

**DESPLIEGUE ÓPTIMO DE ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN USANDO UN MODELO
HEURÍSTICO BASADO EN TRAYECTORIAS**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DESPLIEGUE ÓPTIMO DE ESTACIONES DE
CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
EN REDES DE DISTRIBUCIÓN USANDO UN
MODELO HEURÍSTICO BASADO EN
TRAYECTORIAS**

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

AUTOR: MIGUEL ALEJANDRO ANDALUZ SALAS
TUTOR: JORGE PAÚL MUÑOZ PILCO

Quito -Ecuador
2022

Datos de Catalogación Bibliográfica

Miguel Alejandro Andaluz Salas

DESPLIEGUE ÓPTIMO DE ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN USANDO UN MODELO HEURÍSTICO BASADO EN TRAYECTORIAS

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2022

Electricidad

Breve reseña historia e información de contacto:



Miguel Alejandro Andaluz Salas (Y'1996). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Militar N°10 Abdón Calderón en la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el despliegue óptimo de estaciones de carga para vehículos eléctricos en redes de distribución usando un modelo heurístico basado en trayectorias.

mandaluzs@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Ing. Jorge Paúl Muñoz Pilco (Y'1989). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional, Quito –Ecuador, 2014, obteniendo el título de Ingeniero Eléctrico. Además, cursó estudios de posgrado como becario de Fundación Carolina en la Universidad Pública de Navarra, Pamplona –España, 2017, obteniendo el título de Máster en Energías Renovables: Generación Eléctrica. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo en la Universidad Politécnica Salesiana.

jmunoz@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con 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
©2022 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Miguel Alejandro Andaluz Salas con documento de identificación N° 1718387051 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 06 de mayo del año 2022

Atentamente,



Miguel Alejandro Andaluz Salas
1718387051

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Miguel Alejandro Andaluz Salas con documento de identificación No. 1718387051, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Despliegue óptimo de estaciones de carga para vehículos eléctricos en redes de distribución usando un modelo heurístico basado en trayectorias”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 06 de mayo del año 2022

Atentamente,



Miguel Alejandro Andaluz Salas

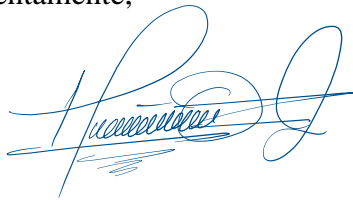
1718387051

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Paúl Muñoz Pilco con documento de identificación N° 1719006189, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESPLIEGUE ÓPTIMO DE ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN USANDO UN MODELO HEURÍSTICO BASADO EN TRAYECTORIAS**, realizado por Miguel Alejandro Andaluz Salas con documento de identificación N° 1718387051, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 06 de mayo del año 2022

Atentamente,



Ing. Jorge Paúl Muñoz Pilco, Msc.
1719006189

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico	3
2.1	Vehículos Eléctricos.....	3
2.1.2	Consumo de Energía de Vehículos Eléctricos	4
2.1.3	Red Eléctrica de Distribución en Vehículos Eléctricos	4
2.1.4	Estaciones de Carga de Vehículos Eléctricos.....	5
2.1.5	Modelo heurístico.....	8
3	Formulación de Problema	8
3.1	Características más representativas del sistema del parque Automotor para determinar el consumo	8
3.2	Generación del escenario	9
3.3	Pseudocódigo	9
4	Análisis de resultados.....	9
4.1	Análisis de ubicación óptima de estaciones de carga en la red de distribución ...	10
4.2	Escenario de Flujo sin Estaciones de carga.....	11
4.3	Escenario de Flujo con Inserción de Estaciones de Carga en la red de distribución 12	
5	Conclusiones	14
5.1	Trabajos futuros.....	15
6	Referencias	15
6.1	Matriz de Estado del Arte.....	18
6.2	Resumen de Indicadores.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración básica de los Vehículos Eléctricos.....	3
Figura 2. Modelo de estaciones de carga para Vehículos Eléctricos en redes de Distribución.....	6
Figura 3. Ubicación óptima y puntos de carga ubicados mediante el modelo Heurístico.	10
Figura 4. Ubicación en mapa de los puntos de carga.....	10
Figura 5. Red georreferenciada a estudiar en Cymdyst.	11
Figura 6. Voltaje en cada Nodo en (pu).	11
Figura 7. Voltaje en (pu) con inserción de VE en la red.....	12
Figura 8. Cargabilidad en las líneas de la red de distribución	12
Figura 9. Pérdidas en las líneas de distribución	13
Figura 10. Cargabilidad de Transformadores	13
Figura 11. Cargabilidad de Transformadores peor caso	13
Figura 12. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	20
Figura 13. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	21
Figura 14. Indicador de solución - Estado del arte.	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .Datos de los Modos de Carga.	7
Tabla 2. Precios de Venta de VE en Ecuador	8
Tabla 3.Pseudocódigo del algoritmo solución	9
Tabla 4. Límites del Escenario Real Para Estudiar.	10
Tabla 5. Resultados del Flujo de Carga sin inserción de VE.	11
Tabla 6. Resultados del Flujo de Carga con inserción de VE.	12
Tabla 7. Matriz del Estado del Arte	18

DESPLIEGUE ÓPTIMO DE ESTACIONES DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN USANDO UN MODELO HEURÍSTICO BASADO EN TRAYECTORIAS

Resumen

Los vehículos eléctricos son ampliamente considerados como una solución prometedora para reducir la contaminación del aire en las ciudades y clave para una movilidad baja en carbono. Sin embargo, sus beneficios ambientales dependen del contexto temporal y espacial, el uso real y el despliegue de los vehículos eléctricos se complica por cuestiones de autonomía. Se ha propuesto una heurística para la inserción de vehículos eléctricos, así como la ubicación óptima de estaciones de carga, dado en un escenario de red de distribución georreferenciado, utilizando el consumo energético asociado a las características de vehículos eléctricos desarrollado en base a datos reales, reduciendo el emplazamiento mínimo de estaciones de carga.

Adicionalmente se ha evaluado en la red de distribución de Santo Domingo-Ecuador, el perfil de voltaje, cargabilidad y pérdidas en cada nodo de forma que permita garantizar un equilibrio técnico y económico.

Palabras Clave: Despliegue óptimo, Modelo heurístico, red de distribución georreferenciado, consumo energético, vehículo eléctrico, pérdidas técnicas.

Abstract

Electric vehicles are widely regarded as a promising solution for reducing air pollution in cities and a key to low-carbon mobility. However, their environmental benefits depend on the temporal and spatial context of actual use, and the deployment of electric vehicles is complicated by issues such as limited scope. This work proposes a heuristic for the insertion of electric vehicles, as well as the optimal location of charging stations given in a georeferenced distribution network scenario, using the energy consumption associated with the characteristics of electric vehicles that was developed based on real data, reducing the minimum location of charging stations.

Additionally, the voltage profile, chargeability and losses in each node are evaluated in the Santo Domingo distribution network in order to guarantee a technical and economic balance.

Keywords: Optimal deployment, Heuristic model, georeferenced distribution network, Distribution systems, energy consumption, electric vehicle, Loss.

1 Introducción

La necesidad de medios de transporte para el desarrollo de nuestras ocupaciones ha estado presente durante la crónica de la raza humana. Según el último Balance Energético Ecuatoriano de 2017, el sector transporte representó el 52,29% (45.098 kBEP; 73.427,76 GWh) del consumo total nacional de energía [1]. En consecuencia, es fundamental seguir buscando mecanismos que brinden flexibilidad en el consumo de fuentes que proviene de energía fósil, facilitando así la migración a otras fuentes de energía primaria. Estos permitirían el desarrollo de las mismas actividades pero con un mínimo impacto ambiental y reducidas emisiones contaminantes al planeta [2].

Los organismos encargados de la planificación energética deben considerar escenarios desde el punto de vista de la oferta y la demanda donde los sistemas de movilidad eléctrica sean representativos, así como mecanismos e insumos técnicos no solo a nivel de ingeniería sino también en el marco regulatorio que permitan la transición tecnológica sin producir desventajas en la operación de los sistemas de suministro de energía eléctrica [3].

A medida que los vehículos eléctricos aumentan su participación en el mercado, va a merecer la atención de las compañías eléctricas. Su inclusión en sistemas de potencia representa un gran aumento en la demanda de carga, causando muchos problemas de la degradación de la calidad de la energía, aumento de las pérdidas de energía. Sin embargo, puede ocurrir un problema entre los operadores de red y los propietarios de las estaciones de carga ya que puede darse el caso en que existan diferencias por que los propietarios de las estaciones de carga buscan el lugar comercial donde puedan cargar los

vehículos eléctricos, pero a menor costo. Por otro lado, los operadores de la red eléctrica estiman que las estaciones de carga estén localizadas de tal forma que permitan alimentar un número predeterminado de vehículos, impactando de la menor forma posible a la red eléctrica [4].

En cuanto al perfil de carga y consumo de los Vehículos Eléctricos (VE), se consideró la información histórica de los registros de taxis eléctricos que operan en la ciudad de Loja, así como un modelo desarrollado por los autores que toma en cuenta el proceso de carga de las baterías de los VE, modificados en un modelo novedoso que representa el sistema de carga de la batería de los vehículos eléctricos en función de su estado de carga y su variabilidad actual y tiempo de carga.

El problema general radica en ubicar y dimensionar, de forma óptima, las estaciones de carga a lo largo de una red de distribución georreferenciada de 34 nodos, por lo que en la heurística planteada se parte de sitios candidatos en la red de los cuales pueden ser lugares públicos, es decir que es un método iterativo que conoce el área de estudio ya que esta información se la extrae de Open Street Maps (OSM), así como el uso del software MATLAB para implementar la teoría de grafos que permitirá encontrar los nodos y topología que formara parte del conjunto solución. Para después evaluar los perfiles de voltaje y pérdidas en cargas simulado en Cymdyst.

Finalmente, la estructura del artículo se organiza de la siguiente manera. Las características del parque automotor convencional y eléctrico, consumo, carga se discuten en la sección 2; en la sección 3 se presenta el planteamiento del problema, caso de estudio determinación del consumo del vehículo eléctrico, entre

otros; en la sección 4 comprende el análisis de resultados. Finalmente, en la sección 5 se concluye y contempla los trabajos futuros.

2 Marco teórico

2.1 Vehículos Eléctricos

Los VE tienen los beneficios de un automóvil cero emisiones que contempla eliminar combustibles fósiles, bajo ruido del motor y mayor eficiencia de propulsión. Muchos gobiernos locales han demostrado su compromiso con la electromovilidad, particularmente en zonas urbanas pobladas y áreas con graves problemas de calidad del aire, para lo cual el VE necesita cargar de energía a través de un inversor y a su vez conectarse a la red de alimentación, normalmente usan grandes paquetes de baterías para darle al vehículo una aceptable autonomía [5].

El motor eléctrico usa comúnmente unidades síncronas con imanes permanentes y una potencia nominal que varía de 50 kW a 160 kW ya que utiliza hasta el 95% de la energía de entrada para impulsarlo, lo que lo convierte en una unidad muy eficiente. Los componentes clave de un vehículo eléctrico son las celdas de baterías, el puerto de carga, el cargador, el convertidor, el inversor, el freno regenerativo y el sistema de propulsión [6].

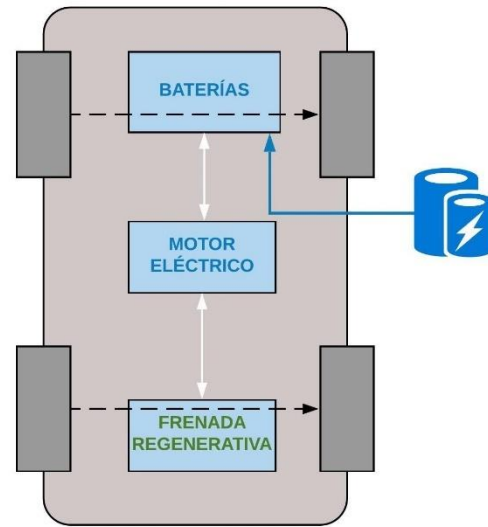


Figura 1. Configuración básica de los Vehículos Eléctricos.

El objetivo del motor eléctrico es usar la energía eléctrica almacenada en las baterías para alimentar el vehículo eléctrico. La funcionalidad primordial de la batería es dar energía al carro eléctrico para que se encuentre en condiciones de desempeño. Los vehículos eléctricos se vuelven respetuosos con el medio ambiente ya que se recargan con fuentes de energía de menor emisión [7].

En la actualidad a diferencia del vehículo eléctrico puro, existen otras variantes y se pueden clasificar en tres categorías:

- *Vehículos Eléctricos de Batería (BEV)*: Estos vehículos son propulsados al 100% por energía eléctrica. Dichos automóviles no tienen un motor de combustión y no utilizan ningún tipo de combustible líquido. Los BEV normalmente usan grandes paquetes de baterías para darle al vehículo una aceptable autonomía [8].
- *Vehículos Eléctricos Híbridos (HEV)*: los vehículos híbridos

cuentan con un motor de combustión interna de menor cilindraje, el mismo que puede proporcionar energía al motor eléctrico, dar potencia al vehículo o funcionar paralelamente con el motor eléctrico a velocidades y torques más altos [9].

- *Vehículos Eléctricos Híbridos Enchufables (PHEV)*: Un vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) tiene al menos un sistema de almacenamiento de energía de batería de 4 kWh; podría ejecutar una longitud de 16.1 km solo en modo de transmisión eléctrica; y tiene medios para recargar el sistema de almacenamiento de energía de una fuente de electricidad externa [10].

2.1.2 Consumo de Energía de Vehículos Eléctricos

El requisito previo para la planificación de las estaciones de carga es crear las condiciones para un adecuado consumo de energía eléctrica. Por otra parte, los vehículos eléctricos tienen características de cero emisiones; ruido bajo en el motor y una mayor eficiencia de propulsión [11].

Desde el punto de vista de los sistemas de transporte ya sea público o convencional una enorme proporción de consumo de energía se debe al desplazamiento ineficiente del tráfico. El modelo flexible de estimación del consumo de energía se apoya en la evaluación del consumo con base en los datos de otros vehículos en la red de carreteras, que tienen la posibilidad de ser exactos gracias a los diferentes modelos de vehículos y la eficiencia energética [12],[13].

El costo por consumo de energía cada 100 km de un transporte eléctrico es hasta tres veces menor que el costo que tendría un vehículo convencional que utilice combustible fósil, esto tomando en cuenta que en Ecuador existen tarifas más bajas, tanto de gasolina como de electricidad [14].

Al analizar el costo real de la electricidad en el país y el precio internacional de la gasolina, el VE sigue siendo inferior al de un vehículo de combustión térmica, por ende, el vehículo eléctrico es más rentable y eficiente incluso con el subsidio al combustible que existe en el país. Esta ventaja también es visible en Europa [14].

2.1.3 Red Eléctrica de Distribución en Vehículos Eléctricos

Dentro del crecimiento exponencial de los VE en porciones moderadas, no debería causar demasiados inconvenientes, sin embargo, su amplia adopción probablemente creará un impacto en la operación y gestión de las redes eléctricas de distribución, como congestiones, inconvenientes de voltaje y desequilibrios de carga entre fases [15].

En función de la autonomía del Vehículo Eléctrico, la carga desmesurada de las baterías, de dichos autos tendrá un impacto en el sistema de distribución por lo que incrementaría la demanda de carga, introduciendo perturbaciones en el Sistema Eléctrico Interconectado, lo que impone a incrementar la generación y hacer probables refuerzos con la penetración de energía renovable para así mantener el equilibrio entre lo generado y consumido [16].

Aproximadamente, la velocidad de carga de la batería depende de la salida de la estación de carga y de las especificaciones técnicas del automóvil eléctrico. La curva pico de carga diaria durante un día en el peor caso tendría un mayor consumo en las horas del mediodía y la tarde, y un menor consumo en la madrugada [17].

Para garantizar la continuidad del suministro eléctrico y llegar a estabilizar la curva de demanda que en efecto cambia según el tiempo y tipo de carga diaria de un vehículo eléctrico, se considera estrategias y gestiones donde no afecte al sistema eléctrico y llevar a cabo una Integración masiva de vehículos eléctricos de forma planificada [18].

2.1.4 Estaciones de Carga de Vehículos Eléctricos

Para la integración de vehículos eléctricos, se necesita introducir estaciones de carga, principalmente para las baterías dependiendo del tipo de carga, velocidad y capacidad ya que estas estaciones cumplen un papel importante en el funcionamiento del automóvil, estos coches se pueden cargar tanto con corriente alterna o continua [19].

La estación de carga debe proporcionar la cantidad de energía eléctrica necesaria para la carga de vehículos eléctricos independiente de las especificaciones de la red incluso durante los picos diarios. La carga convencional de vehículos se la realiza generalmente con sus propios cargadores conectados a la corriente alterna de la red de distribución. La potencia de entrada para cargar normalmente no supera los 10-15 kW [20].

Para los vehículos eléctricos, se consideran diferentes tipos de carga dependiendo de aspectos como el diseño, tamaño, flujos de voltaje y corriente y la carga según la velocidad lo que es dependiente de manera directa del tipo de batería [21].

2.1.4.1 Tipos de Estaciones de Carga de Vehículos Eléctricos

La clasificación de tipos de carga se la realiza en términos de voltaje, potencia y lugar de aplicación, en la actualidad se dividen en tres tipos diferentes de estaciones de carga, conforme con la necesidad del usuario ya sea, cargador doméstico en área residencial, cargador robusto en comercial y cargador rápido en ubicación estratégica [16].

- a) *Carga lenta:* Se la conoce como recarga normal o convencional. Se realiza a 16 A., es conveniente para una toma de corriente residencial (120 V-CA). Demanda una potencia de carga de 3,6 kW. Recarga completa de baterías de 22 a 24 kWh.
- b) *Carga semirrápida:* Soporta hasta una potencia de carga de 22 kW, estos cargadores son especialmente adaptados para baterías PEV que se pueden cargar completamente en siete horas. La potencia de carga en este tipo de estación puede durar cinco veces más alto que la carga lenta.
- c) *Carga rápida:* Demanda una potencia de carga de 44-50 kW., que proporciona una Autonomía de 350 km en media hora de carga. En este nivel, el cargador tiene que estar fuera de borda porque la potencia supera los 100 kW, que es significativamente superior a otros niveles. La Corriente

Continúa de alta potencia se alimenta directamente a las baterías de tracción del EV a través de la entrada de carga en el vehículo [22].

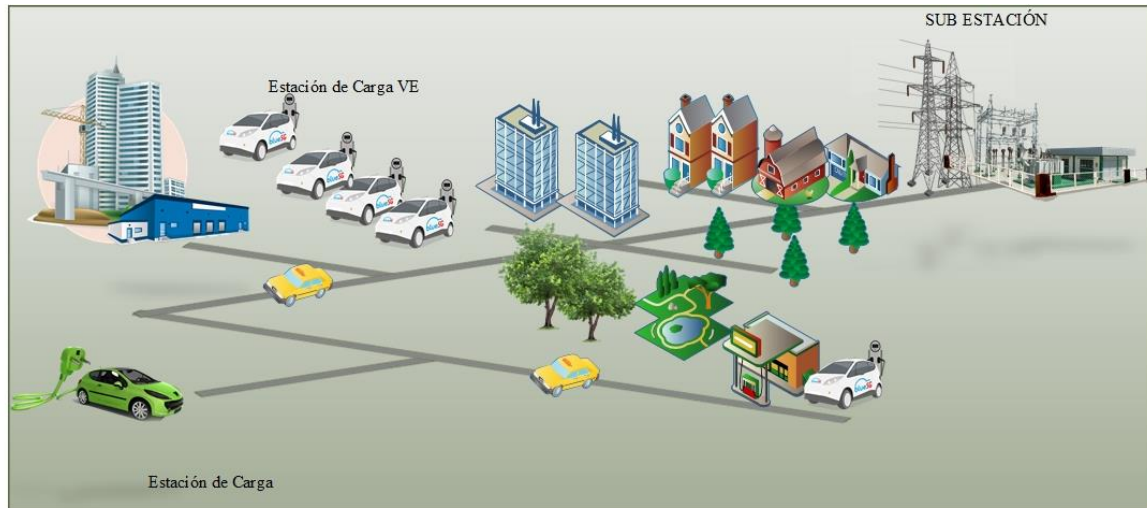


Figura 2. Modelo de estaciones de carga para Vehículos Eléctricos en redes de Distribución.

2.1.4.2 Modos de carga

Los modos de carga están condicionados por la infraestructura, y un sistema de control ya que se puede monitorear el proceso de carga con la red eléctrica e involucran el nivel de comunicación entre el vehículo y la estación de carga. Teniendo así a cuatro tipos de modos que están bajo la norma IEC 61851 [23].

- *Modo 1*: en el Modo 1 su recarga se la realiza en la red de los hogares de los usuarios ya que tiene solo una fase, es decir es residencial por lo que es apto para el enchufe convencional. La corriente de operación máxima es de 16 A y trabaja a un voltaje de 250V, con una potencia máxima de 3.7 kilovatios, se considera por sus características como un tipo de carga lenta [24].
- *Modo 2*: A comparación del Modo 1 se caracteriza por tener un sistema de protección integrado, el cual tiene un sistema de control entre el automóvil y la conexión, de esta forma además cuenta con un sistema de protección diferencial. Soporta una corriente hasta 32 A, con una potencia similar al modo 1, cuenta con una toma destinada para comunicación entre el vehículo eléctrico y la red, utilizada para el sistema de control la cual indica la correcta conexión del conector [25].
- *Modo 3*: Es un método de carga de AC, que se conecta de manera directa a la red eléctrica por medio de un circuito dedicado. Sus características son: alto grado de comunicación entre el VE y la red eléctrica, mayor seguridad, corriente de 32 A y máximo de 64 A, voltaje 250 V y potencia en el rango de 8 kW

a 43 kW, es dependiente de la corriente aplicada. Los conectores que se usan para este modo son: Combinado, Scame, SAE J1772 y Mennekes [26].

- *Modo 4*: Es un método de carga de DC, el cual usa un cargador externo que posibilita una velocidad de carga instantánea. En el punto de carga se usa un conversor de AC/DC, este método se utiliza en las estaciones de carga o mal denominadas “electrolineras” ya que se maneja potencias superiores a los 50 kW, además un voltaje máximo de 480 V. Se utiliza los conectores: CHAdeMO, SAE J1772, Combinado y Scame [26].

Tabla 1 .Datos de los Modos de Carga.

	Modo de Carga			
	Modo1	Modo2	Modo3	Modo4
Corriente (A)	16A	32A	64A	Hasta 400A
Tipo de Carga	Lenta	Lenta	Semi-rápida	Rápida
Potencia (KW)	3.8-11	7.7-22	14.8-43	40-120
Conector Especifico	No	No	Si	Si

2.1.4.3 Tipos de Conectores

Existe una gran diversidad entre los tipos de conexión porque todavía no existe una estandarización. Cada fabricante utiliza el que considera más adecuado, en algunos casos utilizan un modelo propietario. Los conectores para vehículos eléctricos están regulados por IEC62196 y modificados por IEC 62196-2 [27].

- *Schuko*: El uso de este tipo de conector es doméstico ya que es

compatible con tomas de América y Europa, su corriente nominal de operación es hasta de 16 A, por lo que se le considera de carga lenta, se la utiliza para cargar motos y bicis eléctricas no posee comunicación incorporada [28].

- *SAE J1772*: Se lo conoce también como Yazaki, originado en Norteamérica, posee cinco bornes, dos de ellos de corriente, uno de puesta a tierra y los dos sobrantes para la comunicación con la red. Este tipo de conector se clasifica en dos tipos de niveles, el primero de ellos es la carga lenta que su corriente de operación máxima es hasta de 16 A y la carga rápida que soporta una corriente hasta 80 A [29].
- *Mennekes*: Conector de origen alemán de tipo industrial optado también por Estados Unidos el cual se utilizan para carga lenta tanto en configuración monofásico con una corriente hasta 16 A y en trifásico con una potencia de 43.8 kW con una corriente hasta 63A [30].
- *CHAdeMO*: Este tipo de conector se lo consideró como el primer método de carga rápida en el mundo, es el estándar de la industria Japonesa, ya que es el único con certificación de carga que permite la comunicación entre el automóvil y el cargador, además está especificada para que trabaje en corriente continua para una carga rápida [30].

La mayor parte de las naciones de Europa usan los conectores ordenados por la directiva de la Alianza Europea. Mientras tanto que los cargadores CHAdeMO se permanecen usando en Australia, Sudáfrica y América del Sur. Los protocolos de carga están sujetas a

diferentes conexiones físicas, lo que hace difícil que dichos enfoques sean compatibles en las diversas zonas [31].

A partir del principio de la construcción de vehículos eléctricos se han diseñado varios tipos de enchufes pensando constantemente en la estabilidad, confiabilidad y facilidad de uso.

2.1.5 Modelo heurístico

El modelo heurístico conoce un área de estudio georreferenciado ya que analiza un sistema de 34 nodos real de donde se obtiene los datos de los nodos. Esta información se la extrae desde el Open Street Maps, en un archivo (.OSM) por lo tanto el modelo es capaz de establecer la ubicación óptima de estaciones de carga, considerando las características relacionadas a los perfiles de consumo, recorrido y autonomía de los vehículos eléctricos, por lo que el modelo determinará el número de posibles alimentadores para vehículos eléctricos en la red eléctrica estudiada [32].

Consecuentemente, en [33] se explica de manera estándar el modelo heurístico para resolver el problema de programación para lo cual se usara el algoritmo de kmeans para generar clúster, mediante el modelo de red de distribución de 34 nodos generados en Cymdyst se repartirán en escenario donde dejará obtener la potencia, voltaje y consumo a la cual actúan las estaciones de carga tomando en consideración, lugares públicos [32].

3 Formulación de Problema

En la sección 3 se resuelve el problema para la optimización de estaciones de carga, así como la ubicación y georreferenciación en el sistema de distribución.

3.1 Características más representativas del sistema del parque Automotor para determinar el consumo

Para determinar las características del parque automotor, se realizó una comparación tanto del vehículo convencional y eléctrico tomando en cuenta el recorrido, autonomía y consumo. Para esto se muestran los costos de varios modelos de vehículos eléctricos que son usados en Estados Unidos sin impuestos y sin subsidios, pero de gama baja estos vehículos ya han sido insertados en Ecuador.

Tabla 2. Precios de Venta de VE en Ecuador

<i>Tipo de Vehículo</i>	Modelo	Precio de Venta en USA sin impuesto [USD]
	Chevy Bolt	37 495
	Ford Focus Electric	29 120
	Nissan Leaf	30 680
VE	Fiat 500e	31 800
	BYD e5	34 990
	Volkswagen e- Golf	28 995

Fuente: [34]

Para realizar la comparación de costos se tomó en cuenta el vehículo de combustión más utilizado en Ecuador, el modelo es el Chevrolet Aveo, y como vehículo eléctrico el modelo Nissan Leaf, para lo cual el costo inicial del vehículo eléctrico vs el vehículo de combustión, el vehículo eléctrico tiene un incremento del costo con un 85 % respecto al costo del vehículo convencional.

Los costos por el consumo energético se determinaron en función de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante del vehículo eléctrico. Se

espera que varias marcas y modelos de vehículos eléctricos circulen próximamente por las carreteras de Ecuador.

Varios modelos en circulación son BYD e5, Nissan Leaf y Kia Soul EV, cuentan con sistemas de baterías eléctricas con distintas capacidades que varían de 24 kWh a 75 kWh. En este análisis, el planteamiento propuesto es acertado al establecer a través de modos y usos de vehículos específicos una característica promedio que determina la empleabilidad de este sistema de movilidad, estableciendo así una relación y comportamiento en función del desempeño del VE que permita estimar los requerimientos energéticos para carga de vehículos eléctricos en la estación de carga modelada.

Se establece que los usuarios de vehículos generalmente registran menos de 50 km por día, con un índice de desempeño para vehículos eléctricos de 8 km / kWh (0,122 kWh / km) en condiciones ideales de tráfico y geografía, se concluye que la energía demandada por el VE de la red sería de 0,144 kWh por cada kilómetro recorrido.

3.2 Generación del escenario

El escenario se basa en dos aspectos importantes, uno de ellos es la obtención de datos reales y georreferenciados con el uso de Open Street Maps para determinar el área de estudio, el segundo es analizar los perfiles de consumo, recorrido y autonomía de los vehículos eléctricos, para así aplicar la heurística que se encargaran de la ubicación de estaciones de carga de vehículos eléctricos. Utilizando Cymdist en una red de distribución georreferenciada de 34 nodos, que determina los escenarios como el flujo de carga, voltaje,

cargabilidad y pérdidas técnicas, minimizando costos e impactos a la red de distribución.

3.3 Pseudocódigo

El algoritmo se encargará de determinar la ubicación óptima de estaciones de carga mediante la extracción de las características de los vehículos eléctricos, mediante la red de 34 nodos georreferenciado. Esta ruta podrá ser útil para el estudio de cualquier escenario real de un sistema eléctrico según sean los escenarios de la demanda determinado por Cymdyst.

Tabla 3.Pseudocódigo del algoritmo solución

Algoritmo Emplazamiento de Estaciones de Carga	
Paso 1:	Georreferenciación y generación del escenario
Paso 2:	Obtener las coordenadas de la zona.
Paso 3:	Declaración de variables X_{ij}, Z_{ij}, λ
Paso 4:	Leer archivo OSM Openstreetmap.
Paso 5:	Mínima distancia habilitante. For $k \leftarrow$ longitud (X_{ij}) [v]=BVE (λ, X_{ij}) end for
Paso 6:	Escritura Función Objetivo. $\min \sum_{i,j}^n \sigma_{ij} * \alpha$
Paso 7:	Sitios Candidatos al área de estudio $X_{ij} \in A_{(n)}, \forall n > 1 \in \mathfrak{R}^+$
Paso 8	Fin

4 Análisis de resultados

Una vez propuesto el modelo a emplear se obtendrá un resultado, el cual se desarrolla en dos escenarios que se basan en un caso de estudio base donde será el punto de partida para analizar los diferentes comportamientos de la red cuando entran

en operación las estaciones de carga y el impacto en los elementos a casos de estudios futuros de carga a la red de distribución.

4.1 Análisis de ubicación óptima de estaciones de carga en la red de distribución

Uno de los objetivos de este artículo es encontrar la ubicación óptima para estaciones de carga, para evaluar en una red de distribución georreferenciada tomando en cuenta las características de los vehículos eléctricos, insertados en Ecuador tanto en su consumo recorrido y autonomía comparando con los vehículos convencionales basándose en satisfacer la demanda del usuario.

En primera instancia, es necesario extraer las coordenadas de la zona a estudiar, por medio del Open Street Maps que ayuda a la georreferenciación del escenario por ende se obtuvo como dato la longitud y latitud puesto a continuación;

Tabla 4. Límites del Escenario Real Para Estudiar.

Longitud	Latitud
-79.19	-0.254
-79.14	-0.242

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de la optimización para encontrar los puntos estratégicos de estaciones de carga para el correcto funcionamiento de la red, ya que se tomó en cuenta puntos estratégicos de acceso al público en la red georreferenciada, como son parques, centros comerciales, gasolineras, la partición del escenario surge de la red de distribución, por ende se toma la distancia mínima de la ubicación del vehículo eléctrico dependiendo las características hacia la estación de carga.

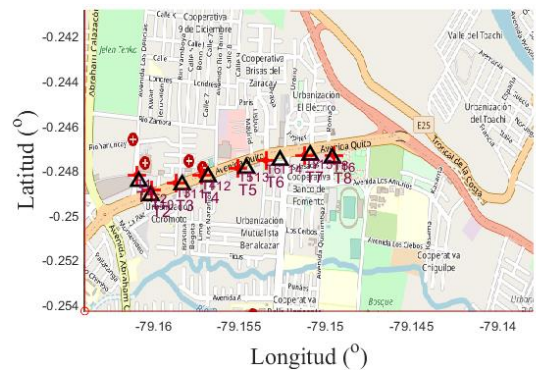


Figura 3. Ubicación óptima y puntos de carga ubicados mediante el modelo Heurístico.

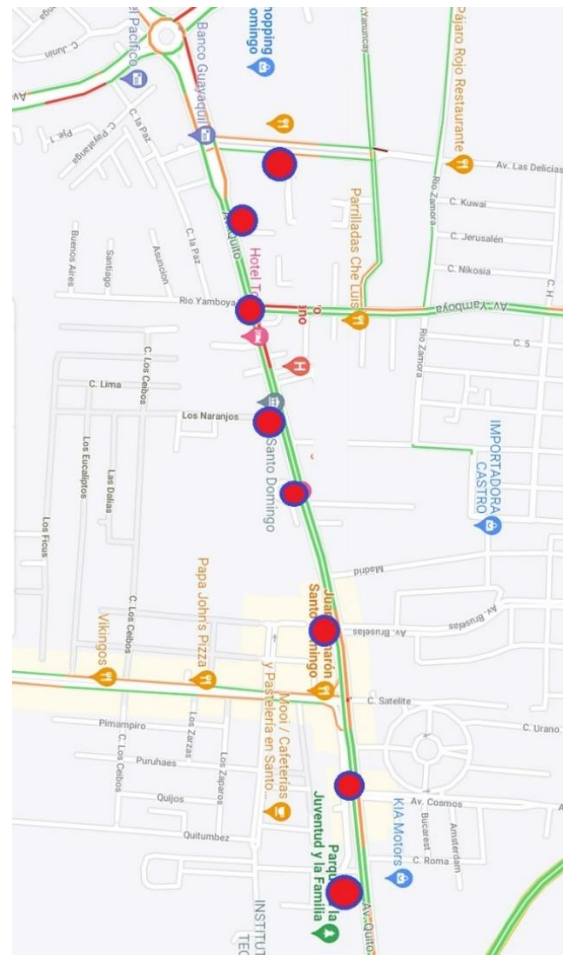


Figura 4. Ubicación en mapa de los puntos de carga

Mediante la figura 3 y figura 4 se puede observar los puntos estratégicos para colocar las estaciones de carga para vehículos eléctricos, el algoritmo sugiere una cantidad de 8 sitios candidatos para las

estaciones de carga por lo que representa una mínima ruta de conectividad donde se analizará en la red de distribución, el análisis se la realizó con alimentadores de carga rápida, tomando en consideración las características de vehículos eléctricos, así como los factores técnicos analizados en el capítulo 3. En el estudio comparativo de [35], se sugiere la cantidad de 5 estaciones para 11 autobuses, tomando en cuenta que la carga es de 1 hora. Para una red fuerte como la estudiada cada estación cuenta con 3 puntos de carga rápida de 25 minutos, lo que significa que en una hora aproximadamente podrían cargarse 58 vehículos.

4.2 Escenario de Flujo sin Estaciones de carga

Una vez realizada la simulación en la red de distribución radial que cuenta con 147 barras una de ellas de oscilación, con un voltaje de operación de 13.60 kV, el análisis se lo realizó en 34 nodos principales donde las demás barras son de carga y se encuentran relacionados con diferentes tipos ya sean residencial, industrial y comercial.



Figura 5. Red georreferenciada a estudiar en Cymdyst.

En la figura 6 se puede determinar el flujo de carga con demanda máxima, sin inserción de estaciones de carga donde se puede ver el comportamiento de las barras dado en (pu), donde va de un límite de voltaje hasta 1 (pu) en los 34 nodos principales, por lo que se observa que ninguno pasa el límite de operación, así como ningún nodo está con un perfil de voltaje bajo, por la cual corrido el flujo la red es óptima.

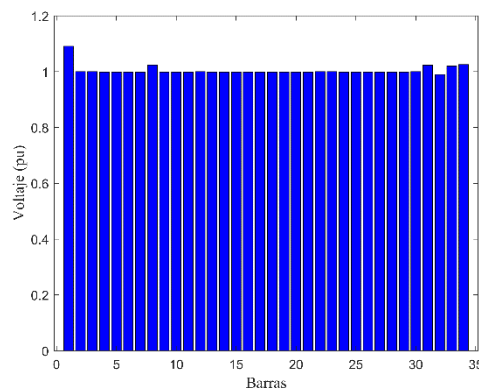


Figura 6. Voltaje en cada Nodo en (pu).

A continuación, en la tabla 5, se observa el resultado del flujo de carga, así como las pérdidas en líneas y cables.

Tabla 5. Resultados del Flujo de Carga sin inserción de VE.

	Resultados Simulación		
	kW	kVAr	kVA
Producción total	449.34	97.76	459.85
Cargas Totales	448.64	96.13	458.82
Pérdidas Líneas	0,43	1,26	1,34
Pérdidas Cables	0	0	0
Pérdidas Totales	0,7	3.96	4.03

Para el caso de estudio se puede ver que el flujo es óptimo y no existe sobre carga o sobretensión en ninguna barra y líneas de

distribución, por ende, se evalúa las pérdidas y estas son mínimas. Esto es esencial y se puede mencionar que el problema de la gestión de vehículos es la demanda estocástica y las horas pico [36], situación que se resolvería en este punto.

4.3 Escenario de Flujo con Inserción de Estaciones de Carga en la red de distribución

Por medio del flujo de carga a demanda máxima con vehículos eléctricos totalmente descargados, se analiza el comportamiento de voltaje en la red ya que cada nodo seleccionado de la red de distribución contará con 3 estaciones de carga cada una con una potencia de 150Kw ya que cuenta con una carga rápida que beneficie al uso de vehículos eléctricos.

En la figura 7 se observa el voltaje en (pu) de cada barra analizada ya insertadas las estaciones de carga, en donde la red se comporta de manera eficiente, aunque el perfil de voltaje todavía está dentro de los límites prescritos, y opera ya con una sobretensión del 9.06% en el alimentador de la Red .

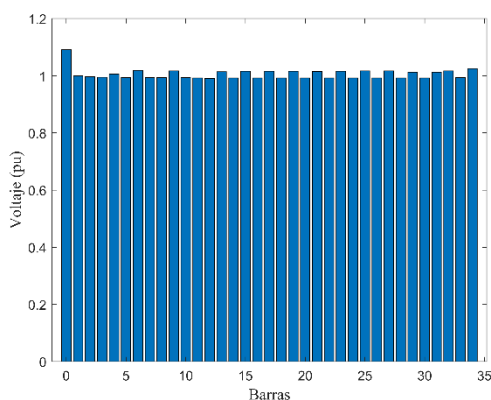


Figura 7. Voltaje en (pu) con inserción de VE en la red

Tabla 6. Resultados del Flujo de Carga con inserción de VE.

	Resultados Simulación		
	kW	kVAr	kVA
Producción total	3634	287,65	3645,37
Cargas Totales	3598,55	96,14	3599,83
Pérdidas Líneas	22,29	62,49	66,35
Pérdidas Cables	0,03	0	0,03
Pérdidas Totales	35,45	3.96	4.03

Tras analizar la cargabilidad representada en la figura 8 las líneas con mayor índice en la red de distribución con un 35% aproximadamente, son las que están cerca a la fuente, conforme se alejan el porcentaje se mantiene estable a excepción de los nodos donde están conectadas las estaciones de carga, en el nodo 17 donde aumenta un 24% y va constantemente hasta llegar al nodo más alejado donde también existe un 13% de cargabilidad en las líneas y conductores donde no existe un porcentaje considerable, por lo tanto no se necesita aumentar líneas en este tramo de la red .

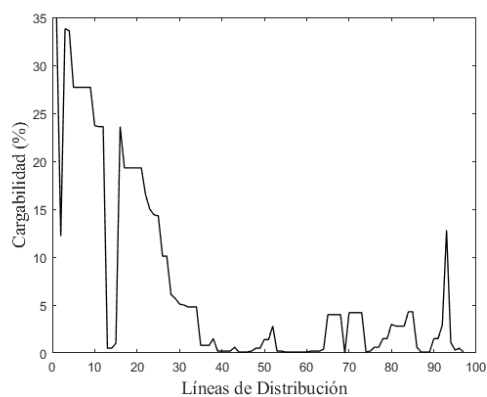


Figura 8. Cargabilidad en las líneas de la red de distribución

Al analizar las pérdidas en las líneas se observa que el mayor número está en la fuente por la distancia extensa a las

estaciones de carga, por ende, es donde existe el mayor número de pérdidas en los nodos de la red de distribución, donde se conectan las estaciones de carga, así como en los conductores las pérdidas son mínimas por ende la caída de tensión a demanda máxima de carga es del 0.254% siendo así aceptable y óptimo para la operación de estaciones de carga en la red eléctrica de distribución.

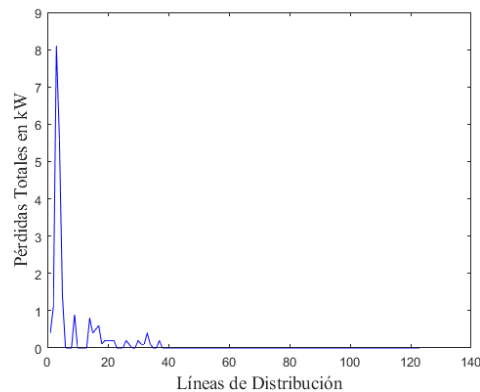


Figura 9. Pérdidas en las líneas de distribución



Figura 10. Cargabilidad de Transformadores

Las cargas de los transformadores de los dos casos simulados en la figura 10, se muestran en un primer caso base en ausencia de estaciones de carga de VE. En la simulación se aprecia que la carga máxima del transformador alimentador es aproximadamente 60% en el caso base. No obstante, aumentó al 70% cuando se integraron estaciones de carga en la red de

distribución. Lo mismo sucedió con el transformador del nodo 17, donde su porcentaje de carga aumentó del 57% en el caso base al 69% en el caso de inserción de estaciones de carga. También está claro que no hay sobrecarga en ningún transformador. Además, al comparar los resultados del caso base con la inserción de estaciones de carga, se puede observar que la carga máxima de los transformadores es casi idéntica en ambos casos. Esto se debe a que las cargas adicionales resultantes de la carga de VE se desplazaron desde las horas pico.

Finalmente se estima que en la Red de distribución a proyección a 5 años se tendría que necesariamente aumentar transformadores y líneas de distribución para solventar la demanda en las cargas existentes, así como en la de los vehículos eléctricos,

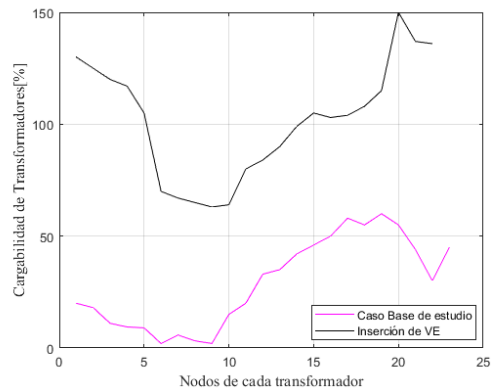


Figura 11. Cargabilidad de Transformadores peor caso

Se examina el peor de los casos en el que, en 2030, el 80% de toda la flota de automóviles es eléctrica en la red de distribución. En este caso, la cargabilidad del transformador supera el umbral de capacidad máxima del 150% y, dado que funcionará por encima del 100% de su capacidad, incluso aplicando técnicas inteligentes aplicadas, o colocar energía con paneles solares, se debe considerar sustituirlo por uno de mayor tamaño así

mismo con los conductores se tendría que aumentar su calibre como nuevas líneas de distribución, así mismo en el peor caso existe una sobre carga en los nodos donde están ubicados las estaciones de carga con un 200% de condiciones anormales. El perfil de voltaje es crítico ya que casi alcanza el nivel más bajo.

5 Conclusiones

En relación con el modelado y comportamiento de carga de los vehículos eléctricos, se debe tener en cuenta que este modelo desarrollado se puede aplicar a cualquier localidad en escenarios reales con la consideración de las características y distancia recorrida, únicamente del sistema de movilidad automotriz nacional.

Mediante un adecuado estudio de las características, de los vehículos eléctricos se llega a la conclusión que se puede desplegar las posiciones óptimas de cada estación de carga así mismo en función del requerimiento del usuario donde podrían hacer su recarga en 25 minutos reduciendo el rango de ansiedad de los conductores permitiéndole obtener una autonomía considerable por la ciudad a través de la red de distribución.

Por medio del estudio a nivel de capacidad del sistema de la red de distribución, y conociendo tanto la carga de los transformadores, donde se nota el incremento de energía 108.4% en el caso base al 121.8% en el escenario de estaciones de carga, así como las pérdidas totales de la simulación en el escenario de inserción de estaciones carga, el impacto de VE sigue siendo evidente, pero incluso durante el período pico, en el caso base es altamente tolerable de hecho, el incremento con respecto al caso base es alrededor del 15%, a comparación del escenario con estaciones de carga. El perfil

de tensión es muy similar en los dos primeros casos, por lo que actualmente este nivel de la difusión de vehículos eléctricos es aceptable sin ninguna intervención, por lo tanto, aunque no se realizaron cambios en los componentes del sistema eléctrico, el ingreso es aceptable para estaciones de carga de vehículos eléctrico.

Como resultado de cada escenario de operación en la red de distribución georreferenciada y la aplicación del modelo de optimización tanto como el análisis del flujo de potencia son favorables sobre todo para la operación de vehículos eléctricos especialmente en el transporte público del sector de estudio específicamente en una cooperativa de taxis que se beneficien de dichas estaciones de carga.

En el escenario simulado en el peor caso al año 2030, en el futuro es probable que la instalación de estaciones de carga en esta red genere problemas, particularmente con respecto a la sobrecarga del transformador y los límites de voltaje esperados, ya que los transformadores comienzan a operar al 150%, de su capacidad por lo cual necesariamente se tendrá que sustituir ya que la vida útil operando encima del 100% disminuye drásticamente, por lo que se requieren inversiones para el cambio de dichos componentes, y garantizar la plena disponibilidad de las estaciones de carga de alta potencia.

Se recomienda que ARCERNNR establezca mecanismos regulatorios que especifiquen la proliferación de estos sistemas de carga de electromovilidad, incluyendo la autoproducción, y aquellos mecanismos para implementar un esquema de tarifas especiales para MG residenciales

5.1 Trabajos futuros

Por medio del análisis de este documento se puede partir para futuras investigaciones

En trabajos futuros se pretende dimensionar las estaciones de carga tomando en cuenta la comunicación y análisis del tiempo de operación para saber cuál estación es la más utilizada y tomar rutas alternas para encontrar la estación de carga, más cercana y así ayudar tanto al usuario y a los operadores de las empresas distribuidoras por que pueden funcionar en conjunto sin existir sobrecarga en ninguna de las líneas.

Mediante la red estudiada realizar un análisis para taxis en la ciudad de Quito por medio de estadísticas determinar consumo y recorrido de cada transportista y así implementar paneles solares para no sobrecargar los elementos de la red de distribución.

6 Referencias

- [1] Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables 2017, “Balance Energético Nacional 2017,” 2019.
- [2] A. Corral, F. Izurieta, V. Guayanlema, J. P. Díaz, H. Acurio, and P. Quintana, “Assessment opportunities for energy efficiency in Ecuadorian road transport Oportunidades de evaluación de eficiencia energética en el transporte terrestre en Ecuador,” vol. 84, no. 200, pp. 309–315, 2017.
- [3] J. Clairand, “Smart Charging for Electric Vehicle Aggregators considering Users ’,” vol. 3536, no. c, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2872725.
- [4] M. M. Vazifeh, H. Zhang, P. Santi, and C. Ratti, “Optimizing the deployment of electric vehicle charging stations using pervasive mobility data,” *Transp. Res. Part A*, vol. 121, no. January 2017, pp. 75–91, 2019, doi: 10.1016/j.tra.2019.01.002.
- [5] Y. Fan, D. Mengnuo, G. Pei, Z. Zhang, L. Yingying, and W. Xiao, “The Influence on Distribution Network Planning and Investment Strategy of Power Grid Corp Under Electric Power System Reform,” in *2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, 2018, pp. 2426–2430, doi: 10.1109/CICED.2018.8592014.
- [6] J. A. Sanguesa, V. Torres-sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-barja, “smart cities A Review on Electric Vehicles : Technologies and Challenges,” pp. 372–404, 2021.
- [7] E. García, “Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users,” 2016.
- [8] W. Kempton, “ELECTRIC VEHICLES AS A NEW POWER ELECTRIC UTILITIES SOURCE FOR,” vol. 2, no. 3, pp. 157–175, 1997.
- [9] K. Schneider, C. Gerkenmeyer, R. Fletcher, and S. Member, “Impact Assessment of Plug-In Hybrid Vehicles on Pacific Northwest Distribution Systems,” pp. 1–6, 2008.
- [10] D. C. Published *et al.*, “The Beginners Guide to Electric Vehicles (EV),” no. August, 2014.
- [11] K. Hu, J. Wu, and T. Schwanen, “Differences in Energy Consumption in Electric Vehicles : An Exploratory Real-World Study

- in Beijing,” vol. 2017, 2017.
- [12] F. Badin, F. Le Berr, H. Briki, M. Petit, S. Magand, and E. Condemine, “Evaluation of EVs energy consumption influencing factors,” vol. 6, pp. 112–123, 2013.
- [13] X. Qi, G. Wu, K. Boriboonsomsin, and M. J. Barth, “Data-driven decomposition analysis and estimation of link-level electric vehicle energy consumption under real-world traffic conditions,” *Transp. Res. Part D*, no. April, pp. 0–1, 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.08.008.
- [14] B. W. B. Auquilla, “ESTUDIO DE ESTRATEGIAS PARA LA INSERCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS TIPO TAXI EN LA CIUDAD DE QUITO,” 2019.
- [15] G. Celli, F. Pilo, G. Monni, and G. G. Soma, “Optimal Multi-Objective Allocation of Fast Charging Stations,” 2018.
- [16] P. Frías and C. Mateo, “Evaluación del impacto de la integración del coche eléctrico en las redes de distribución de energía eléctrica,” pp. 56–61.
- [17] M. R. Rodríguez, “IMPACTO DE UN PARQUE VEHICULAR ELÉCTRICO EN LOS REQUERIMIENTOS DE RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE SANTIAGO,” 2013.
- [18] M. Campaña and E. Inga, “Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes Georeferenced optimal deployment for public vehicle charge station considering restrictions of capacity flow and maximal enablers distance,” vol. 15, no. 2, pp. 68–78, 2019.
- [19] S. Hosseini, “Electrical Power and Energy Systems Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station,” *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 105, no. April 2017, pp. 110–122, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.08.011.
- [20] I. Final, D. E. T. D. E. Grado, E. N. La, and S. Y. Emprendimiento, *Sistemas de Carga para Vehículos electricos aplicados al area metropolitana de Bucaramanga*. 2019.
- [21] M. A. Hannan, F. A. Azidin, and A. Mohamed, “Hybrid electric vehicles and their challenges : A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 135–150, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.08.097.
- [22] L. Alexander, Q. Conde, I. Jorge, P. Muñoz, and M. Sc, “Diseño Electrico de un Sistema de Recarga Rapida para Baterias de Vehiculos Electricos,” 2018.
- [23] O. Marcincin, Z. Medvec, and P. Moldrik, “The Impact of Electric Vehicles on Distribution Network,” pp. 0–4, 2017.
- [24] S. Goel, R. Sharma, and A. Kumar, “A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation,” vol. 4, no. August 2020, 2021, doi: 10.1016/j.treng.2021.100057.
- [25] Y. Li, P. Zhang, and Y. Wu, “Public recharging infrastructure location strategy for promoting electric vehicles : A bi-level programming approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 2720–2734, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.139.
- [26] M. De Gennaro, E. Paffumi, and G.

- Martini, “Customer-driven design of the recharge infrastructure and Vehicle-to- Grid in urban areas : A large-scale application for electric vehicles deployment,” *Energy*, vol. 82, no. 2015, pp. 294–311, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2015.01.039.
- [27] A. Benhammou, H. Tedjini, Y. Guettaf, M. Amine, and M. Amine, “ScienceDirect Exploitation of vehicle ’ s kinetic energy in power management of tow -wheel drive electric vehicles based on ANFIS DTC-SVM comparative study,” *Int. J. Hydrogen Energy*, no. xxxx, 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.06.023.
- [28] J. Swingler, J. W. Mcbride, and C. Maul, “Degradation of Road Tested Automotive Connectors,” vol. 23, no. 1, pp. 157–164, 2000.
- [29] K. Morrow, “U . S . Department of Energy Vehicle Technologies Program – Advanced Vehicle Testing Activity Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review,” no. 58517, 2008.
- [30] J. Martínez-lao, F. G. Montoya, and M. G. Montoya, “Electric vehicles in Spain : An overview of charging systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, no. November 2015, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.239.
- [31] G. Ram, C. Mouli, I. Member, J. Schijffelen, and M. Van Den Heuvel, “IEEE Transactions on Power Electronics A 10kW Solar - Powered Bidirectional EV Charger Compatible with Chademo and COMBO,” vol. 8993, no. c, pp. 1–25, 2018, doi: 10.1109/TPEL.2018.2829211.
- [32] M. Campaña, “Optimal Allocation of Public Charging Stations based on Traffic Density in Smart Cities,” 2019.
- [33] H. Shi, M. Xu, A. D. Repeatability, and T. Method, “A Data Classification Method Using Genetic Algorithm and K-Means Algorithm with Optimizing Initial Cluster Center,” *2018 IEEE Int. Conf. Comput. Commun. Eng. Technol.*, pp. 224–228, 2018.
- [34] L. A. Paredes and M. Pozo, “Energy Management Model for an Electric Vehicle Charging Station in the Environment of a Microgrid,” 2019.
- [35] L. A. M. Maldonado, “Análisis técnico para la Implementación de Estaciones de Carga Rápida para vehículos eléctricos en la provincia de Galapagos,” 2020.
- [36] T. Carlos and H. Rojas, “Estaciones de Carga de Vehículos eléctricos y su influencia en el funcionamiento de la red de distribución,” 2016.

6.2 Resumen de Indicadores

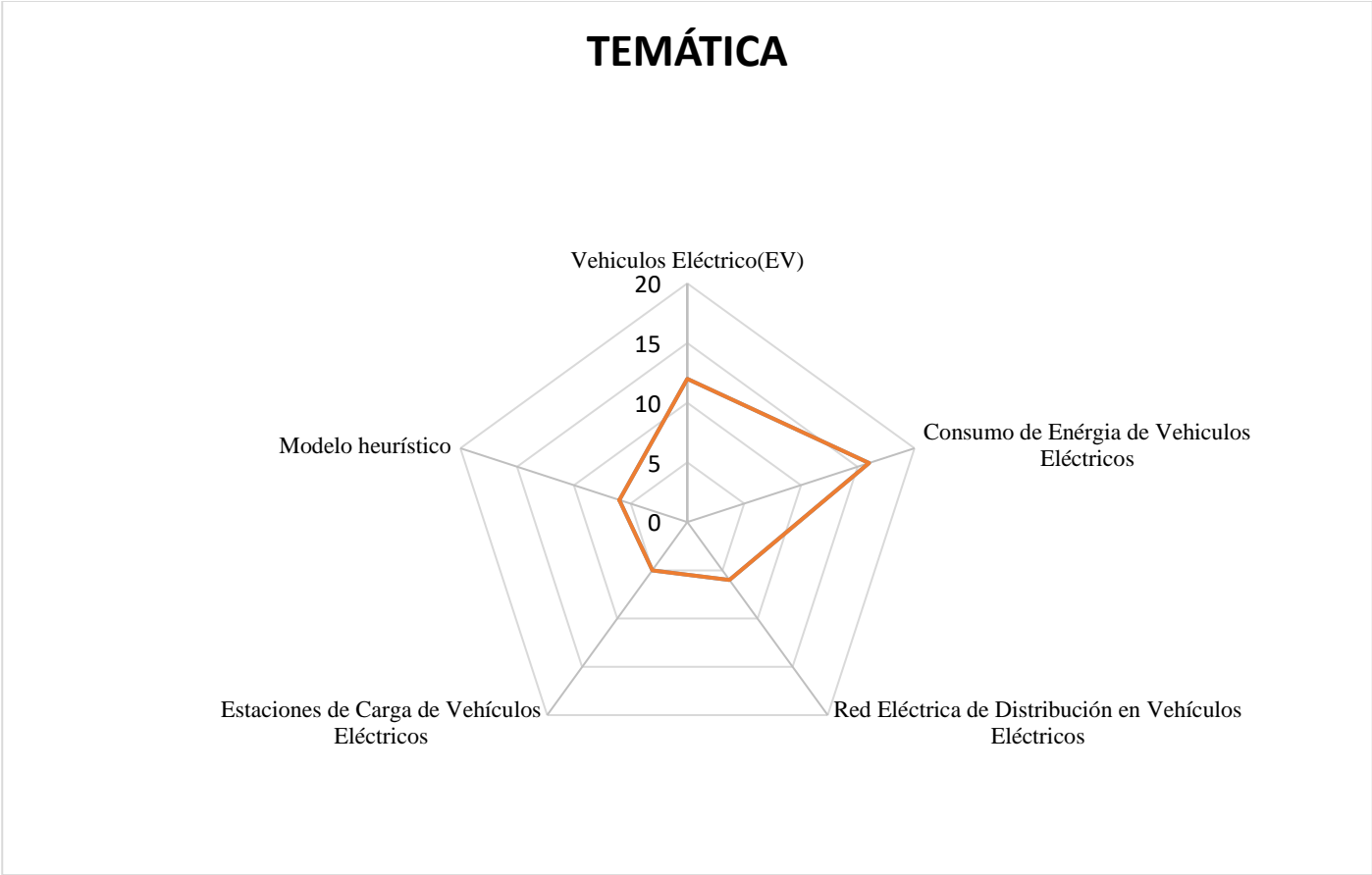


Figura 12. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

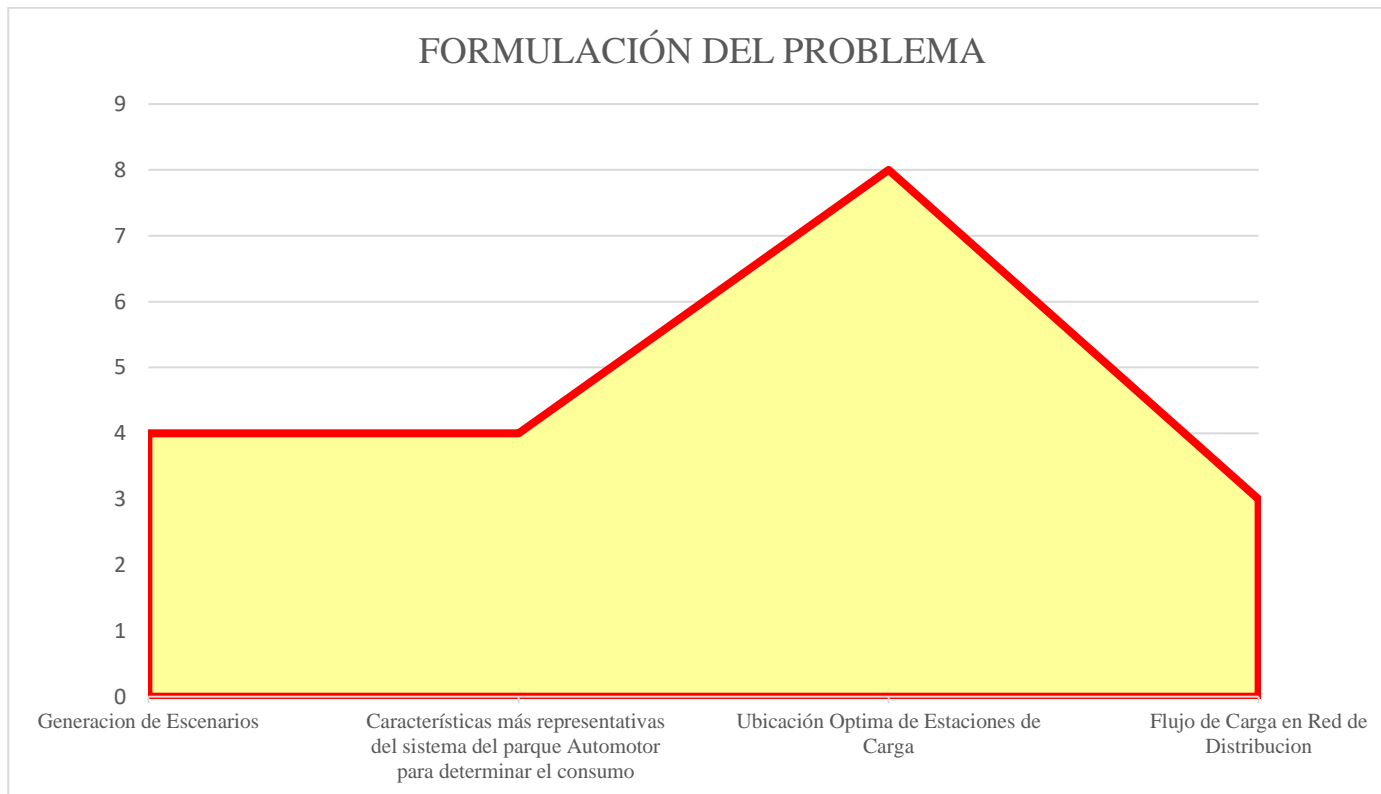


Figura 13. Indicador de formulación del problema - Estado del arte

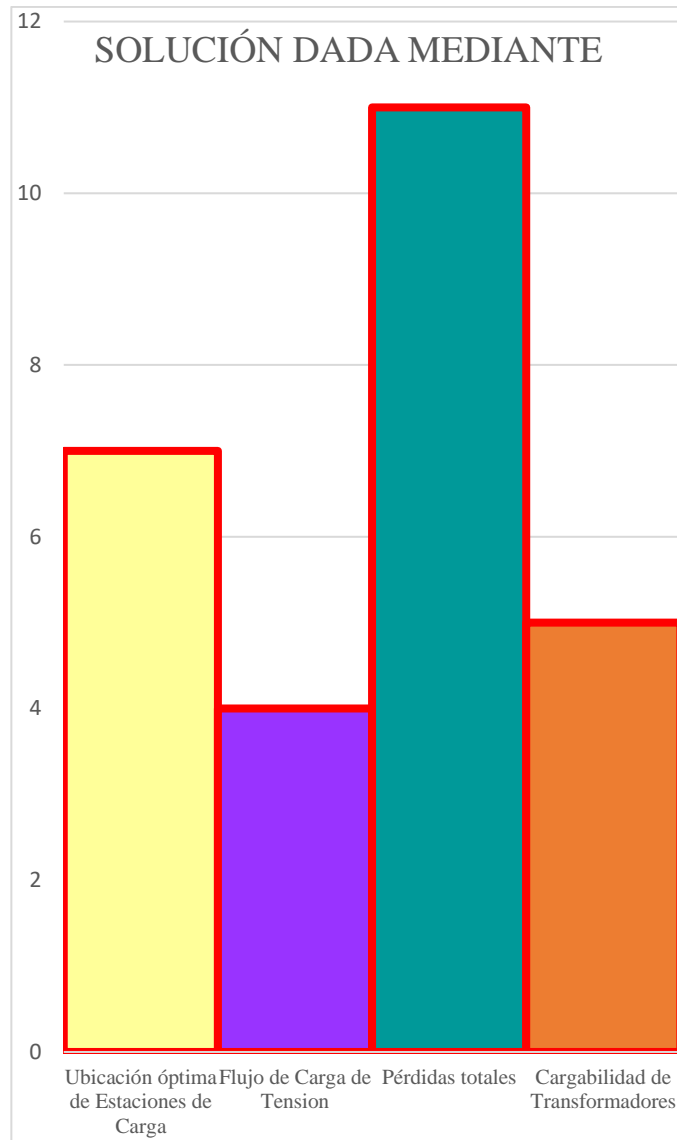


Figura 14. Indicador de solución - Estado del arte.