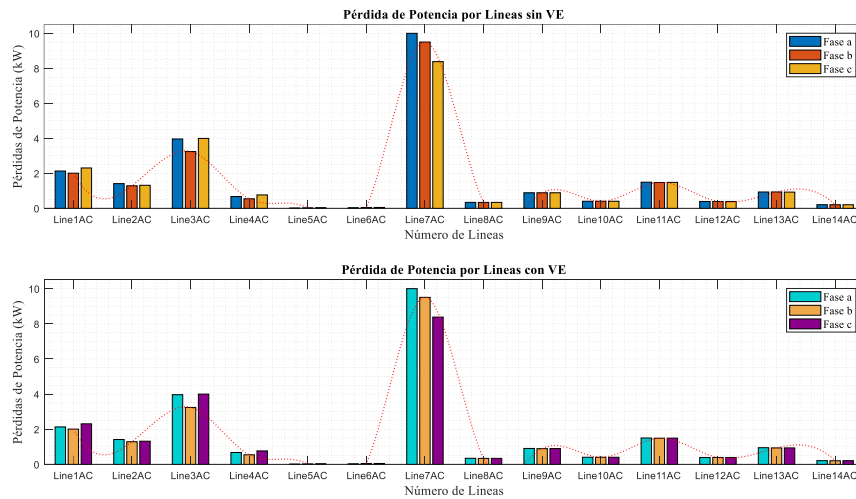


Figura 29. Pérdidas de potencia en máxima demanda [Autor].

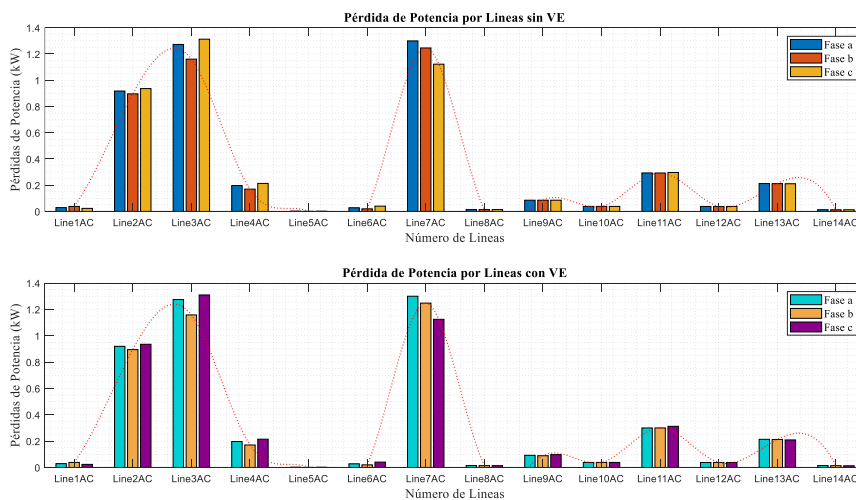


Figura 30. Pérdidas de potencia en mínima demanda [Autor].

Existe aún la necesidad de estudios de compensación en el escenario de máxima demanda.

Las pérdidas en las líneas como se ven en las figuras 30 y 31 con respecto al caso original de estudio [3], aumentan en $\pm 2\%$ esto debido a la inserción de los VE y también a que las cargas monofásicas conectadas a las líneas producen este efecto de pérdidas en los niveles más altos, presentándose con mayor énfasis en las fases (a) y (b).

Con la conexión de los VE no existen incrementos de pérdidas con valores considerables, es decir que en el diseño planteado en el caso original y con el

aumento de los VE se cubre la demanda de flujos de potencia aún sin llegar a saturar las líneas, ni tampoco lograr la disminución de pérdidas en las mismas, por efectos de compensación. Únicamente existe un reflejo de su dinámica en los buses aledaños al enlace como el bus 10 y 11 con una magnitud de ± 0.1 kW.

En las figuras 31 y 32 se observa el factor de potencia por bus para máxima y mínima demanda, a diferencia del caso original [3] no existen cambios significativos. Se aprecia que en el caso de la máxima demanda existe aún el deterioro del valor en (pu) por debajo del 0.8, esto debido a que no existe la

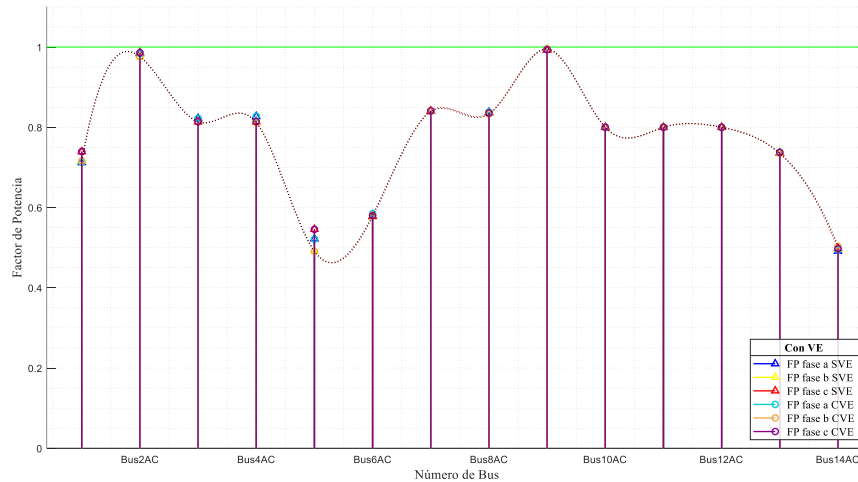


Figura 31. Factor de potencia por bus en máxima demanda [Autor].

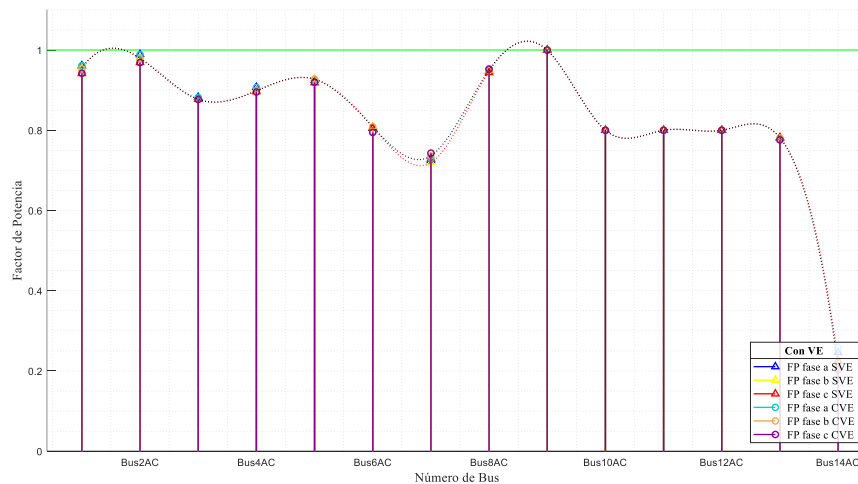


Figura 32. Factor de potencia por bus en mínima demanda [Autor].

compensación necesaria para mantener un valor lo más cercano a la unidad. Con la conexión de los VE se puede notar que el comportamiento de la MR para el caso de mínima demanda si difiere, se observa que existe una leve compensación como se muestra en la figura 32 en el bus de transferencia 7. Más allá de esto el enlace realizado no tiene mayor impacto en el comportamiento de la MR, ni en los valores unitarios del factor de potencia, como se observa en las figuras 31 y 32. Como propuesta de compensación, se puede realizar una mayor conexión de VE dentro de la MR, ya que con el modo de regulación se ayuda a mejorar el perfil de factor de potencia a mayor

escala. Además, se debe considerar siempre la curva de demanda de la MR, para que de esta manera la dinámica de modos regulación/carga de los VE sea óptima y se logre compensar tanto en potencia activa como reactiva a los buses donde los valores caen por debajo de la unidad. Claramente se pueden utilizar otras estrategias de control como: control robusto de frecuencia y algoritmos de control centralizado de potencia reactiva. Los VE al ser una carga no lineal pueden llegar a distorsionar la forma de onda de la micro-red a la que se conecten, especialmente durante su modo de consumo. Para este caso se observan los resultados de distorsión

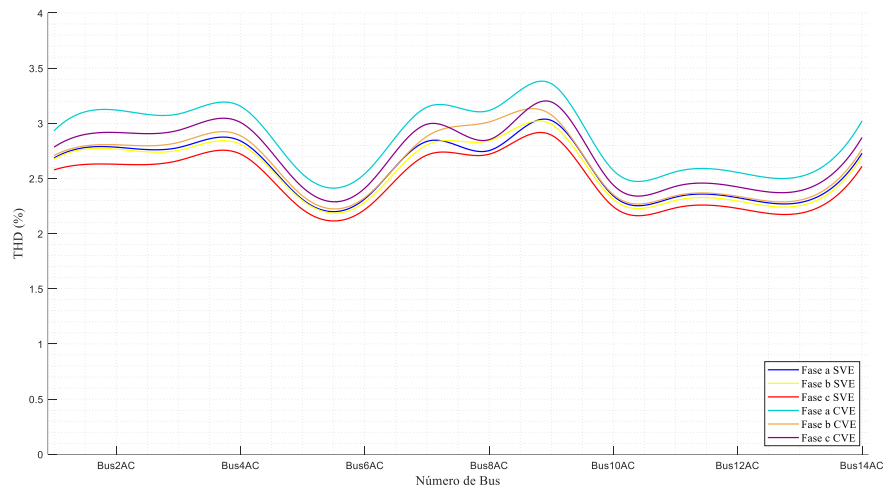


Figura 33. Índice de distorsión armónica por bus en máxima demanda [Autor].

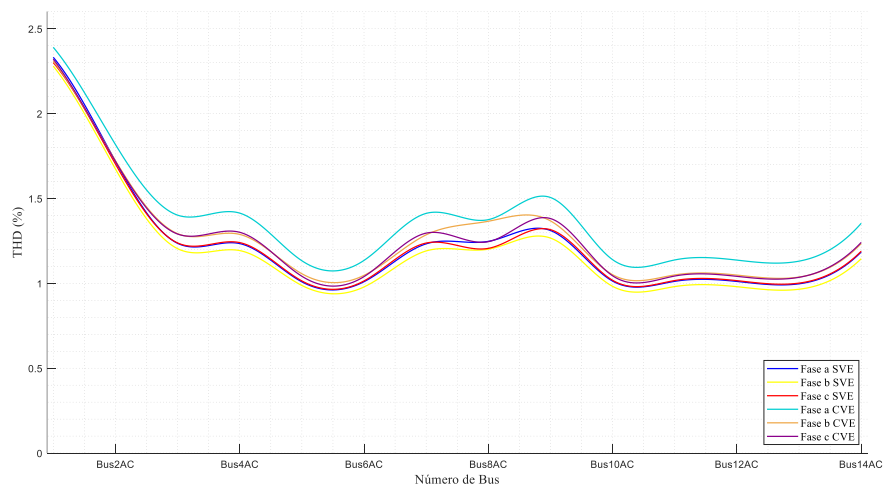


Figura 34. Índice de distorsión armónica por bus en mínima demanda [Autor].

armónica en las figuras 33 y 34 para máxima y mínima demanda. Se puede notar que para la máxima demanda estos valores no sobrepasan el 3.5 %, y que para la mínima demanda no sobrepasan el 2.5 % de afectación como muestran las figuras 33 y 34. No obstante los efectos que se producen en la MR por los VE son notables, debido a que en el diseño de la MR no se consideran cargas que entren y salgan (regulación/carga) durante el período de simulación.

Sin embargo, los valores de distorsión armónica no sobrepasan los porcentajes ya mencionados, por tal razón se puede decir que al igual que en su caso de estudio original [3] se encuentran en valores de porcentajes admisibles.

Se podría mejorar el control y la decisión de conexión (horario) del bloque de VE para disminuir estos índices porcentuales, ya que estos cambios en la red son los que producen problemas en la distribución de energía y el deterioro a futuro de la micro-red.

6.2 Segundo caso

Los resultados obtenidos para este caso tienen enfoque en la barra de medición VE como se muestra en la figura 8, en el

presente apartado se describirá el comportamiento dinámico de variables eléctricas como: Voltaje [V], Corriente [I], Potencia activa [P], Potencia reactiva [Q] e Índice de distorsión armónica [THD].

Además, se podrá observar el comportamiento de cada tipo de VE como se aprecia en la tabla 5 y sus curvas de regulación/carga durante todo el tiempo de simulación. Para este caso de estudio se considera 0.35 segundos

Tabla 5: Perfil de comportamiento de cada vehículo eléctrico [Autor].

Vehículos eléctricos	Usuarios
Perfil 1	Posibilidad de cargar el vehículo, externamente.
Perfil 2	Posibilidad de cargar el vehículo, externamente, con mayor recorrido.
Perfil 3	Imposibilidad de cargar el vehículo externamente.
Perfil 4	Usos exclusivamente residenciales.
Perfil 5	Cargas en horario nocturno

como tiempo mínimo necesario para lograr la estabilidad del sistema luego de un cambio de estado. Por tanto, el tiempo mínimo para realizar la

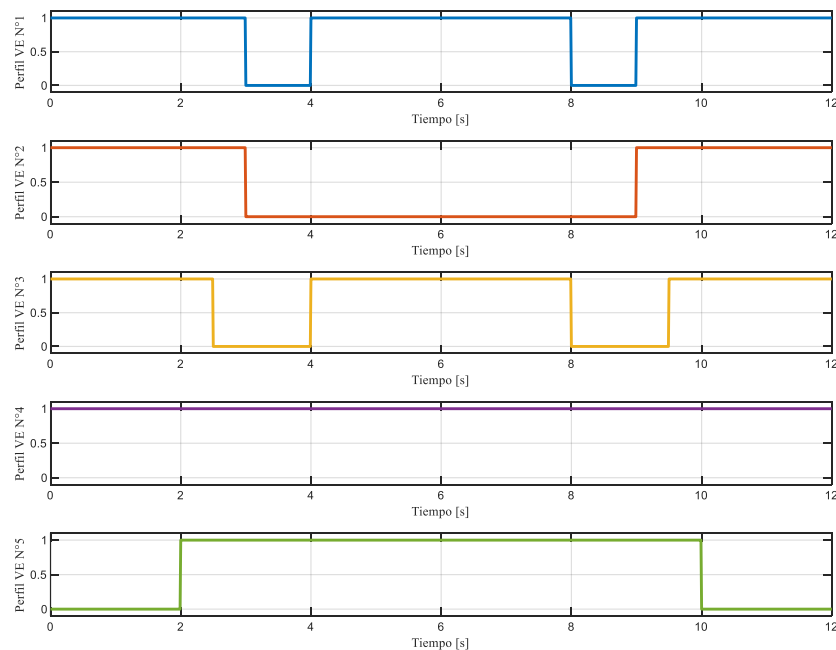


Figura 35. Estado lógico de los vehículos eléctricos [Autor].

simulación en este apartado será de 12 segundos, se utilizarán las ecuaciones (18) y (19).

Entonces:

$$t_{eje} = \frac{24}{12} = 2 \text{ s}$$

$$t_{est} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ s}$$

Los VE tienen un comportamiento específico, dado por las características de los usuarios como muestra la tabla 5 y su enfoque durante la simulación dependerá de estos perfiles como lo expone [67].

La regulación/carga de los VE se encuentra dada por una curva característica en cada caso como muestra la figura 36, en este apartado se podrá identificar el comportamiento de la dinámica de regulación/carga durante la ejecución del programa.

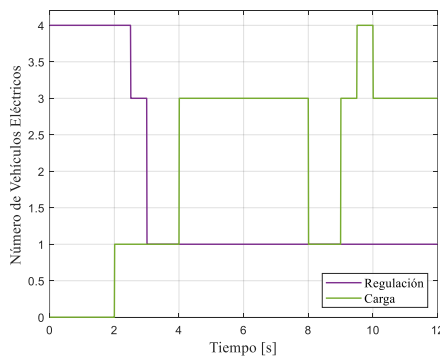


Figura 36. Curvas (regulación/carga) del bloque vehículos eléctricos [Autor].

Observando que tentativamente los VE inician regulando potencia a la red como se ve en la figura 36, de los cinco perfiles de VE podemos notar que uno siempre está cargado como muestra la figura 35, por esta razón la dinámica de regulación/carga únicamente se hará con cuatro VE como indica la figura 36.

Si se analiza el perfil de voltaje se puede evidenciar que su valor rms inicial tiene una etapa transitoria igual al tiempo mínimo de estabilidad de cambio de estado de 0.35, a partir del tiempo de

conexión dado por el bloque de control del breaker VE como se muestra en la figura 8, existe un leve decremento en su valor nominal de 13.8 kV(fase-fase), posteriormente este valor se mantiene constante con un valor máximo de 13.3 kV(fase-fase) hasta finalizar la simulación.

Existen picos durante la ejecución debido a los cambios de modo de los VE; no obstante, el valor nominal es fijo como se visualiza en la figura 37.

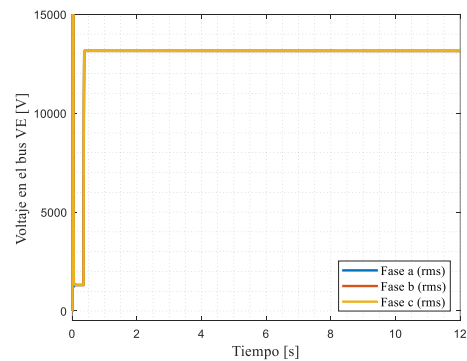


Figura 37. Voltaje rms del bus vehículos eléctricos [Autor].

Para este mismo bus de análisis el comportamiento de la corriente es diferente, mostrando una tendencia de cambio en dependencia del tiempo, esto se debe a los modos de regulación/carga dados por el bloque VE, evidentes en las figuras 35 y 36.

Existe una afectación directa a las fases (a) y (c), que es donde se encuentra la dinámica por parte de las fuentes de corriente en el control, esto se muestra en la figura 9.

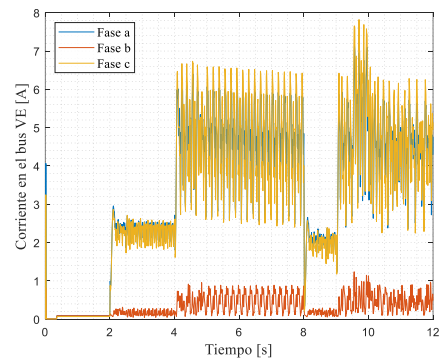


Figura 38. Corriente del bus vehículos eléctricos [Autor].

De la misma manera se evidencia que el control dado por el bloque de la figura 14, el cual se encarga de la manipulación de la corriente para la generación de potencia activa, tiene una cierta coordinación con la respuesta de la potencia activa del bus VE como lo muestra la figura 40. De esta manera se puede decir que el consumo y aporte por parte de los VE está totalmente en dependencia de las curvas de regulación/cargas expresadas en la figura 36, mostrando de esta manera que existe el control en cuanto al consumo por un horario y usuario específico como manifiesta la tabla 5.

Las potencias: activa de la figura 40 y reactiva de la figura 41, muestran un comportamiento similar al de la corriente, esto va acorde con los requerimientos de la curva de conexión de usuarios como la expone el autor en [67], entonces de esta manera se puede ver que el bloque VE tiene una dinámica estable y configurable para cada perfil,

adaptándose al horario y a la cargabilidad de la micro-red.

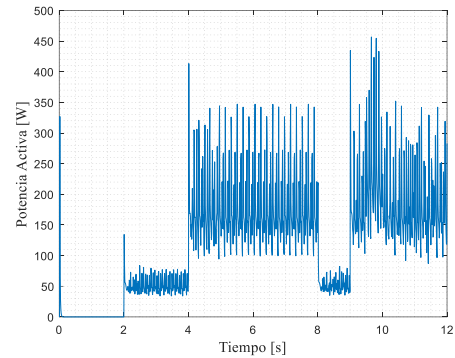


Figura 40. Potencia activa del bus de vehículos eléctricos [Autor].

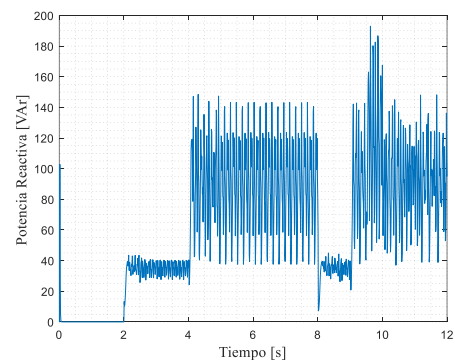


Figura 41. Potencia reactiva del bus de vehículos eléctricos [Autor].

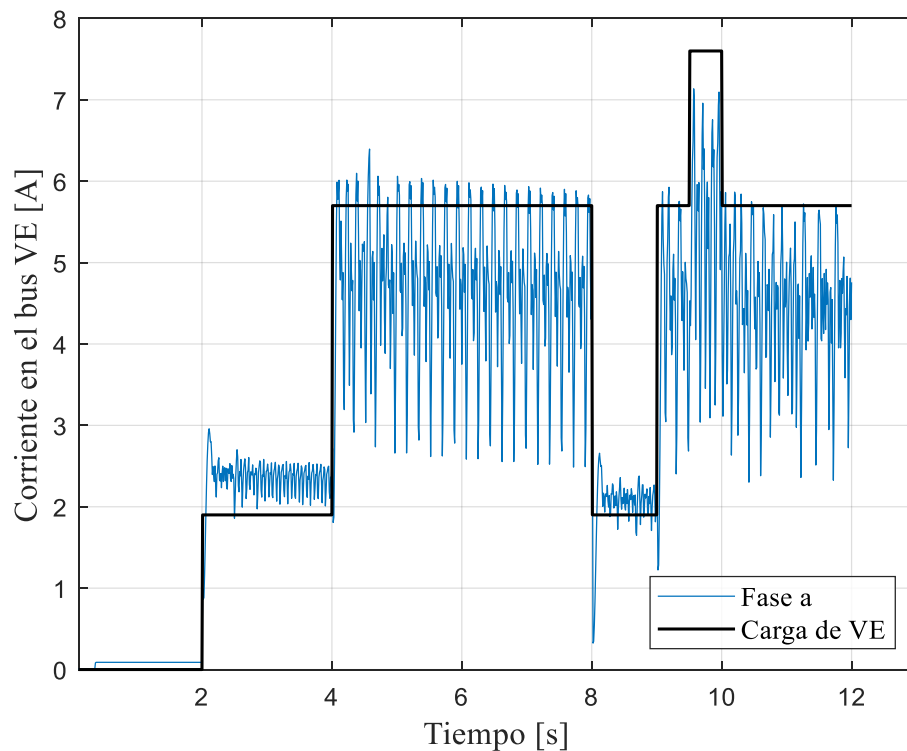


Figura 39. Curva de carga total y corriente de los vehículos eléctricos [Autor].

Para este caso los índices de distorsión armónica se mantienen en el rango máximo de 3 % como lo expresa la figura 42 al igual que en la MR general [3], aunque durante la etapa transitoria de conexión entre la MR y el VE se muestran variantes debido a que durante los 0.35 segundos la MR toma su estabilidad total. Sin embargo, la estabilidad que brinda la MR y el control adaptativo de bloque VE logra que estos índices, sean estables posteriormente.

Podría existir alguna mejora a la decisión de control, ajustando su robustez o identificando si las curvas de conexión de la figura 35 para cada perfil de VE causan afectaciones en locaciones específicas de la MR, provocando alteraciones y distorsión del THD.

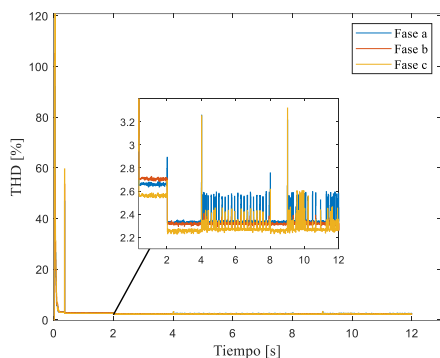


Figura 42. Índice de distorsión armónica del bus vehículos eléctricos [Autor].

7 Conclusiones

En este trabajo se analizó el efecto de los modos de regulación/carga en la inserción de vehículos eléctricos conectados a una micro-red en CA/CC, exponiendo que lo más relevante de este análisis fue comprobar que con la conexión de los vehículos eléctricos dentro de este modelo IEEE 14 buses, se concluye que no existe un impacto en su configuración debido a que los niveles de voltaje no sufren cambios considerables que sobrepasen el $\pm 2\%$, cómo se evidenció en la tabla 4 y las figuras 23 y 24; tampoco existen variaciones de las pérdidas en las líneas sobre un margen de $\pm 0.1\%$ como se

mostro en las figuras 29 y 30 para ambos casos de análisis: máxima y mínima demanda. Con los resultados obtenidos se puede notar que durante las etapas transitorias de regulación/carga, la micro-red recibe el aporte de potencia generada por los vehículos eléctricos de 160 kW como se expresó en la tabla 3, siendo esta potencia aprovechada en su redireccionamiento hacia las cargas en un 80% (consumo más pérdidas) y el 20% restante asumido por la micro-red. Se concluye que la realización del presente estudio dentro de este modelo brindó una gran solidez en cuanto a las variables de análisis propuestas (voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva e índice de distorsión armónica), debido que al contar con múltiples puntos de medición tanto en CA como en CC y además de la capacidad para calcular las pérdidas, los datos obtenidos se relacionan directamente con los déficits existentes en cuanto a la calidad energética y la eficiencia de transmisión de energía; mas no con variaciones ocasionadas por la conexión de los vehículos eléctricos como se evidenció en las figuras 31 y 32.

Se concluye que al comparar el modelo de la micro-red con y sin la inserción de los vehículos eléctricos, no se evidencian afectaciones energéticas de la micro-red en lapsos cortos de simulación como se demuestra en las figuras 33 y 34.

Se deduce que, para la obtención de valores instantáneos en este análisis discreto, debido a la robustez del modelo, el mismo toma tiempos de ejecución entre 24 y 36 horas; siendo de este modo el tiempo de respuesta de simulación su mayor grado de complejidad, esto como consecuencia de que el tiempo mínimo de estabilidad entre cambio para el presente caso de estudio es de 0.35 segundos, y para el caso de la simulación real del software es de $5.050e^{-6}$ segundos por paso.

8 Trabajos futuros

Existe la posibilidad de realizar muchas mejoras al modelo, empezado por el método de control. Implementando observadores para así poder obtener mayor información a nivel global de la micro-red, y de esta manera saber cuándo y cómo redireccionar los flujos y sustentar el déficit energético. La mejora de los perfiles de potencia puede también ayudar a disminuir las pérdidas en la micro-red utilizando métodos de compensación o simplemente ubicando de manera estratégica más vehículos eléctricos.

En caso de que se requiera algún dato en un tiempo en concreto la simulación puede tornarse muy compleja para el equipo que la esté ejecutado, por tanto, este modelo se podría implementar en simuladores de tiempo real como: OPAL RT y analizar si los resultados son o no semejantes con el método ya desarrollado en la presente investigación.

9 Referencias

- [1] E. Planas, J. Andreu, J. I. Gárate, I. Martínez De Alegría, and E. Ibarra, "AC and DC technology in microgrids: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 726–749, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.11.067.
- [2] E. Hossain, E. Kabalci, R. Bayindir, and R. Perez, "Microgrid testbeds around the world: State of art," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 132–153, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.05.012.
- [3] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Águila, J. W. González, G. J. López, and I. Isaac, "Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode," *Heliyon*, vol. 5, no. 12, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02862.
- [4] L. Ortiz, J. W. González, L. B. Gutierrez, and O. Llanes-Santiago, "A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04799.
- [5] J. C. Kim, S. M. Cho, and H. S. Shin, "Advanced power distribution system configuration for smart grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 1, pp. 353–358, 2013, doi: 10.1109/TSG.2012.2233771.
- [6] S. Papathanassiou, H. Nikos, and S. Kai, "A benchmark low voltage microgrid network," *Proc. CIGRE Symp. power Syst. with dispersed Gener.*, no. April, pp. 1–8, 2005, [Online]. Available: [http://www.icevirtuallibrary.com/deliver/fulltext/ener163-143.pdf;jsessionid=fashh6hedd0n5.x-telford-live-01?itemId=/content/article/10.1680/ener.2010.163.4.143%7B%7DmimeType=pdf%7B%7D%7DFastTrackArticle=%5C\\$http://www.researchgate.net/publication/2373](http://www.icevirtuallibrary.com/deliver/fulltext/ener163-143.pdf;jsessionid=fashh6hedd0n5.x-telford-live-01?itemId=/content/article/10.1680/ener.2010.163.4.143%7B%7DmimeType=pdf%7B%7D%7DFastTrackArticle=%5C$http://www.researchgate.net/publication/2373).
- [7] C. Li, T. Dragicevic, M. G. Plaza, F. Andrade, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Multiagent based distributed control for state-of-charge balance of distributed energy storage in DC microgrids," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, pp. 2180–2184, 2014, doi: 10.1109/IECON.2014.7048804.
- [8] S. K. Sahoo, A. K. Sinha, and N. K. Kishore, "Control Techniques in AC, DC, and Hybrid AC-DC Microgrid: A Review," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 6, no. 2, pp. 738–759, 2018, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2786588.

- [9] V. Nasirian, A. P. Yadav, F. L. Lewis, and A. Davoudi, "Distributed Assistive Control of Power Buffers in DC Microgrids," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 32, no. 4, pp. 1396–1406, 2017, doi: 10.1109/TEC.2017.2699181.
- [10] D. E. Olivares *et al.*, "Trends in microgrid control," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1905–1919, 2014, doi: 10.1109/TSG.2013.2295514.
- [11] S. Sen and V. Kumar, "Microgrid control: A comprehensive survey," *Annu. Rev. Control*, vol. 45, no. March, pp. 118–151, 2018, doi: 10.1016/j.arcontrol.2018.04.012.
- [12] H. Zheng, H. Ma, K. Ma, and Z. Bo, "Modeling and analysis of the AC/DC hybrid micro-grid with bidirectional power flow controller," *CIEEC 2017 - Proc. 2017 China Int. Electr. Energy Conf.*, pp. 280–284, 2018, doi: 10.1109/CIEEC.2017.8388460.
- [13] M. Yazdani and A. Mehrizi-Sani, "Distributed control techniques in microgrids," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 6, pp. 2901–2909, 2014, doi: 10.1109/TSG.2014.2337838.
- [14] S. Sharma, A. K. Panwar, and M. M. Tripathi, "Storage technologies for electric vehicles," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 7, no. 3. Periodical Offices of Chang-an University, pp. 340–361, Jun. 01, 2020, doi: 10.1016/j.jtte.2020.04.004.
- [15] R. R. Kumar and K. Alok, "Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability," *J. Clean. Prod.*, vol. 253, p. 119911, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119911.
- [16] Y. Zou, J. Zhao, X. Gao, Y. Chen, and A. Tohidi, "Experimental results of electric vehicles effects on low voltage grids," *J. Clean. Prod.*, vol. 255, p. 120270, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120270.
- [17] H. Ben Sassi, C. Alaoui, F. Errahimi, and N. Es-Sbai, "Vehicle-to-grid technology and its suitability for the Moroccan national grid," *J. Energy Storage*, no. May, p. 102023, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.102023.
- [18] P. M. K. Jianyu Zhao, Xi Xi, Qi Na, Shanshan Wang, Seifedine Nimer Kadry, "The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control | Elsevier Enhanced Reader." <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0195925520307848?token=F578DE06134A078F303BF3C3A6D3B75DA40F9B131AF4936223F4304FF57FB08F419E0A5BA409D70813A7D610140CE81B> (accessed Dec. 04, 2020).
- [19] J. Zhao, X. Xi, Q. Na, S. Wang, S. N. Kadry, and P. M. Kumar, "The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control," *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 86, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.eiar.2020.106506.
- [20] S. Baskar, V. Vijayan, I. J. Isaac Premkumar, D. Arunkumar, and D. Thamaran, "Design and material characteristics of hybrid electric vehicle," *Mater. Today Proc.*, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.352.
- [21] L. Yang, B. Yu, B. Yang, H. Chen, G. Malima, and Y.-M. Wei, "Life cycle environmental assessment of electric and internal combustion engine

- vehicles in China,” *J. Clean. Prod.*, p. 124899, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124899.
- [22] Y. Li and S. Kimura, “Economic competitiveness and environmental implications of hydrogen energy and fuel cell electric vehicles in ASEAN countries: The current and future scenarios,” *Energy Policy*, vol. 148, p. 111980, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111980.
- [23] A. Naziris, A. Frances, R. Asensi, and J. Uceda, “Black-Box Small-Signal Structure for Single-Phase and Three-Phase Electric Vehicle Battery Chargers,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 170496–170506, 2020, doi: 10.1109/access.2020.3024534.
- [24] M. R. Andervazh, S. Javadi, and M. H. Aliabadi, “Active distribution network operation management with large penetration of hybrid electric vehicles and sustainable distributed energy generation,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 62, p. 102313, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102313.
- [25] S. Zeynali, N. Rostami, A. Ahmadian, and A. Elkamel, “Two-stage stochastic home energy management strategy considering electric vehicle and battery energy storage system: An ANN-based scenario generation methodology,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 39, p. 100722, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.seta.2020.100722.
- [26] Y. Q. Xing, J. X. Jin, Y. L. Wang, B. X. Du, and S. C. Wang, “An Electric Vehicle Charging System Using an SMES Implanted Smart Grid,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 26, no. 7, 2016, doi: 10.1109/TASC.2016.2602245.
- [27] L. Ortiz, R. Orizondo, A. Aguila, J. W. Gonz, I. Isaac, and J. L. Gabriel, “Hybrid AC/DC & DC microgrid test system simulation (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-dc-microgrid-test-system-simulation>.” MATLAB Central File Exchange, 2020.
- [28] S. R. Etesami, W. Saad, N. B. Mandayam, and H. V. Poor, “Smart routing of electric vehicles for load balancing in smart grids,” *Automatica*, vol. 120, p. 109148, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.automatica.2020.109148.
- [29] B. E. Ramírez Velasco and L. Ortiz Matos, “Estudio comparativo de métodos de detección e identificación de fallas (FDI) de sensado sobre el Control Local de micro redes Electricas Híbridas AC/DC,” 2020, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19170>.
- [30] L. O. Matos and J. W. G. Sanchez, “Reconfiguration strategy for Fault Tolerance of power Distribution Systems using Petri net,” *2016 IEEE Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2016*, 2016, doi: 10.1109/ETCM.2016.7750820.
- [31] A. F. Falcón Ayala and L. Ortiz Matos, “Confiabilidad en microredes eléctricas AC/DC usando control robusto H_∞ y estrategias de tolerancia a fallas,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [32] G. K. Chinchuña Toledo and L. Ortiz Matos, “Mejoramiento de la fiabilidad en microredes mediante el control robusto de voltaje usando técnicas pasivas de tolerancia a fallos,” Universidad Politécnica Salesiana, 2018.

- [33] S. X. Garrido Jácome and L. Ortiz Matos, “Estrategia activa de tolerancia a fallas para el control Buck-Boost de micro-redes eléctricas en DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [34] J. G. B. Sánchez and L. O. Matos, “Estrategia de tolerancia a fallas por condiciones ambientales para IEDS en subestaciones de distribución,” Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [35] K. Shenai and K. Shah, “Smart DC micro-grid for efficient utilization of distributed renewable energy,” *IEEE 2011 EnergyTech, ENERGYTECH 2011*, 2011, doi: 10.1109/EnergyTech.2011.5948505.
- [36] E. Unamuno and J. A. Barrena, “Hybrid ac/dc microgrids - Part I: Review and classification of topologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1251–1259, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.194.
- [37] E. Unamuno and J. A. Barrena, “Hybrid ac/dc microgrids - Part II: Review and classification of control strategies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 52, pp. 1123–1134, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.186.
- [38] F. A. Urgiles Navarrete and L. Ortiz Matos, “Estrategia de identificación dinámica no lineal basada en NARX para fuentes de generación distribuida acopladas electrónicamente a micro – redes AC/DC,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [39] L. Ortiz, L. B. Gutiérrez, J. W. González, and A. Águila, “A novel strategy for dynamic identification in AC/DC microgrids based on ARX and Petri Nets,” *Heliyon*, vol. 6, no. 3, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03559.
- [40] L. Ortiz Matos, L. B. Gutiérrez Zea, J. W. González Sanchez, and A. Águila Tellez, “An ARX-Petri Nets algorithm for Active Identification of an AC / DC Microgrid Simulation,” in *2019 IEEE 4th Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, 2019, p. 6, doi: 10.1109/CCAC.2019.8921191.
- [41] A. A. Hassan, S. Bavanitha, C. Goyal, and D. Daphne Miriam, “Simulation and modelling of micro-grid with energy storage system,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.057.
- [42] D. Carrión and L. Ortiz, “Generación distribuida a partir de bicicletas estáticas y sistemas híbridos,” *Ingenius*, vol. 10, pp. 44–48, 2013.
- [43] D. Arias Cazco, R. A. Robayo Vasco, and L. Ortiz Matos, “Novel inteligente Step Voltaje Regulator (SVR) for residential electrical connections,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 4, pp. 1656–1661, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7483497.
- [44] J. R. Collaguazo Solís and L. Ortiz Matos, “Control de voltaje óptimo para sistemas de almacenamiento de energía de batería (BESS) acoplados a microrredes de AC utilizando algoritmos LQG,” Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [45] D. E. Olivares, C. A. Cañizares, and M. Kazerani, “A centralized optimal energy management system for microgrids,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–6, 2011, doi: 10.1109/PES.2011.6039527.
- [46] P. M. Muñoz, E. W. Moschen, G. Correa, and L. Mathe, “Selection and sizing of a hybrid electric vehicle powered by fuel cells.

- Comparison and analysis with an internal combustion vehicle,” *2014 IEEE Bienn. Congr. Argentina, ARGENCON 2014*, pp. 804–809, 2014, doi: 10.1109/ARGENCON.2014.6868592.
- [47] S. C. Debnath, “Environmental Regulations Become Restriction or a Cause for Innovation – A Case Study of Toyota Prius and Nissan Leaf,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 324–333, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.360.
- [48] F. M. Shakeel and O. P. Malik, “Vehicle-To-Grid Technology in a Micro-grid Using DC Fast Charging Architecture,” *2019 IEEE Can. Conf. Electr. Comput. Eng. CCECE 2019*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/CCECE.2019.8861592.
- [49] G. Correa Perelmuter, L. Mathé, E. Moschen, and P. Muñoz, “Dimensionamiento y Modelado de un Vehículo Eléctrico Propulsado por Pilas de Combustible. Análisis Económico y de Factibilidad,” *Rev. Fac. Ciencias Exactas, Físicas Y Nat.*, vol. 1, no. 1, pp. 59–66, 2014, [Online]. Available: <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/6865>.
- [50] M. Krammer *et al.*, “The distributed co-simulation protocol for the integration of real-time systems and simulation environments,” *Simul. Ser.*, vol. 50, no. 10, pp. 1–14, 2018, doi: 10.22360/summersim.2018.scsc.001.
- [51] S. Alegre, J. V. Míguez, and J. Carpio, “Modelling of electric and parallel-hybrid electric vehicle using Matlab/Simulink environment and planning of charging stations through a geographic information system and genetic algorithms,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. February, pp. 1020–1027, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.03.041.
- [52] T. A. T. Mohd, M. K. Hassan, and W. M. K. A. Aziz, “Mathematical modeling and simulation of an electric vehicle,” *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 8, no. July, pp. 1312–1321, 2015, doi: 10.15282/jmes.8.2015.6.0128.
- [53] P. Amaya-Trinidad, J. F. Guerrero-Castellanos, G. A. Munoz-Hernandez, G. Mino-Aguilar, and J. Saynes-Torres, “Modelado, control y simulación de un vehículo eléctrico,” no. September, 2015.
- [54] M. Alilou, B. Tousi, and H. Shayeghi, “Home energy management in a residential smart micro grid under stochastic penetration of solar panels and electric vehicles,” *Sol. Energy*, vol. 212, no. February, pp. 6–18, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.10.063.
- [55] M. A. Brown and A. Soni, “Energy Research & Social Science Expert perceptions of enhancing grid resilience with electric vehicles in the United States,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 57, no. February, p. 101241, 2019, doi: 10.1016/j.erss.2019.101241.
- [56] M. J. Salehpour and S. M. M. Tafreshi, “Contract-based utilization of plug-in electric vehicle batteries for day-ahead optimal operation of a smart micro-grid,” *J. Energy Storage*, vol. 27, no. December 2019, p. 101157, 2020, doi: 10.1016/j.est.2019.101157.
- [57] O. Olatunde, M. Y. Hassan, M. P. Abdullah, and H. A. Rahman, “Hybrid photovoltaic/small-

- hydropower microgrid in smart distribution network with grid isolated electric vehicle charging system.” *J. Energy Storage*, vol. 31, no. July, p. 101673, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101673.
- [58] D. Criollo, “Estudio de viabilidad en la implementacion de vehiculos electricos en la ciudad de Cuenca,” 2015, doi: 10.20868/UPM.thesis.39079.
- [59] Y. Wu, J. Zhang, A. Ravey, D. Chrenko, and A. Miraoui, “Real-time energy management of photovoltaic-assisted electric vehicle charging station by markov decision process,” *J. Power Sources*, vol. 476, p. 228504, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2020.228504.
- [60] L. Rubino, C. Capasso, and O. Veneri, “Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with distributed energy sources for sustainable mobility,” *Appl. Energy*, vol. 207, pp. 438–464, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.097.
- [61] G. Merhy, A. Nait-Sidi-Moh, and N. Moubayed, “Control, regulation and optimization of bidirectional energy flows for electric vehicles’ charging and discharging,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 57, no. June 2019, p. 102129, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2020.102129.
- [62] M. Mathankumar, T. Viswanathan, K. Balachander, and S. Suryaprakash, “Design and implementation of improved sliding mode control for electric vehicle voltage stabilization,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 1–3, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.622.
- [63] T. Hassan, K. M. Cheema, K. Mehmood, M. F. Tahir, A. H. Milyani, and M. Akhtar, “Optimal control of high-power density hybrid electric vehicle charger,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 194–207, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2020.12.021.
- [64] O. Elma, “A dynamic charging strategy with hybrid fast charging station for electric vehicles,” *Energy*, vol. 202, p. 117680, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117680.
- [65] P. Wang, D. Wang, C. Zhu, Y. Yang, and H. M. Abdullah, “Stochastic management of hybrid AC / DC microgrids considering electric vehicles charging demands,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 1338–1352, 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.05.019.
- [66] L. Ortiz, A. Águila, R. Orizondo, I. Isaac, and G. J. López, “Hybrid AC/DC microgrid (HMG) test system simulation (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73878-hybrid-ac-dc-microgrid-hmg-test-system-simulation>),” *MATLAB Cent. File Exch.*, 2020.
- [67] MATLAB, “24-hour Simulation of a Vehicle-to-Grid (V2G) System - MATLAB & Simulink,” 2020. https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/24-hour-simulation-of-a-vehicle-to-grid-v2g-system.html?searchHighlight=power_v2g&s_tid=srchtitle (accessed Jan. 19, 2021).

10 Matriz Estado del Arte

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”.																							
DATOS					TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA					
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CTAS	Problema; Objetivo	Micro-redes híbridas CA/CC	Modelamiento y simulación de micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión entre micro-redes y vehículos eléctricos	Control y dinámica entre micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión dinámica entre modos regulación/carga	Estrategias de control en modos de regulación/carga	Efectos producidos en modos de regulación/carga por la inserción de vehículos eléctricos	Afectación de variables eléctricas durante los modos de regulación/ carga	Estimación de fallas en regulación/control	Fallas en componentes y líneas	Fallas de generación	Fallas durante el enlace y control	Redireccionamiento de flujos de potencia	Estimación del estado de carga (SOC)	Control y regulación de la energía	Enlaces energéticos en horarios específicos	Detección de fallas durante enlace en modo regulación/ carga	Compensación con generación altera (FV) para mantener equilibrio entre modos	
1	2015	AC and DC technology in microgrids: A review	366	NO	X		X									X							
2	2014	Microgrid testbeds around the world: State of art	190	NO			X			X				X							X		
3	2013	Advanced power distribution system configuration for smart grid	100	SI	X	X							X					X					
4	2014	Multiagent based distributed control for state-of-charge balance of distributed energy storage in DC microgrids	709	NO			X				X							X					
5	2018	Control Techniques in AC, DC, and Hybrid AC-DC Microgrid: A Review	161	NO	X	X							X					X			X		
6	2017	Distributed Assistive Control of Power Buffers in DC Microgrids	13	NO	X											X		X					
7	2014	Trends in microgrid control	13	SI				X	X					X									
8	2018	Microgrid control: A comprehensive survey	69	SI	X							X			X			X					X
9	2017	Modeling and analysis of the AC/DC hybrid micro-grid with bidirectional power flow controller	9	SI	X		X			X								X					
10	2014	Distributed control techniques in microgrids	502	NO			X					X								X			X
11	2020	Storage technologies for electric vehicles	14	NO	X	X			X				X								X		

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”.

DATOS		TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS	RESTRICCIONES DEL PROBLEMA	PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA	SOLUCIÓN PROPUESTA															
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Problema; Objetivo	Micro-redes híbridas CA/CC	Modelamiento y simulación de micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión entre micro-redes y vehículos eléctricos	Control y dinámica entre micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión dinámica entre modos regulación/carga	Estrategias de control en modos de regulación/carga	Efectos producidos en modos de regulación/carga por la inserción de vehículos eléctricos	Afectación de variables eléctricas durante los modos de regulación/carga	Estimación de fallas en regulación/control	Fallas en componentes y líneas	Fallas de generación	Fallas durante el enlace y control	Redireccionamiento de flujos de potencia	Estimación del estado de carga (SOC)	Control y regulación de la energía	Enlaces energéticos en horarios específicos	Detección de fallas durante enlace en modo regulación/carga	Compensación con generación altera (FV) para mantener equilibrio entre modos	
12	2020	Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability	63	SI			X				X				X				X				
13	2020	Experimental results of electric vehicles effects on low voltage grids	10	NO		X		X				X						X				X	
14	2020	Vehicle-to-grid technology and its suitability for the Moroccan national grid	0	SI	X		X			X			X				X						
15	2021	The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environment carbon pollution control	3	NO			X	X			X			X									X
16	2020	Design and material characteristics of hybrid electric vehicle	11	NO		X						X				X							
17	2020	Life cycle environmental assessment of electric and internal combustion engine vehicles in China	3	NO			X	X		X				X							X		
18	2021	Economic competitiveness and environmental implications of hydrogen energy and fuel cell electric vehicles in ASEAN countries: The current and future scenarios	3	SI		X			X						X								
19	2020	Black-Box Small-Signal Structure for Single-Phase and Three-Phase Electric Vehicle Battery Chargers	1	SI				X	X					X							X		
20	2020	Active distribution network operation management with large penetration of hybrid electric vehicles and sustainable distributed energy generation	1	NO	X		X				X					X							
21	2020	Two-stage stochastic home energy management strategy considering electric vehicle and battery energy storage system: An ANN-based scenario generation methodology	8	SI	X		X			X					X			X					
22	2016	An Electric Vehicle Charging System Using an SMES Implanted Smart Grid	24	SI			X					X						X		X			
23	2019	Hybrid AC/DC microgrid test system simulation: grid-connected mode	21	NO		X								X			X						X

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”.

ITEM	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA		SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Problema; Objetivo	Micro-redes híbridas CA/CC	Modelamiento y simulación de micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión entre micro-redes y vehículos eléctricos	Control y dinámica entre micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión dinámica entre modos regulación/carga	Estrategias de control en modos de regulación/carga	Efectos producidos en modos de regulación/carga por la inserción de vehículos eléctricos	Afectación de variables eléctricas durante los modos de regulación/carga	Estimación de fallas en regulación/control	Fallas en componentes y líneas	Fallas de generación	Fallas durante el enlace y control	Redireccionamiento de flujos de potencia	Estimación del estado de carga (SOC)	Control y regulación de la energía	Enlaces energéticos en horarios específicos	Detección de fallas durante enlace en modo regulación/carga	Compensación con generación altera (FV) para mantener equilibrio entre modos
24	2020	Smart routing of electric vehicles for load balancing in smart grids	4	NO	X			X					X					X	X			
25	2011	Smart DC micro-grid for efficient utilization of distributed renewable energy	88	SI	X			X	X							X						
26	2015	Hybrid ac/dc microgrids - Part I: Review and classification of topologies	206	SI	X								X					X	X			
27	2015	Hybrid ac/dc microgrids - Part II: Review and classification of control strategies	156	NO		X							X			X			X			
28	2020	Simulation and modelling of micro-grid with energy storage system	0	NO	X				X					X					X			
29	2011	A centralized optimal energy management system for microgrids	218	NO				X			X			X								
30	2014	Selection and sizing of a hybrid electric vehicle powered by fuel cells. Comparison and analysis with an internal combustion vehicle	6	SI		X	X		X			X					X					
31	2015	Environmental Regulations Become Restriction or a Cause for Innovation – A Case Study of Toyota Prius and Nissan Leaf	27	SI		X		X			X						X		X			
32	2019	Vehicle-To-Grid Technology in a Micro-grid Using DC Fast Charging Architecture	8	SI	X	X			X									X				
33	2018	The distributed co-simulation protocol for the integration of real-time systems and simulation environments	28	NO	X								X			X			X			
34	2017	Modelling of electric and parallel-hybrid electric vehicle using Matlab/Simulink environment and planning of charging stations through a geographic information system and genetic algorithms	52	NO		X					X						X		X			
35	2015	Mathematical modeling and simulation of an electric vehicle	43	SI		X	X		X			X						X				

“ANÁLISIS DINÁMICO COMPARATIVO DE MODOS DE REGULACIÓN/CARGA EN LA INSERCIÓN DE SISTEMAS VE-CONECTADOS A MICRO-REDES HÍBRIDAS EN CA/CC”.

ITEM	AÑO	DATOS	CITAS	Problema; Objetivo	TEMÁTICA			FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA					
					TÍTULO DEL ARTÍCULO	Micro-redes híbridas CA/CC	Modelamiento y simulación de micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión entre micro-redes y vehículos eléctricos	Control y dinámica entre micro-redes y vehículos eléctricos	Conexión dinámica entre modos regulación/carga	Estrategias de control en modos de regulación/carga	Efectos producidos en modos de regulación/carga por la inserción de vehículos eléctricos	Afectación de variables eléctricas durante los modos de regulación/carga	Estimación de fallas en regulación/control	Fallas en componentes y líneas	Fallas de generación	Fallas durante el enlace y control	Redireccionamiento de flujos de potencia	Estimación del estado de carga (SOC)	Control y regulación de la energía	Enlaces energéticos en horarios específicos	Detección de fallas durante enlace en modo regulación/ carga
36	2020	Home energy management in a residential smart micro grid under stochastic penetration of solar panels and electric vehicles	4	NO	X								X		X					X		
37	2019	Energy Research & Social Science Expert perceptions of enhancing grid resilience with electric vehicles in the United States	10	SI	X	X				X			X				X					
38	2019	Contract-based utilization of plug-in electric vehicle batteries for day-ahead optimal operation of a smart micro-grid	13	NO		X					X			X		X						
39	2020	Hybrid photovoltaic/small-hydropower microgrid in smart distribution network with grid isolated electric vehicle charging system	5	NO	X	X										X				X		
40	2015	Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca	15	SI	X	X		X	X									X				
41	2020	Real-time energy management of photovoltaic-assisted electric vehicle charging station by Markov decision process	1	SI	X	X							X		X					X		
42	2017	Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with distributed energy sources for sustainable mobility	115	NO		X				X			X						X			
43	2019	Control, regulation and optimization of bidirectional energy flows for electric vehicles' charging and discharging	2	NO	X			X	X					X			X		X			
44	2020	Design and implementation of improved sliding mode control for electric vehicle voltage stabilization	1	NO			X		X			X				X			X			
45	2021	Optimal control of high-power density hybrid electric vehicle charger	0	SI		X		X			X				X							
46	2020	A dynamic charging strategy with hybrid fast charging station for electric vehicles	7	SI		X		X							X					X		
47	2020	Stochastic management of hybrid AC / DC microgrids considering electric vehicles charging demands	26	NO	X	X				X				X					X			
			CANTIDAD		23	22	14	14	8	10	4	12	7	9	13	6	12	12	8	14	5	8

11 Resumen de indicadores

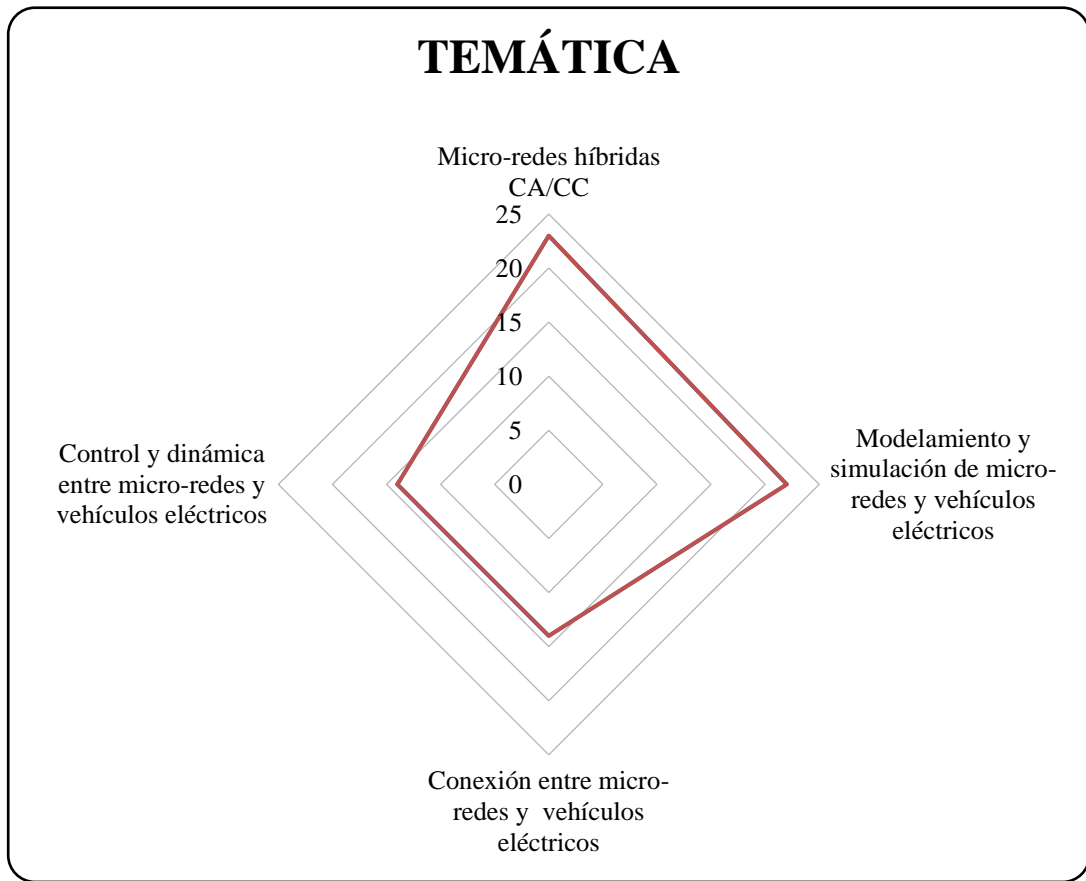


Figura 43. Resumen e indicador de la temática [Autor].

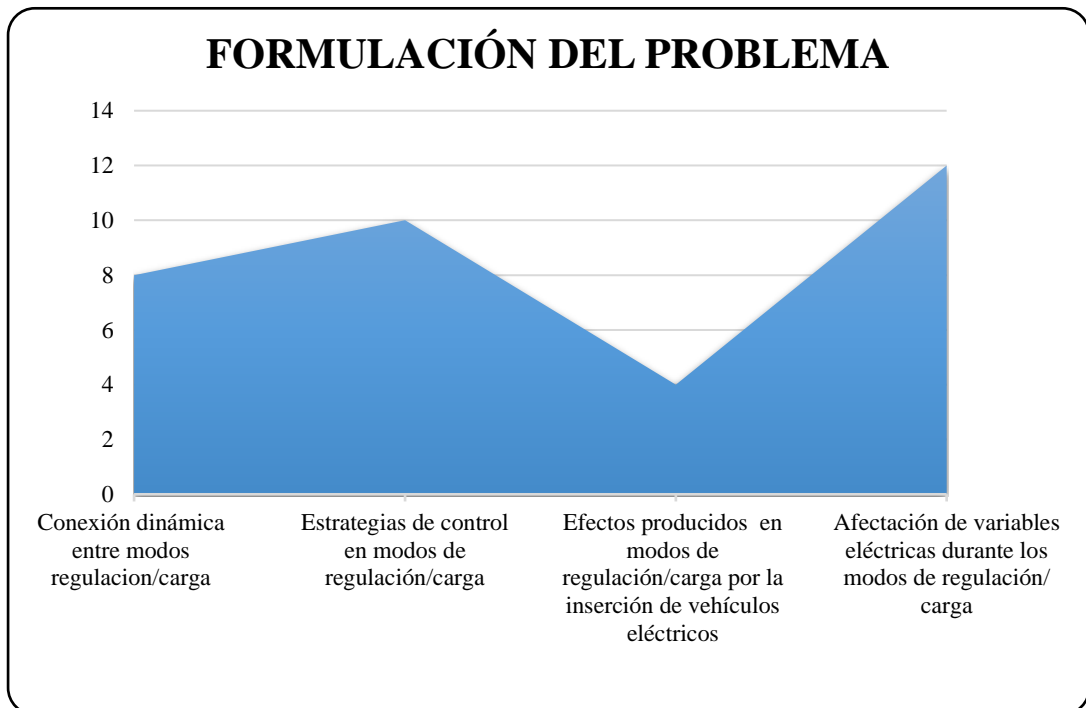


Figura 44. Indicador de formulación del problema [Autor].

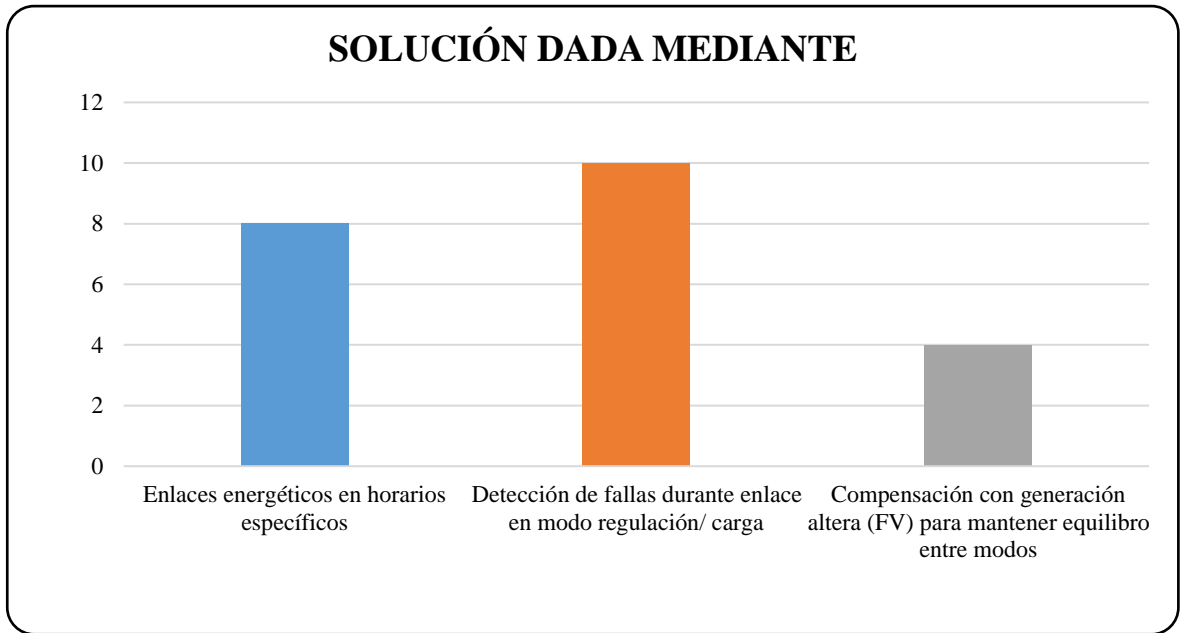


Figura 45. Indicador de solución [Autor].