

**OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA
DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN
SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO
BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE
HORMIGAS.**



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

**OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA
DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN
SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO
BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE
HORMIGAS.**

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

AUTOR: CRISTHIAN PATRICIO PACHECO HERRERA
TUTOR: EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES

Quito - Ecuador
2023

Cristhian Patricio Pacheco Herrera

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Cristhian Patricio Pacheco Herrera (Y'1996 – M'05). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio “Unidad Educativa Municipal Quitumbe” de la ciudad de Quito. Estudiante de la carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en optimización del consumo de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos mediante un sistema híbrido de almacenamiento basado en un modelo de colonia de hormigas. cpachecoh@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Edwin Marcelo García Torres (Y'1978 – SM'10). Se graduó de Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, Master en Gestión de Energía y posee un doctorado en la Universidad Pontificia Bolivariana. Áreas de interés: Respuesta a la demanda eléctrica, sistemas de automatización, vehículos eléctricos. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en redes eléctricas inteligentes-Smart Grid Research Group). egarcia@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

©2023 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO – ECUADOR

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

Yo, Cristhian Patricio Pacheco Herrera con documento de identificación N° 1726642182 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, 27 de octubre del año 2023

Atentamente,



Cristhian Patricio Pacheco Herrera
1726642182

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

Yo, Cristhian Patricio Pacheco Herrera con documento de identificación No. 1726642182, 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: “ Optimización del consumo de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos mediante un sistema híbrido de almacenamiento basado en un modelo de colonia de hormigas”, 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, 27 de octubre del año 2023

Atentamente,



Cristhian Patricio Pacheco Herrera

1726642182

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo García Torres con documento de identificación N° 1803087400, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación:

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS. realizado por Cristhian Patricio Pacheco Herrera con documento de identificación N° 1726642182, 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, 27 de octubre del año 2023

Atentamente,



Ing. Edwin Marcelo García Torres, PhD

1803087400

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	3
2	Marco teórico.....	4
2.1	Vehículo eléctrico.....	4
2.1.1	Tipos de vehículos eléctricos.....	5
2.1.2	Tipos de carga de los VE's.	5
2.2	Calidad de la energía eléctrica.	6
2.2.1	Calidad de suministro eléctrico.....	6
2.2.3	Confiabilidad en sistemas de distribución.....	6
2.2.4	Identificación de problemas de calidad.	6
2.3	Respuesta a la demanda eléctrica.....	6
2.3.1	Demanda eléctrica.....	7
2.3.2	Respuesta a la demanda.....	7
2.3.3	Sistemas de gestión a la demanda.....	7
2.4	Almacenamiento de Energía.....	8
2.4.1	Almacenamiento a gran escala.....	8
2.4.2	Almacenamiento en redes.....	8
2.4.3	Almacenamiento para consumidores finales.....	8
2.4.4	Sistema de almacenamiento híbrido.....	8
2.4.5	Principio de funcionamiento del sistema híbrido y generación fotovoltaica.....	9
2.5	Modelo de colonia de hormigas.....	9
2.5.5	Fuentes de energía para la recarga de un VE.....	10
2.5.6	Asignación de horario de recarga del VE.....	10
3	Desarrollo.....	10
3.1	Planteamiento del problema.....	11
3.2	Diseño de un sistema de almacenamiento híbrido.....	11
3.3	Descripción de los elementos.....	13
3.4	Arquitectura del sistema híbrido.....	13
3.5	Sistema de gestión.....	13
3.6	Modelamiento matemático.....	13
3.7	Caso de estudio.....	14
3.7.1	Análisis del tipo de la carga de los VEs.....	15
3.7.2	Optimización de la carga de un VE.....	15
4	Análisis de resultados.....	15
4.1.1	Tipo de carga (Lenta).....	16

4.1.2 Tipo de carga (Semi-Rápida).	16
4.1.4 Demanda eléctrica en el periodo 10:00am-14:00pm.....	17
4.1.5 Demanda eléctrica en el periodo 17:00pm-21:00pm.....	18
4.1.6 Demanda eléctrica en el periodo 00:00am-4:00am.....	19
4.1.7 Discusión.	19
5 Conclusiones.....	20
5.1.1 Trabajos futuros.....	21
6 Referencias.....	21
6.1 Matriz de Estado del Arte	24
6.2 Resumen de Indicadores.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama unifilar carga VE (Autor).....	4
Figura 2. Curva Demanda Eléctrica residencial.....	7
Figura 3. Comportamiento de Super capacitor.....	9
Figura 4. Comportamiento de una Batería.....	9
Figura 5. Generación fotovoltaica.....	9
Figura 6. Arquitectura sistema de carga de un VE (Autor).....	13
Figura 7. Diagrama de flujo asignación de recursos energéticos.....	13
Figura 8. Asignación de carga VE en un periodo del día.....	15
Figura 9. Despacho por elemento carga lenta.....	16
Figura 10. Comportamiento de descarga carga lenta.....	16
Figura 11. Despacho por elemento carga semi- rápida.....	17
Figura 12. Comportamiento de descarga en carga semi-rápida.....	17
Figura 13. Respuesta a la demanda 3.4kW.....	17
Figura 14. Respuesta a la demanda 7.7kW.....	18
Figura 15. Respuesta a la demanda 3.4kW.....	18
Figura 16. Respuesta a la demanda 7.7 kW.....	18
Figura 17. Respuesta a la demanda 3.4 kW.....	19
Figura 18. Respuesta a la demanda 7.7 kW.....	19
Figura 19. Despacho para carga lenta 3.4 kW.....	19
Figura 20. Despacho para carga semi - rápida 7.7 kW.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de carga.....	6
Tabla 2. Potencias de los elementos.....	12
Tabla 3. Pseudocódigo colonia de hormigas.....	14
Tabla 4. Casos de estudio.....	14
Tabla 5. Horario de carga del VE.....	20
Tabla 6: Matriz de estado del arte.....	24

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

Resumen

En la presente investigación se centra en optimizar el consumo eléctrico para la recarga de vehículos eléctricos, utilizando un sistema híbrido de almacenamiento conformado por un Super capacitor y batería, una planta fotovoltaica, como alcance es satisfacer la demanda eléctrica residencial, con medios de movilización eléctricos, el objetivo es desarrollar un modelo eficiente y sostenible para minimizar el consumo eléctrico, considerando las restricciones del sistema híbrido, planta fotovoltaica además de horarios en el cual se realice el proceso de carga del vehículo.

Dado a que este sector automovilístico tiene un crecimiento, el cual pone en desafío la gestión de la demanda, el suministro de energía y la estabilidad de red ya que tienen grandes potencias de consumo, además se busca minimizar el consumo de la red eléctrica y aprovechar al máximo fuentes de energía renovables. Como metodología se propone una aplicación del modelo de colonia de hormigas para la búsqueda del recurso energético, se utiliza el enfoque de sistema de almacenamiento híbrido, fotovoltaica y gestionar la carga para minimizar el consumo de energía proveniente de la red, mejorando el proceso de carga, el costo económico en consumo eléctrico en zona residencial, con el cual se desarrolla estrategias más eficientes y sostenibles asimismo de conseguir una adopción significativa de estos medios de transporte que son limpios y sostenible con el medio ambiente .

Abstract

This research focuses on optimizing electricity consumption for recharging electric vehicles, using a hybrid storage system consisting of a Super capacitor and battery, a photovoltaic plant, as scope is to meet the residential electricity demand, with electric means of mobilization, the objective is to develop an efficient and sustainable model to minimize electricity consumption, considering the restrictions of the hybrid system, photovoltaic plant and schedules in which the vehicle charging process is performed. Given that this automotive sector has a growth, which challenges the demand management, energy supply and grid stability as they have large power consumption, also seeks to minimize the consumption of the power grid and maximize renewable energy sources. As a methodology, an application of the ant colony model is proposed for the search of the energy resource, using the approach of hybrid storage system, photovoltaic and load management to minimize the consumption of energy from the network, improving the charging process, the economic cost in electricity consumption in residential area, with which more efficient and sustainable strategies are developed and also to achieve a significant adoption of these means of transport that are clean and sustainable with the environment.

Palabras Clave: Baterías, Colonia de hormigas, Demanda eléctrica, Sistema híbrido, Super capacitor.
Keywords: Batteries, Ant Colony, Electrical Demand, Hybrid System, Supercapacitor.

1 Introducción

En el transcurso de los años, el sector automovilístico ha tenido un incremento muy notable, con ellos ha traído problemas con el medio ambiente, cambio climático. Las nuevas estrategias de confrontar estos problemas son los vehículos eléctricos, los cuales permiten disminuir la producción de emisiones de gases de efecto invernadero los cuales son unidades de transporte que son propulsadas por motores eléctricos [1], [2].

El presente trabajo investigativo trata acerca de la optimización del consumo eléctrico para la carga de un vehículo eléctrico, se hace uso de un sistema híbrido de almacenamiento como fuente de energía, el sistema tiene como particularidad que se basa en un modelo de colonia de hormigas, con ello se busca mejorar el impacto de la eficiencia de recarga de baterías de los vehículos, con la implementación de este modelo [3].

Es importante analizar desde la perspectiva ecológica, la contribución de la investigación es aportar herramientas para optimizar la gestión energética para los sistemas de carga de baterías de los vehículos eléctricos, esto influye al avance tecnológico y mejora de la administración de los recursos, a la vez que se disminuirá el tiempo de recarga de los vehículos lo cual tendrá un gran impacto al sector automovilístico eléctrico [4].

Los vehículos eléctricos (VE) están en tendencia al aumento en todo el mundo, y su beneficio es el significativo en la disminuciones de gases contaminantes además de poder mejorar con la calidad del aire de la ciudades [5]. Los vehículos eléctricos disponen de baterías los cuales su carga se los hace mediante la conexión con la red eléctrica, su proceso recarga es mediante el aprovechamiento de la potencia dada por la red, la batería produce energía necesaria para que el vehículo comience a

arrancar y se ponga en marcha, también es importante que no solo es referente a vehículos sino que se habla de motocicletas, buses, furgonetas, etc [6].

La metodología inicial que se usará en la investigación es realizar una búsqueda exhaustiva de material el cual nos ayude a mejorar el resultado e idealizar la solución al fenómeno a estudiado.

Para llevar a cabo la investigación se utilizará el software Matlab el cual permitirá simular el caso en la vida real, con el cual se obtendrá el resultado que se desea, asimismo de poder aprovechar los métodos interactivos que el simulador puede resolver, también proporciona un aprovechamiento y el desarrollo de las nuevas tecnologías y aplicarlas para proporcionar ciertas ventajas para el buen manejo de los recursos energéticos [4].

Se definirá un modelo de colonia de hormigas para optimizar el proceso de la carga de un vehículo eléctrico, con el cual se desarrollara un programa informático para la simulación del modelo a estudiar [7].

El modelo a usar se analizara los resultados obtenidos para evaluar el impacto de la optimización con el cual se busca disminuir el consumo de energía eléctrica además de aprovechar tecnologías de almacenamiento híbrido que ayudaran, para que se convierta en un sistema más eficiente en el proceso de carga de vehículo eléctrico [4].

La metaheurística implementada en la investigación se espera demostrar la efectividad del modelo de colonia de hormigas con el beneficio de mejorar el consumo eléctrico para los sistemas de recarga de energía eléctrica de los vehículos. Se espera obtener resultados muy significativos, e importantes para la carga de un vehículo eléctrico en un futuro ya que

este sector del mercado automotriz tiene una tendencia al crecimiento [8].

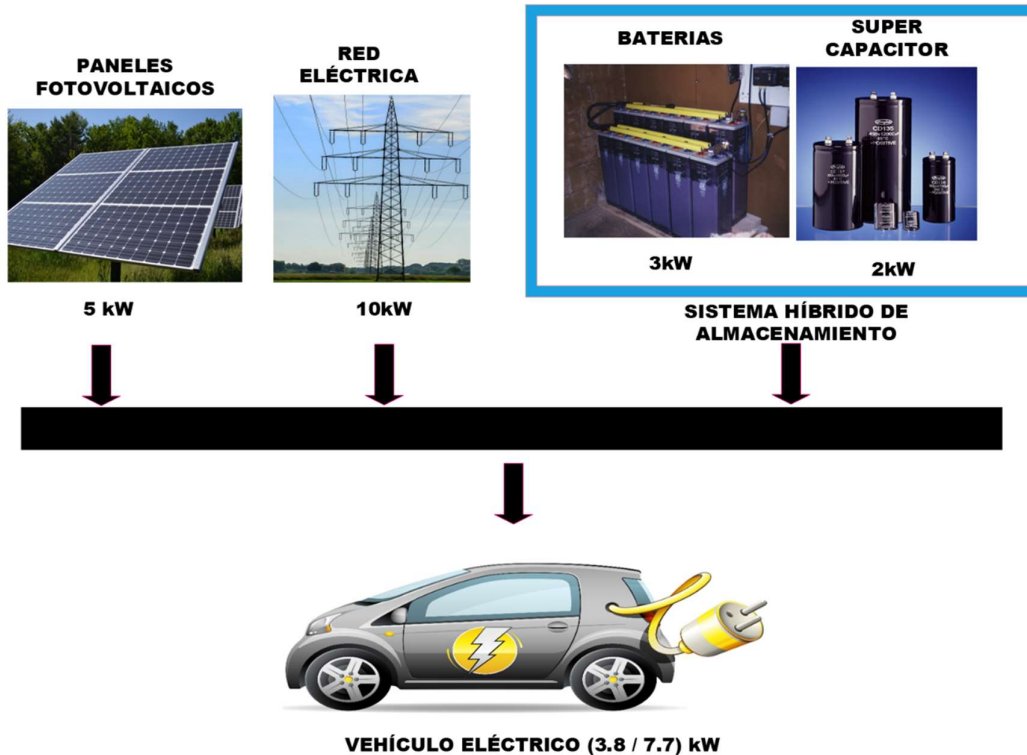


Figura 1. Diagrama unifilar carga VE (Autor).

2 Marco teórico

2.1 Vehículo eléctrico.

Es una alternativa innovadora y sostenible en comparación con los automóviles que funcionan con combustibles fósiles. Este tipo de automóvil funciona con motores eléctricos que se energizan con baterías recargables, las cuales pueden ser cargadas mediante un enchufe o de forma inalámbrica [9].

El convertidor es un componente crucial en un vehículo eléctrico (VE), ya que convierte la corriente continua de las baterías a corriente alterna, permitiendo que los motores de inducción proporcionen energía mecánica para las ruedas del vehículo [1].

El motor de un VE presenta una curva de par plana, lo que significa que tiene un gran rendimiento en bajas revoluciones. También gira a una velocidad de 20,000 o más revoluciones por minuto, produciendo un ruido muy bajo y sin vibraciones notables [10].

Los sistemas de control de los VE's son parte importante, ya que facilita al conductor a poseer el dominio y proporcionan información fundamental en tiempo real sobre el nivel de batería, la autonomía en kilómetros y el consumo de energía que presenta un VE [10].

Son dispositivos también llamados acumulador de energía eléctrica, su estructura contiene una o más celdas electroquímicas, las cuales transforman de energía química a energía eléctrica [10]. Poseen un lado positivo y negativo los

cuales hacen que los iones se muevan de un electrodo a otro.

2.1.1 Tipos de vehículos eléctricos.

Son medios de transportes los cuales tiene propias características propias.

Vehículo eléctrico puro.

Este medio de transporte es totalmente eléctrico, dado a que posee uno o varios motores, un sistema de control, baterías y el sistema de carga totalmente eléctrico [11].

Su principal característica es su autonomía, el cual es dependiente de la capacidad del banco de baterías que posee el mismo, el tiempo en el cual sus baterías se recargan, esto tiene relación con el tipo de carga al cual se somete[11].

Vehículo híbrido.

Es un vehículo el cual tiene la capacidad de poder agrupar un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos, los cuales logran trabajar de manera complementaria o paralela para reducir las emisiones de carbono y disminuir el consumo de combustible fósil [12].

Las ruedas de este vehículo tienen una relación directa con ambos motores, la diferencia con un vehículo eléctrico puro es su batería que tiene una autonomía menor, su manera de carga es aprovechar la energía cinética que produce el instante en el cual frena el vehículo, esta energía se convierte energía eléctrica [11].

Vehículo híbrido enchufable.

Este es un vehículo el cual tiene mucha similitud con el vehículo híbrido, con la diferencia que este tiene un puerto el cual se lo puede enchufar, a la red de energía eléctrica para recargar sus baterías, con esto se obtiene un almacenamiento de más potencia y de mayor autonomía. Esta característica lo convierte temporalmente al vehículo totalmente eléctrico [12].

Este tipo de vehículo necesita de una gran potencia para arrancar, por ende, los dos motores aportan simultáneamente su potencia para poder cumplir la necesidad de movilidad. Este medio de transporte si no tuviera las baterías cargadas con energía el motor de combustión abarcaría todas las funciones requeridas por el vehiculó [11].

2.1.2 Tipos de carga de los VE's.

La carga de un VE, tiene una clasificación según el tiempo con la cual se recarga las baterías, el proceso de recargar una batería depende de la potencia que entrega la electrolinera [13].

Carga super lenta.

Es de uso doméstico no cuenta con una adecuada protección ni dimensionamiento, por lo que la corriente disponible está limitada a 10 A o menos. El tiempo aproximado de recarga al 100% puede variar entre 10 y 12 horas, su potencia de máxima aproximada está dada en el rango 2.2-2.4 kW [14].

Carga lenta.

Es una carga de uso doméstico, es estandarizada ya que trabaja a un voltaje de 240 V en AC, presenta una corriente máxima de trabajo de 16 A y su tiempo de recarga al 100% varía entre 6 y 8 horas, su potencia aproximada es de 3.7kW se recomienda cargar en horarios nocturnos [14].

Carga semi- rápida.

Trabaja con un voltaje de 240 V en AC, con una corriente de trabajo máxima de 32 A su tiempo de trabajo para recargar al 100% es un aproximado entre 3-4 horas, con una potencia aproximada entre los 7.7kW [14].

Carga rápida.

Este tipo de carga utiliza niveles de corriente muy altas a las ya mencionadas, esta trabaja con corriente directa, su recarga a una batería al 100% puede durar entre 15

y 30 minutos, con una potencia la cual rodea 43-150 kW [14].

Carga super rápida.

Es un tipo de carga que tiene tecnología de ultimo nivel, es usada en sistemas de carga muy robustos, además de que tiene un sistema de acumuladores, como supercondensadores. El periodo estimado de recargar las baterías están en el rango de 5 y 10 minutos, su potencia de trabajo puede estar en el rango de 150-600 kW [14].

Tabla 1. Tipos de carga.

Tipo de carga	Potencia (kW)	Tipo De VEs
Super lenta	≤ 2.4	Vehículo liviano
Lenta	≤ 3.8	Vehículo liviano
Semi-rápida	≤ 7.7	Vehículo liviano
Rápida	43 – 150	Vehículo liviano, buses, carga pesados
Super - rápida	150 – 600	Buses y carga pesada

2.2 Calidad de la energía eléctrica.

Son características de la energía eléctrica que se suministra a los consumidores, son parámetros que garantizan el buen funcionamiento del sistema además de reducir fallas en los sistemas eléctricos [15].

2.2.1 Calidad de suministro eléctrico.

Son parámetros que refiere a la capacidad de proporcionar una fuente de energía eléctrica confiable y estable, para el consumidor final. La calidad es relacionada con el cumplimiento de estándares y regulaciones establecida por entes reguladores de un estado gubernamental y de normas internacionales.

En términos cuantitativos, se utilizan las evaluaciones técnicas de mala, baja, media y alta para medir la calidad de la energía. Esta calidad es crucial para la productividad

y competitividad en diversos sectores empresariales e industriales [16].

El término de calidad de energía eléctrica es usado, para describir el comportamiento de variables las cuales influyen en el sistema eléctrico, como: perfiles de voltaje, distorsiones armónicas, flickers, transitorios desequilibrios. Son problemas los cuales se los encuentra en distribución [16].

2.2.3 Confiabilidad en sistemas de distribución.

La confiabilidad está relacionada con la calidad de un sistema de distribución y se refiere a la probabilidad de que cualquier elemento o instalación que lo conforma funcione de manera óptima en un período de tiempo establecido. Es decir, la confiabilidad mide la capacidad del sistema en cumplir con su función en un momento determinado [17].

La función principal de los sistemas eléctricos es suministrar energía eléctrica a los consumidores finales de forma continua y con una calidad adecuada. Es importante tener en cuenta que los usuarios dependen del suministro eléctrico para realizar sus actividades cotidianas[18] [17].

2.2.4 Identificación de problemas de calidad.

Las características a identificar con la calidad de la energía pueden presentarse en estos eventos los cuales son: parpadeo de luces, falta de servicio, protecciones que se disparan inoportunamente, motores y transformadores sufren problemas de sobrecalentamiento [16].

2.3 Respuesta a la demanda eléctrica.

La respuesta a la demanda eléctrica es la capacidad de satisfacer de energía eléctrica a los usuarios en tiempo real. La energía eléctrica no se almacena, por lo que su disponibilidad tiene variaciones,

dependientes del consumo por parte de los consumidores finales, este suministro tiene un balance entre lo generado y lo consumido en tiempo real [19][20].

2.3.1 Demanda eléctrica.

La demanda eléctrica tiene relación con la cantidad de energía eléctrica que satisface a las necesidades de los consumidores finales, en un momento específico del día, la demanda presenta variaciones frecuentes diariamente debido a varios factores[19].

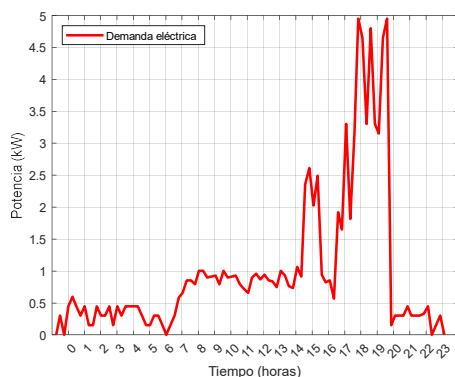


Figura 2. Curva Demanda Eléctrica residencial.

La planificación y gestión adecuada de la respuesta a la demanda eléctrica son factores clave para garantizar el suministro de energía eléctrica de calidad, estable y confiable a los usuarios, y reducir el impacto ambiental provocado por la producción de energía [15].

2.3.2 Respuesta a la demanda.

La respuesta a la demanda eléctrica es un proceso el cual el usuario de energía eléctrica reduce el consumo en periodos pico de la demanda en una red. Es una manera de evitar cortes de energía, y mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico[20][14].

La respuesta a la demanda eléctrica se caracteriza por el uso de tecnologías inteligentes, como: medidores inteligentes, sistemas de control automatizados. Su objetivo es que el usuario disminuya el consumo de energía en lapsos de alta

demanda, además presenta varias estrategias las cuales permiten ajustar a que los usuarios tengan una fiabilidad de suministro en altos niveles, asimismo es un proceso por el cual se ajusta a la producción de energía y satisfacer a la demanda en tiempo real [21]

2.3.3 Sistemas de gestión a la demanda.

Existen herramientas que optimizan la producción y distribución de energía, como la monitorización y control de la demanda eléctrica, lo que ayuda a conservar un equilibrio entre oferta y demanda en tiempo real [22].

La gestión a la demanda involucra a los mercados eléctricos, los cuales por políticas de cada país se puede generar incentivos que permitan que el usuario tenga nueva cultura de consumo eléctrico, especialmente en horas de alta demanda que permita obtener una red de energía más eficiente y menos sobrecargada además de lograr satisfacer las necesidades de los usuarios [22].

Factor de carga (FC), es la relación entre la demanda real promedio y la máxima demanda posible en un lapso de tiempo determinado en un mes o año [23].

$$FC = \frac{m(D_{real})}{D_{max\ pos}} \quad (1)$$

Donde: $m(D_{real})$ el promedio de la demanda real, $D_{max\ pos}$, la demanda máximo posible en el lapso determinado.

Cálculo de la máxima demanda (DM), Es el valor más alto que la demanda eléctrica que registra en un periodo de tiempo específico, generalmente en intervalos de 15 o 30 minutos [24].

$$DM = \frac{\Sigma Dpt}{\#Drt} \quad (2)$$

Donde: ΣDpt es la sumatoria de las demandas más altas en un periodo de tiempo, $\#Drt$ es el número de las demandas registradas en un periodo de tiempo.

Cálculo de la demanda media diaria (DMD) es el promedio de la demanda eléctrica durante un periodo de 24 horas [25].

$$DMD = \frac{\Sigma_{t=1}^n DpT}{\#DrT} \quad (3)$$

Donde: $\Sigma_{t=1}^n DpT$ es la sumatoria de las demandas más altas en un periodo de tiempo, $\#DrT$ es el número de las demandas registradas en un periodo de tiempo establecido.

Cálculo de la tasa de consumo de Energía (TCE), es la tasa de consumo de energía eléctrica en un periodo de tiempo, el cual se lo expresa generalmente en kW-hora [26].

$$DM = \frac{Cons\ ener\ elec}{\#h\ T} \quad (4)$$

Donde: *Cons ener elec* es el consumo eléctrico que se presentó en el periodo de tiempo, $\#h\ T$ es la cantidad de horas del periodo.

2.4 Almacenamiento de Energía.

Son aquellas maneras de poder conservar la energía y posteriormente utilizarla cuando se lo necesite, y aprovecharla de la misma forma de energía o convertida en otro tipo diferente [27].

Clasificación del almacenamiento de la energía.

2.4.1 Almacenamiento a gran escala

Este tipo de almacenamiento es aplicado en sectores robustos en donde se trabaje con escalas de [GW], se puede aplicar en centrales generación hidroeléctricas [28].

2.4.2 Almacenamiento en redes.

Es un sistema que trabaja en niveles de [MW], los cuales pueden ser aplicados centrales de generación renovables, en donde pueden participar, super condensadores, volantes de inercias y baterías. [1]

2.4.3 Almacenamiento para consumidores finales.

Son sistemas que se usa en sectores en donde se encuentre los consumidores finales los cuales manejan rangos que están en [kW], estos sistemas son usados de manera residencial [1] [2].

2.4.4 Sistema de almacenamiento híbrido.

El compromiso de reducir las emisiones de carbono y la creciente demanda de energía han impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento energético. Una de estas tecnologías es el sistema híbrido, que combina un supercondensador (SC) y baterías para mejorar el rendimiento del sistema y aumentar su eficiencia en la captura y liberación de energía [29].

Este sistema combina las propiedades de ambos tipos de almacenamiento para mejorar su eficacia, alargar su vida útil además de manejar grandes niveles de potencia sirviendo en los grandes campos como son vehículos eléctricos y sistemas de energía renovables [30].

El sistema aprovecha las ventajas de los elementos, como es SC proporciona un almacenamiento de alta capacidad de energía y alta velocidad de despacho de energía, mientras que la batería proporciona un almacenamiento de energía de alta

densidad y mayor durabilidad al estar unidos ambos elementos se convierte en un sistema robusto y eficaz [31].

2.4.5 Principio de funcionamiento del sistema híbrido y generación fotovoltaica.

Los SC almacenan energía en un campo eléctrico, su capacidad de almacenamiento es mucho mayor que de las baterías además de que su tiempo de carga y descarga es muy rápido que les hace un sistema ideal en aplicación de alta potencia [32].

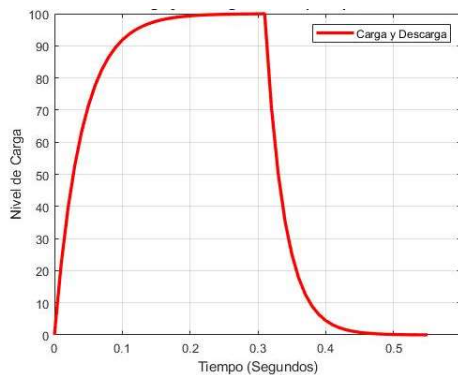


Figura 3. Comportamiento de Super capacitor

Las baterías son dispositivo que almacenan la energía químicamente, lo cual otorga una capacidad de almacenar energía más densa, su periodo de carga y descarga es de manera constante y prolongada lo cual lo hace ideal para aplicación de baja potencia [32].

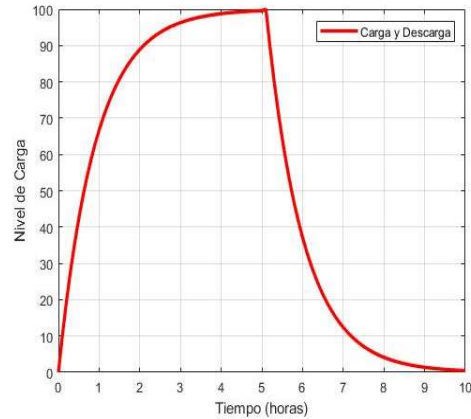


Figura 4. Comportamiento de una Batería.

La generación fotovoltaica es proceso por cual la energía solar se transforma en energía eléctrica, por los semiconductores que lo conforman, su funcionamiento se basa al aprovechamiento de la radiación solar es una forma de generar energía limpia, que no produce emisiones de gases de efecto invernadero. Este tipo de energía depende un cierto tiempo de funcionamiento del día ya que depende directamente del sol [33].

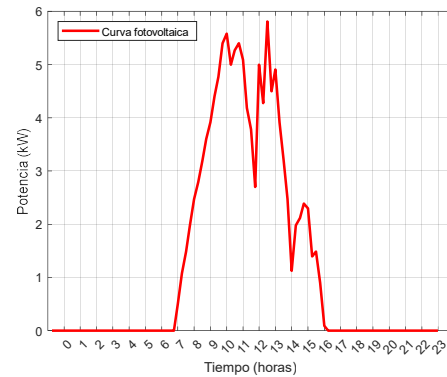


Figura 5. Generación fotovoltaica.

2.5 Modelo de colonia de hormigas.

El modelo es estocástico y está basado en el comportamiento natural de las colonias de hormigas, que se mueven de manera aleatoria y son animales casi ciegos. A pesar de esto, las hormigas pueden encontrar el camino más corto desde su colonia hasta la fuente de alimento gracias a este modelo [34].

Es una técnica probabilística que se basa en resolver problemas complejos, que ayuda a reducir la búsqueda de caminos en los grafos [35].

$$\sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n c_y * x_y \quad (5)$$

$$\sum_{l=2}^n x_{ij} = m \quad (6)$$

$$\sum_{l=2}^n x_{i1} = m \quad (7)$$

$$\sum_{l=1}^n x_g = 1, j - 2, \dots, n. \quad (8)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_g \leq |S| - 1, \forall S \subseteq V \setminus \{1\}, S \neq \emptyset \quad (9)$$

$$\sum_{l=1}^n x_{ij} > demanda \quad (10)$$

Las restricciones (6), (7), (10) aseguran que m hormigas comiencen su viaje desde el nodo 1 el cual es SC y lo finalicen en el mismo nodo, mientras que la restricción (10) es la restricción en la heurística que permite asignar el recurso de acuerdo con la capacidad de la demanda en la carga de un VE, la ecuación (8) hace que la hormiga vaya por cada nodo una sola vez en su trayecto pasando por SC, Batería, Planta fotovoltaica y finalmente red eléctrica. Todas las restricciones generan la expresión final, dependiendo la potencia de cada elemento del sistema, como SC 2 kW, batería 3kW, fotovoltaica 5 kW finalmente le red con 10 kW.(9).

Las hormigas cuando se mueven dejan un rastro de odorífera, que depositan una sustancia llamada feromona, las hormigas con su olfato siguen el rastro, esta hormona

cumple una función importante en la comunicación química de los animales [34].

Las hormigas utilizan feromonas para hallar la ruta más corta entre su colonia y la fuente de alimentación [2], esta habilidad permitirá optimizar el consumo de energía eléctrica.

El método se enfoca en explorar y evaluar numerosas soluciones óptimas para el consumo de energía eléctrica, teniendo en cuenta el comportamiento de la demanda eléctrica para equilibrar la carga en la red eléctrica y reducir los picos de consumo [2].

2.5.5 Fuentes de energía para la recarga de un VE.

El concepto de fuente de energía se basa a los puntos existentes en la Universidad Politécnica Salesiana Quito, de los cuales se extrae la energía suficiente para recargar un vehículo eléctrico, mediante el algoritmo de hormigas el objetivo es minimizar la distancia total que recorre la energía eléctrica, evitando pérdidas en el trayecto [30].

Las fuentes para la recarga permiten que se pueda obtener potencia necesaria para la recarga del vehículo eléctrico, con ello llegando a completar la recarga de la carga de la batería del vehículo.

Los paneles fotovoltaicos aportan energía eléctrica en a su máxima potencia en las horas del día con mayor irradiancia.

2.5.6 Asignación de horario de recarga del VE.

Permite asignar un horario a un conjunto de usuarios, los tiempos de carga que debe tener para cada VE, para que ninguna ocasión se interrumpa el servicio, por el pico que puede presentar en la demanda eléctrica, el objetivo es completar la recarga de las baterías a su totalidad[2].

3 Desarrollo.

El objetivo de minimizar el consumo energético para la recarga de un VE, es aprovechar al máximo la potencia de cada

elemento que almacena energía eléctrica, con el cual se obtiene una recarga de un VE eficiente y rápida.

El fin de realizar una minimización del consumo de energía, con la implementación de un algoritmo de hormigas, y el uso de un SC, baterías y la red eléctrica se considerará para cargar la batería de un VE.

3.1 Planteamiento del problema.

El incremento de la demanda eléctrica que generan los VE en la zona residencial produce problemas en las redes eléctricas de distribución, los métodos de carga convencionales resultan ineficientes y generan sobrecarga en periodos de alta demanda durante el día, con el fin de satisfacer la demanda, se propone un diseño de un sistema híbrido de almacenamiento cuyo principal objetivo es optimizar el despacho de energía en la red con el consumo de energía proveniente de una fuente fotovoltaica.

Para un óptimo consumo de energía se debe considerar el análisis del tipo de carga del sistema, con la finalidad de reducir el consumo energético en la red, adicional a ello se debe realizar un despacho eficiente de todos los elementos del sistema híbrido y fotovoltaico, la finalidad es que la red abastezca la demanda del proceso de carga del VE.

Para realizar la optimización, se debe considerar que la misma se basa en el objetivo de la heurística que es relacionar el comportamiento de un insecto al alimentarse, las habilidades de una hormiga son limitadas, pero un grupo de hormigas muestran habilidades específicas para alimentarse además de encontrar una ruta cercana entre su nido y la fuente de comida [2].

$$P_{ij}^k = \frac{\tau_{ij} * n_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^\alpha * n_{ij}^\beta} \quad (11)$$

Donde:

N_i^k	Área recorrida por hormiga k en el nodo i
α	Factor de feromona.
β	Factor de visibilidad
τ_{ij}	Valor de feromona entre i-j
n_{ij}	Función visibilidad

Para cada hormiga (k) en cada interacción elige un nodo i como inicio de su ruta hasta llegar al nodo j con una probabilidad P_{ij}^k .

Para la ejecución de este modelo matemático se tiene los siguientes pasos.

Paso 1: Las hormigas salen de su nido en búsqueda de alimentos de forma aleatoria.

Paso 2: Llega a un sitio donde encuentra comida, al regresar al nido pasa dejando feromonas como rastro de su camino.

Paso 3: El rastro dejado por la hormiga servirá para que otras hormigas sigan su rastro.

Paso 4: Las hormigas regresan al nido y dejan un rastro más profundo de feromona.

Paso 5: Si existe varios caminos hacia la comida la ruta más corta será la que es recorrida con más frecuencia.

Paso 6: La ruta más corta tendrá mayor intensidad de feromonas.

Paso 7: La ruta más larga pierde el rastro de feromona por su evaporación.

Paso 8: La ruta con mayor intensidad de feromona será la lleve más rápido del nido a la comida [36].

3.2 Diseño de un sistema de almacenamiento híbrido.

Para el diseño del sistema híbrido se propone un sistema ideal de sus elementos, tomando en cuenta las potencias del SC, batería, sin tomar en cuenta dimensionamiento de protecciones conductores ni la alimentación de este.

El diseño de un sistema de almacenamiento híbrido que combine SC, un banco de baterías y un sistema fotovoltaico que permita la carga de VE, genera un opción eficiente para abordar los

desafíos de almacenar y administrar la energía generada por fuentes renovables intermitentes, como la solar.

La elección de un sistema fotovoltaico adecuado es el punto de partida, ya que su capacidad debe ajustarse al consumo eléctrico diario y la carga requerida para mantener las baterías y SC a niveles óptimos.

Los SC, por otro lado, son especialmente útiles para manejar rápidas descargas y cargas de energía. Son capaces de almacenar y liberar energía de manera mucho más rápida que las baterías, lo que los hace ideales para la recarga de VE.

El sistema de gestión por colonia de hormigas permite optimizar el rendimiento general del sistema.

Si el sistema está conectado a la red eléctrica, es crucial asegurarse de que cumpla con las regulaciones y normativas locales para la interconexión con la red, asegurando una operación segura y legal.

a) Capacidad del almacenamiento. El sistema de almacenamiento puede ser usado para almacenar energía y posteriormente utilizarla para satisfacer a la demanda eléctrica que usa el proceso de carga de un VE, con el fin de aprovechar al máximo la potencia del sistema, el cual está compuesto de un SC, con una capacidad de almacenamiento de 2 kW, un banco de baterías de una potencia de 3 kW, la potencia del sistema híbrido es de una magnitud de 5 kW [37].

Tabla 2. Potencias de los elementos.

Elemento	Potencia (kW)
SC	12:00-16:00
Batería	12:00-16:00

b) Nivel de tensión.

El nivel de tensión del sistema trabajara en 24 V, ya que las baterías son de 12 V en serie suman dan su tensión de trabajo mientras que los SC se los colocara en serie varias celdas para llegar al voltaje de trabajo ya mencionado, con este nivel de tensión de alimentar al convertidor y finalmente satisfacer la demanda de la carga del VE.

c) Tipo de carga.

Para el caso de estudio los elementos del sistema de almacenamiento tienen el tipo de carga la cual es directa, esta es aquella cuando la producción está sobrepasando los límites es aquella la que se refiere directamente a las baterías y SC, cuando la producción supera a la demanda, el sistema se recarga con el excedente de energía producido.

d) Tipos de descarga

-Descarga directa: Es el tipo de descarga la cual tiene como característica que la energía almacenada se libera directamente en su forma original hasta llegar a su carga[38].

-Descarga inversa: Es un sistema bidireccional la cual puede operar de en forma de almacenamiento, a la vez de consumo o despacho de energía.

-Descarga gradual: Es una descarga de manera controlada en un periodo de tiempo designado[38].

-Descarga instantánea: Algunos sistemas como el SC presenta aquella característica de liberar la energía almacenada de manera casi instantánea.

-Descarga programada: Es el despacho de energía que tiene una planificación, de tiempo y potencia de la descarga la cual puede ser periódica[39].

e) Descarga profunda del sistema.

La cantidad de energía del sistema híbrido despachara toda la energía almacenada para el proceso de carga de VE, llegando a los niveles de descarga, más bajo posible para

este caso de estudio el nivel llegara al 0%, el sistema debe satisfacer la demanda requerida con una descarga profunda de todos los elementos.

3.3 Descripción de los elementos.

a) Banco de baterías.

La función es almacenar energía con capacidad de 3 kW, cuando el sistema produzca un excedente para poder utilizarlo en la recarga de un VE, estas baterías son de tipo “Deep-cycled” o también es conocidas como ciclo profundo, estas baterías tienen la característica de descargarse de manera lenta y recargarse de forma irregular [40].

b) Super capacitor.

Los SC del sistema tiene la característica de un mayor almacenamiento energético, para el diseño del sistema este tiene una capacidad de 2 kW, una de sus funciones es aportar energía para la carga de VE y su misión en el sistema híbrido es el reducir el tiempo de carga del VE, además de aumentar el ciclo de vida de las baterías [41].

c) Fotovoltaica.

El sistema fotovoltaico para este caso de estudio se lo tiene en una capacidad constante de 5kW, los cuales serán aplicables en el periodo del día de 10:00 a 14:00 horas del día.

3.4 Arquitectura del sistema híbrido.

El sistema compuesto por los elementos almacenamiento híbrido, la red y la planta fotovoltaica, los cuales mediante el método heurístico de optimización aporta al sistema gestor la energía de manera óptima para poder concluir con la carga del VE.



Figura 6. Arquitectura sistema de carga de un VE (Autor)

3.5 Sistema de gestión

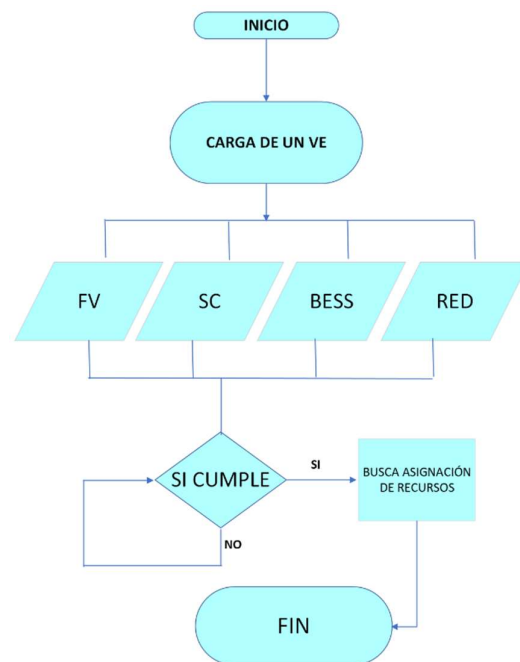


Figura 7. Diagrama de flujo asignación de recursos energéticos.

3.6 Modelamiento matemático

Para el análisis y modelamiento se considera los parámetros que guardan relación con un algoritmo que permita optimizar y mejorar el sistema de carga de un VE.

Tabla 3. Pseudocódigo colonia de hormigas.

Algoritmo Colonia de Hormigas	
Inicio	<ul style="list-style-type: none"> -Creamos matriz feromonas τ -Creación de matriz visibilidad n -Creación de la matriz demanda C_{VE} -Creación del número de hormigas m -Número de interacción n -Factor de vaporización de feromonas ρ -Factores de importancia de las feromonas y visibilidad respectivamente α β -La hormiga inicia en el elemento SC -Inicia su camino pasando por todos los elementos <p style="margin-left: 40px;">for k=1 hasta n for i=1 hasta m</p> <ul style="list-style-type: none"> -Calcula la probabilidad de cada elemento j, basado en cada cantidad de feromonas τ_{ij}, y el enlace de visibilidad n_{ij} $P_{ij}^k = \frac{\tau_{ij} * n_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^\alpha * n_{ij}^\beta}$ <ul style="list-style-type: none"> -Actualización de la matriz demanda -Calcular C_{VE} <p style="margin-left: 40px;">end end</p> <ul style="list-style-type: none"> -Actualización de feromonas τ <p style="margin-left: 40px;">for por cada j for i=1 hasta m</p> $\tau_{ij} = (1 - \rho) * \tau_{ij}$ <ul style="list-style-type: none"> -Actualización vector por cada elemento <p style="margin-left: 40px;">for por cada j for i=1 hasta m</p> $\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{Carga\ por\ hormiga}$ $\tau_{ij} = \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}$ <ul style="list-style-type: none"> -Actualizar C_{VE} <p style="margin-left: 40px;">end end</p>
Fin	<ul style="list-style-type: none"> -Devolver la mejor solución de la recarga óptima del VE

3.7 Caso de estudio.

En este caso de estudio se analiza el proceso de carga de un VE, en un sector residencial, el objetivo es evaluar la eficiencia y optimización del consumo eléctrico que se necesita para la carga de las baterías del VE, considerando un sistema híbrido de almacenamiento, una planta fotovoltaica y la red, basado en un modelo de colonia de hormigas.

Tabla 4. Casos de estudio.

Tipo de carga	Horario 1	Horario 2	Horario 3
Lenta	12:00-16:00	17:00-21:00	00:00-4:00
Semi-rápida	12:00-16:00	17:00-21:00	00:00-4:00

Los escenarios de estudio se proponen en diferentes etapas del día para la carga de un VE. El primer caso en el horario de 12:00 a 16:00 horas en el cual se aprovechará la irradiancia del sol en dicho horario, el caso 2 de 17:00 a 21:00, que sería el caso más crítico debido a que en este horario de presenta el pico de la demanda residencial y el caso 3 que va desde las 00:00 a las 4:00 en donde está inmerso el proceso de carga en el sistema y la demanda es muy bajo.

Durante este proceso se implementa un modelo de colonia de hormigas para optimizar la fuente de suministro con el fin de optimizar su eficiencia y disponibilidad en respuesta a la demanda del sistema.

En los casos de estudio del horario vespertino y matutino, la planta fotovoltaica, no aportará con energía eléctrica sin embargo para minimizar el consumo de energía proveniente de la red eléctrica se aprovechará al máximo la potencia de la energía del sistema híbrido de almacenamiento y al final de la red eléctrica. En los casos de estudio es necesario minimizar el consumo de la red

eléctrica lo cual conllevará a reducir el costo generado por el uso de la energía de la red.

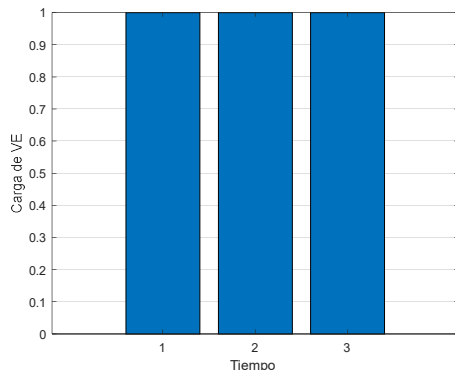


Figura 8. Asignación de carga VE en un periodo del día.

En la figura 8 la carga del VE, el proceso de carga se lo realizará al 100% el cual esta especificado en pu, y en 3 periodos del día.

El enfoque propuesto pretende utilizar un almacenamiento híbrido, el cual permite ajustar los elementos que lo conforman y así provechar las características de estos, en el caso de la batería, se permite ajustar el flujo de energía de manera progresiva, e inteligente.

El tiempo es un parámetro clave, ya que el ciclo de carga de VE tarda un tiempo considerable y para ello debe realizarse un análisis de su potencia y la velocidad de carga permitida por el sistema, en el caso que nos ocupa ha considerado 4 horas de carga.

3.7.1 *Análisis del tipo de la carga de los VEs.*

Para el desarrollo del estudio, es fundamental conocer el tipo de carga existente en la zona residencial, su potencia de consumo, los horarios en los cuales se realiza la carga de un VE, para poder satisfacer la creciente demanda de VE y adoptar de forma masiva estos medios de transporte.

3.7.2 *Optimización de la carga de un VE.*

Para el modelo de optimización de consumo de energía eléctrica, se consideran factores como el costo de cada nodo, la disponibilidad de energía de cada elemento que conforma el sistema híbrido, y la demanda del VE.

Para la modelación del sistema se ha considerado las potencias de los elementos para la carga de un vehículo eléctrico, en kW. El sistema está conformado de un SC cuya potencia es de 2kW, una batería que cuenta con una potencia de 5 kW además de una planta fotovoltaica de 5 kW. Por otro lado, se asume que la red eléctrica tiene potencia de 10kW constante, la cual supera a los elementos de almacenamiento.

Las restricciones son la potencia que posee el sistema híbrido, las cuales aportan de su energía almacenada para la carga de un VE, la capacidad de potencia que aporta la red es constante ya que no es un elemento de almacenamiento es un elemento el cual siempre entrega la misma cantidad de energía.

El tiempo de carga de un VE, es un factor muy importante, el tiempo a considerarse es de 4 horas de carga, en el cual se analizará el porcentaje de potencia y tiempo de operación de cada elemento de carga en despacharse.

4 **Análisis de resultados**

La creciente demanda de movilidad sostenible ha impulsado varios tipos de carga de VE, para que el proceso sea más eficiente y confiable, este estudio se centra la optimización de recursos energéticos los cuales tratan de minimizar el uso de la red debido el costo que este genera durante el proceso de carga y aprovechar al máximo la potencia de cada elemento de un sistema híbrido de almacenamiento.

4.1.1 Tipo de carga (Lenta).

Para este tipo de carga se considera un horario de 4 horas, que se distribuyen en el siguiente periodo del día de 12:00 pm-16:00 pm, al ser este un periodo del día en donde la radiación solar tiene puntos máximos de generación de energía fotovoltaica, la producción de los paneles es superior a las demás horas del día.

Se asume una potencia de carga de 3.4kW para el sistema.

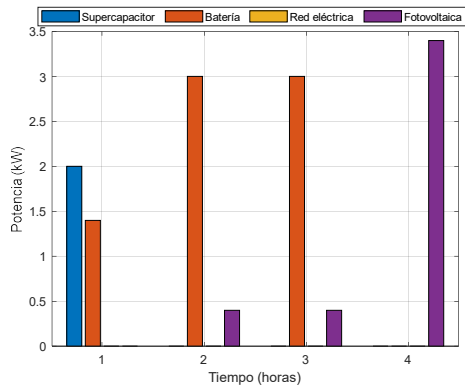


Figura 9. Despacho por elemento carga lenta.

En la figura 9 se observa la asignación de los recursos distribuidos, ingresando primeramente los SC aportando 2 kW en la primera hora de uso, además la batería aporta con el remanente de potencia que demanda el tipo de carga lenta 1.4kW. A partir de la hora 2 la planta fotovoltaica aporta con 0.4 kW para completar los 3.4kW que requiere el sistema. Los dos elementos de almacenamiento quedan sin energía a partir de la hora 3 en el cual la planta fotovoltaica, asume todo el despacho para satisfacer a la demanda del VE que es de 3.4kW.

Para el presente caso de estudio se obtuvo un 100% de despacho por parte del sistema híbrido y la planta fotovoltaica en el periodo de carga del VE, haciendo un aporte de energía constante en 0, en las 4 horas de carga, lo cual minimizó el consumo de red eléctrica lo cual permitió que no se necesite de aporte energético de la red.

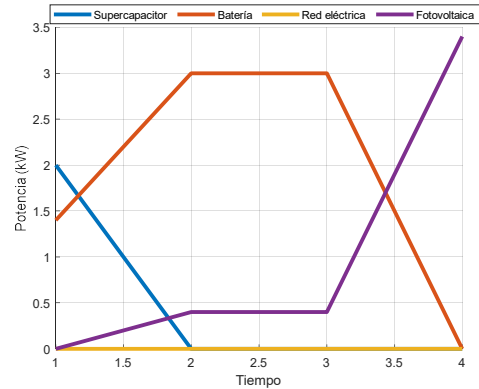


Figura 10. Comportamiento de descarga carga lenta.

En la figura 10 se observa como el algoritmo de la colonia de hormigas, recoge de cada elemento energía para la carga de un vehículo, para la carga de un VE de carga lenta con la cual el SC es el primer elemento en aportar energía en el tiempo 0 igual que la batería para satisfacer la demanda del proceso de carga, el sistema fotovoltaico aporta y asume toda la demanda en la hora 3, la red eléctrica no tiene aporte ya que el sistema híbrido y la planta fotovoltaica poseen la potencia suficiente para satisfacer la demanda de la carga del VE.

4.1.2 Tipo de carga (Semi-Rápida).

Para este caso se tomará en cuenta una carga rápida que trabaja con una potencia de 7.7kW, se encuentra en un periodo durante el día de 4 horas, en horario de 12:00pm - 16:00pm, al igual que el caso anterior, la planta fotovoltaica estará expuesta a los niveles de radiación más elevados del día.

Este tipo de carga posee una mayor demanda de energía eléctrica.

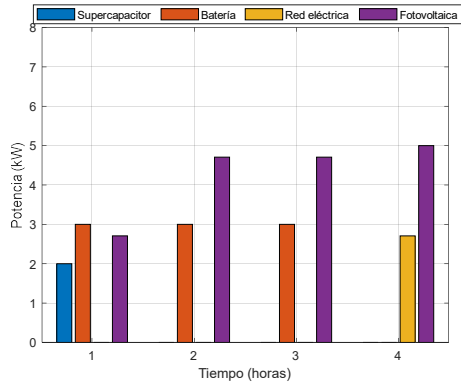


Figura 11. Despacho por elemento carga semi-rápida.

En la figura 11 se observa la asignación de 3 elementos en la hora 1, al tener una demanda de 7.7kW los elementos de almacenamiento con 5kW de potencia, en conjunto, no satisfacen la demanda. La planta fotovoltaica aporta con 2.7kW de energía en la primera hora, en la hora 2 la batería aporta con 3kW, y necesita del aporte de la planta fotovoltaica con 4.7kW. A partir de la hora 3 la red eléctrica ingresa con 2.7kW debido a que la planta fotovoltaica no puede satisfacer la demanda eléctrica que representa el proceso de carga rápida de una VE.

En este caso de estudio se pudo observar un aporte significativo del sistema híbrido, el rendimiento de la planta fotovoltaica en un 91%, ya que al final del periodo de carga faltaron 2.7kW que es el 9% de la demanda a satisfacer de la carga. La red tuvo que aportar con esa potencia.

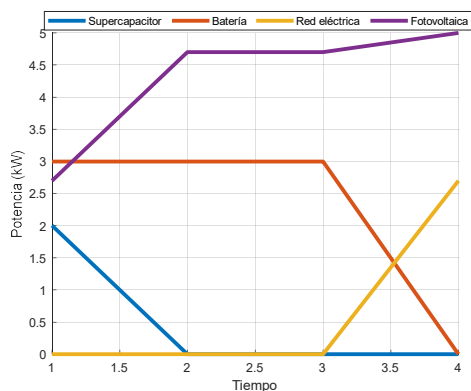


Figura 12. Comportamiento de descarga en carga semi-rápida.

En la figura 12, se observa como el algoritmo de colonia de hormigas administra un despacho de los elementos para satisfacer a la demanda del proceso de carga, en este caso, la red eléctrica toma parte de la demanda en las dos últimas horas del proceso de carga rápida. El SC es el elemento que se descarga de manera más vertiginosa en este proceso de carga, la batería, debido a sus características, se queda sin energía en la hora 2, los 4 elementos propuestos en el sistema para carga de un VE satisfacen la demanda aportando toda su potencia o parte de esta.

4.1.4 Demanda eléctrica en el periodo 10:00am-14:00pm.

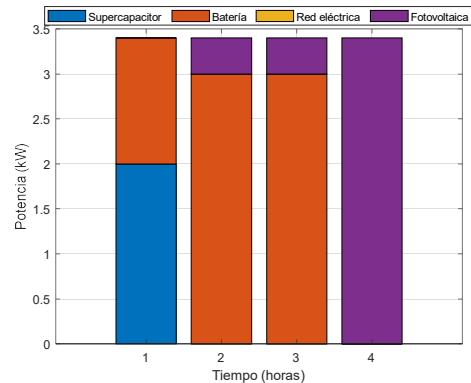


Figura 13. Respuesta a la demanda 3.4kW.

En la figura 13 se visualiza al sistema híbrido y la planta fotovoltaica satisfaciendo la demanda eléctrica del periodo del día, también la planta fotovoltaica entrega la mayoría de energía eléctrica al sistema ya que es el periodo con mayor irradiancia. La demanda al ser casi igual a la potencia del sistema híbrido, en la hora 1 de carga el SC aporta 2kW más 1.4kW de la batería, en la hora 2, la batería despacha 3 kW, más 0.4 kW de la planta fotovoltaica y en la hora final la planta fotovoltaica con 3.4kW satisface la demanda, no se utiliza energía de la red, el sistema propuesto puede satisfacer sin

dificultad una zona residencial el sistema propuesto.

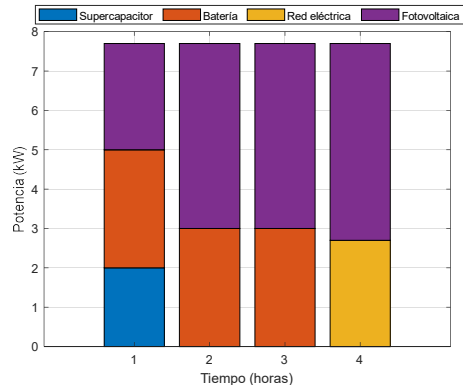


Figura 14. Respuesta a la demanda 7.7kW.

En la figura 14 podemos observar que a una demanda de 7.7kW el sistema híbrido aporta con toda su potencia de energía almacenada en la hora 1 ya que sus elementos son de baja magnitud para la demanda, la red eléctrica, el banco de batería aporta de energía hasta la hora 3 con una potencia de 3kW de descarga mientras que la planta fotovoltaica en la hora 1 aporato con 2.7kw, a partir de la hora 3 su potencia incremento de manera constante con una potencia de 4.7kW en la parte final del proceso de carga la red aporta con 2.7kW ya que la fotovoltaica aporta toda su potencia de 5kW.

4.1.5 Demanda eléctrica en el periodo 17:00pm-21:00pm.

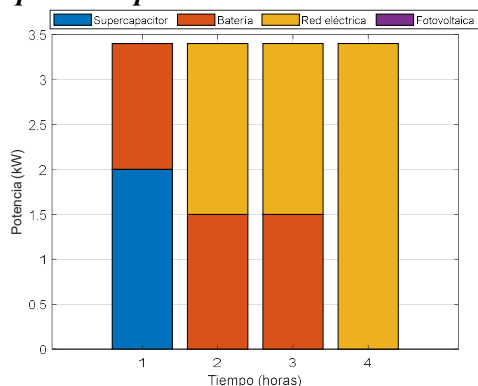


Figura 15. Respuesta a la demanda 3.4kW.

Para la figura 15, en este periodo del día la demanda eléctrica presenta los picos de consumo eléctrico más altos, ya que en la zona residencial los usuarios llegan a sus

domicilios y utilizan la mayoría de cargas eléctricas (electrodomésticos y luminarias), además el sistema híbrido de almacenamiento responde a la demanda, la planta fotovoltaica no produce más energía que hasta las 17:00 horas del día ya que la irradiancia es mínima y llega a cero, en la primera hora el SC despacha 2 kW más 1.4kW de la batería, la red eléctrica es la que asume el despacho de potencia en la hora 2 y 3 con 0.90kW y la batería aporta con un despacho de 1.5kW, en la última hora de carga es necesario para satisfacer la demanda el aporte de toda la potencia por parte de la red debido a su fidelidad en todo el día.

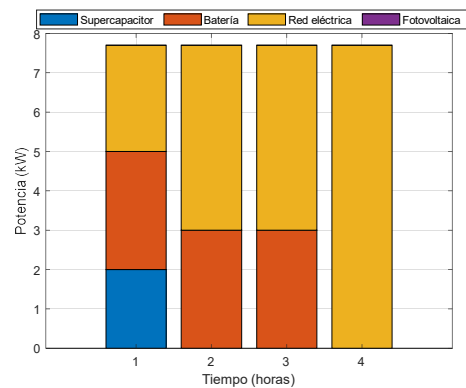


Figura 16. Respuesta a la demanda 7.7 kW.

En la figura 16, se observa que en la hora 1, el sistema híbrido satisface la demanda en 5kW, más la red eléctrica asumen la demanda de 7,7kW, en la hora 3 y 4 el despacho es constate, la batería aporta 3kW y la red con una potencia de 4.7kW. En la hora 4 de la demanda, la red asume toda la demanda eléctrica con un 7.7kW.

4.1.6 Demanda eléctrica en el periodo 00:00am-4:00am.

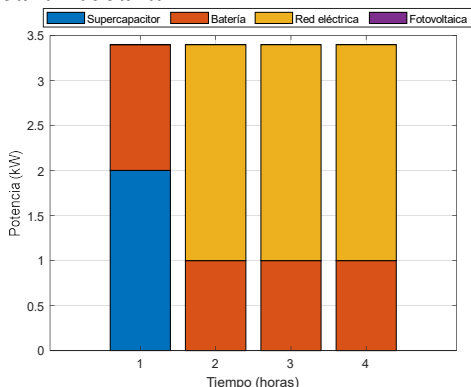


Figura 17. Respuesta a la demanda 3.4 kW.

En la figura 17, se observa que la demanda eléctrica es baja y esto se debe que en el sector residencial donde el comportamiento de consumo refleja que la mayoría de los usuarios descansan y no se necesita de uso de energía en gran demanda. El sistema híbrido logra satisfacer a la demanda de manera eficiente, el SC se descarga en la primera hora de trabajo ya que es un elemento muy rápido en la descarga, además la batería asume parte de la demanda por el tiempo de estudio de las 4 horas y el resto por la energía eléctrica de la red, el aporte de energía es constante y continua por parte de las baterías de 3 kW. La demanda eléctrica presenta picos muy bajos, los cuales pueden ser generados por equipos que se enciendan solos y estén programados a trabajar por ciclos definidos.

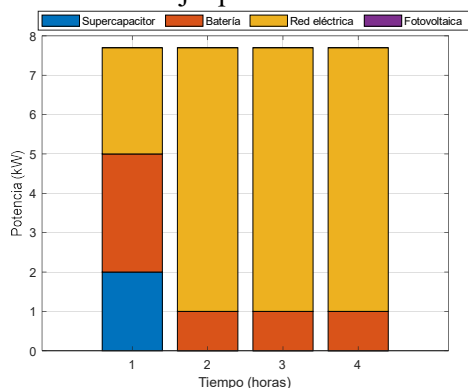


Figura 18. Respuesta a la demanda 7.7 kW.

En la figura 18 la demanda es menor en todo el día, se puede analizar que el despacho de potencia en la hora 1 están presentes las 3 fuentes SC, batería, y red ya que la planta fotovoltaica, no aporta energía porque en ese periodo del día no hay irradiancia del sol, en la hora 1 el despacho por elemento es el siguiente: 2kW del SC, 3 kW de la batería y en las 3 horas restantes, la batería con 1.5kW más la red eléctrica con una potencia de 5.2kW.

4.1.7 Discusión.

-Para el proceso de carga lenta con una potencia 3.4kW en el periodo establecido de estudio de 12:00 pm a 16:00pm.

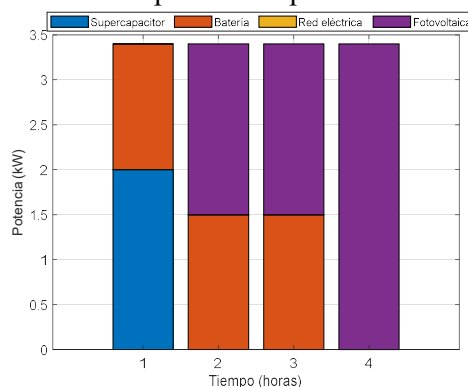


Figura 19. Despacho para carga lenta 3.4 kW.

En la figura 19, se observa que el sistema híbrido y la planta fotovoltaica cargan sin problemas al VE, que tiene una demanda de 3.4kW, con la cual se puede obtener una reducción de costo, ya que no se usa la red eléctrica en el sistema y esto representa un ahorro a los usuarios residenciales, la potencia de carga es de 3.4kW y permite que los elementos de almacenamiento y la planta logren una carga independiente de la red en el horario establecido debido al máximo aprovechamiento de radiación del sol y la energía almacenada en el sistema híbrido.

El sistema respondió de manera satisfactoria y de manera muy eficaz la cual logro satisfacer la demanda al máximo minimizando a 0 el consumo de energía eléctrica con el cual no se genera

nada de consumo energético con el cual se puede tener

- Para el proceso de carga semi - rápida con una potencia 7.7kW en el periodo establecido de estudio de 12:00 pm a 16:00pm.

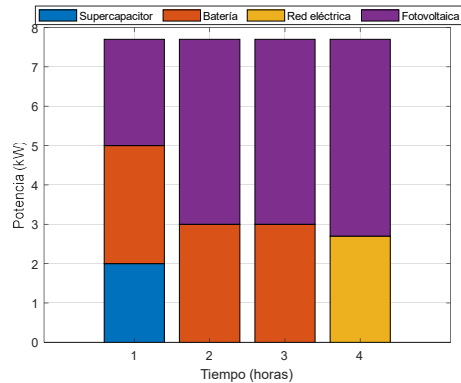


Figura 20. Despacho para carga semi - rápida 7.7 kW.

En la figura 20, se observa que el sistema es eficiente hasta la hora 3, en la cual los elementos del sistema híbrido más la planta fotovoltaica asumen toda la potencia de la demanda, esto permite que haya un ahorro para las 3 primeras horas de proceso de carga y así lograr satisfacer la demanda durante 4 horas. Esto se logra modificando el sistema de carga o también sobredimensionando las potencias de los elementos del sistema híbrido para semi-satisfacer la demanda del proceso de carga rápida de VE. El sistema no logra satisfacer su demanda ya que conlleva a generar un costo por consumo de la red eléctrica en la última hora carga, es decir se debe facturar 2.7 kWh.

Tabla 5. Horario de carga del VE.

Tipo de carga	Potencia (kW)	Horario 1
Lenta	3.3	12:00-16:00
Semi-rápida	7.7	12:00-16:00

En la tabla 5 el mejor horario de carga del VE y en donde se minimiza el consumo de energía proveniente de la red es donde el

horario 1, en donde el sistema híbrido, la planta fotovoltaica aportan la mayor cantidad de potencia para satisfacer la demanda del proceso de carga. En este periodo del día en carga lenta satisface el sistema con toda la potencia en las 4 horas de carga, mientras que la carga semi rápida el sistema aporta y la planta fotovoltaica en las 3 primeras horas mientras que en la última hora la red tiene un aporte de 2.7 kW.

5 Conclusiones.

La implementación de un sistema híbrido de almacenamiento que coordina batería más super capacitor, es una estrategia efectiva para cargar un VE, esta combinación permite satisfacer el proceso de carga, sea esta lenta o semi rápida, en las primeras horas de carga. Se debe indicar que el comportamiento de los elementos que se descargan de manera inmediata, como el SC, solo despachan energía hasta la hora 1, la batería termina el proceso de despacho hasta la hora 3.

La optimización del consumo de energía mediante el uso del modelo de colonia de hormigas ofrece una estrategia inteligente y eficiente del despacho de energía de los elementos del sistema híbrido, la planta fotovoltaica y la red eléctrica, al adaptar el concepto del modelo en la carga de un VE, cabe destacar que se obtuvo una minimización de costos en los usuarios finales al reducir sobrecargas en momentos de críticos de alta demanda a la red eléctrica, además de promover una buena gestión de los recursos energéticos.

El sistema cumple con la demanda eléctrica de carga lenta en un 100% de efectividad, integrado por el sistema híbrido y la planta fotovoltaica, mientras que en el sistema de carga semi rápida por su potencia de 7.7 kW, el sistema tiene un aporte del 91% del proceso de carga del VE, mientras que de la

red hizo un aporte del 9% para satisfacer la demanda en su totalidad.

5.1.1 Trabajos futuros.

Como posteriores trabajos se recomienda implementar recursos basados en algoritmos de inteligencia artificial, para lograr un despacho energético de los elementos de almacenamiento con un mayor grado de optimización, además de poder analizar la manera de predecir la demanda eléctrica y mejorar los procesos de carga de VE para minimizar el tiempo de carga y evitar problemas con sobrecargas en la red eléctrica, aprovechando al máximo las horas pico de irradiancia con una planta fotovoltaica y los sistemas híbridos de almacenamiento, que permita minimizar costos por el uso de la red eléctrica.

6 Referencias

- [1] J. I. Jaramillo Ojeda and A. A. Uchuari Marizaca, *Análisis de la ubicación de electrolineras en la ciudad de Loja*. 2021.
- [2] J. F. T. Hidalgo, “Asignación de recursos distribuidos para una electrolinera basado en el algoritmo colonia artificial de hormigas,” *thesis*, p. 32, 2022.
- [3] Bustamante Remache Carlos Andres - Llumi Guambo Ruben Byron, *Análisis comparativo de un vehículo híbrido Toyota Prius frente a un vehículo eléctrico Kia Soul en la ciudad de Cuenca*. 2022.
- [4] A. E. Abarca Basante, “Implementación de un sistema de gestión de la demanda eléctrica basado en la caracterización de los recursos en micro-redes,” *Univ. Politécnica Sales.*, p. 41, 2021.
- [5] J. G. V. Sánchez, *Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador*. CUENCA, 2017.
- [6] J. Loachamín, “Óptima Gestión De La Demanda De Una Micro-Red Para La Mejora Del Perfil De Voltaje Ante La Influencia De Un Vehículo Eléctrico,” p. 6, 2021, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21312>.
- [7] D. Aparicio Guirao, “Aplicación de los algoritmos de hormigas para la resolución de un RALBP,” pp. 1–100, 2018.
- [8] M. A. Espin Luzuriaga, “Identificación de alternativas de mejora en la gestión de energía eléctrica en el área de soldadura en la empresa CIAUTO CIA.LTDA-ciudad del auto ubicada en la ciudad de Ambato, mediante el desarrollo de auditoría eléctrica.,” *Tesis*, pp. 1–100, 2022, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [9] D. León, Edgar;Quituisaca, *Estudio de la ubicación y dimensionamiento de electrolineras en la ciudad de Cuenca*. 2019.
- [10] A. G. C. ESPAÑA, “Factibilidad Para La Integración De Vehículos Eléctricos Al Sistema De Distribución Eléctrico,” *Tesis*, pp. 1–100, 2015, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [11] M. Bernar, “Dimensionamiento De Una Micro-Red Tipo Estación De Recarga Para Vehículos Eléctricos Conectados Al Sistema Eléctrico,” pp. 1–54, 2020.
- [12] D. A. Duque and J. A. Rocano, “Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados,” vol. v1, no. 1,3, p. 167, 2017, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14867/1/UPS-CT007298.pdf>.
- [13] V. Vergara Naranjo, “Óptima Gestión De La Demanda Para Estaciones De Recarga De Vehículos Eléctricos En Microredes Inteligentes,” pp. 2–5, 2017.
- [14] L. CATAGNIA, “Estimación de

costos de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos basado en la óptima respuesta de la demanda,” *Univ. Politécnica Sales. Sede Quito*, p. 47, 2020.

[15] J. Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 1995.

[16] A. D. Pilatasig Montaluisa, *Evaluación de la calidad de energía eléctrica en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de bajo Voltaje*. 2018.

[17] N. Sanguano and C. Barrera, “Evaluación de la confiabilidad del sistema de generación y transmisión considerando fallas de causa común en líneas y el método monte carlo,” *Trab. titulación*, vol. 0, p. 54, 2021.

[18] Cacuang Gualotuña Victor Hugo, “Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución utilizando un algoritmo multiobjetivo considerando despacho,” 2019.

[19] A. Conchado and P. Linares, “Gestión activa de la demanda eléctrica doméstica: beneficios y costes,” *V Congr. la AEEE Vigo*, pp. 1–21, 2018.

[20] P. Moreno and E. Garcia, “Gestión energética mediante procesos estocásticos para la respuesta a la demanda,” *Univ. politecnica Sales.*, p. 26, 2017.

[21] F. D. Rinaudo and L. M. Aromataris, “Impacto de la generación eólica en estabilidad transitoria de sistemas eléctricos de potencia,” *2014 IEEE Bienn. Congr. Argentina, ARGENCON 2014*, pp. 438–442, 2014, doi: 10.1109/ARGENCON.2014.6868533.

[22] J. Gomez Marín, S. Carvajal, and A. Arango Manrique, “Programas de gestión de demanda de electricidad para el sector residencial en Colombia: Enfoque Sistémico,” *Energética*, vol. 0, no. 46, pp. 73–83, 2015.

[23] F. P. Sioshansi, “India Smart Grid Forum Shakti Sustainable Energy Foundation,” vol. 7, p. 474, 2020.

[24] N. M. Galeano, J. M. L. Lezama,

and E. R. Trujillo, “Análisis detallado del Standard IEEE 1459-2010 para sistemas eléctricos monofásicos lineales y no lineales,” vol. 16, no. 2, pp. 327–332, 2019.

[25] P. Adam R, *Demand Response for reducec electricity consumption a plan for the nation*, NOVA publi. New York: Nova Science Publishers, Inc, 2013.

[26] Organización Internacional de Normalización, “Guía de Implantación de Sistemas de Gestión de la Energía: Norma ISO 50001:2018,” *Nqa*, p. 55, 2018, [Online]. Available:

<https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish QRFs and PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf>.

[27] M. C. Guillermo Javier, “Sistemas de almacenamiento de energía,” *Tesis*, 2016.

[28] D. Rodríguez, *Evaluación De Supercondensadores Como Sistema De Almacenamiento Para Microredes*. 2020.

[29] J. Leuchter, P. Bauer, and V. Steklý, “Battery-supercapacitors mixed as electrical power buffers,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2010, no. 563 CP, 2010, doi: 10.1049/cp.2010.0124.

[30] F. P. O, B. P. E, and P. P. F, “Estimación de los estados de carga y de salud en un sistemas híbridos basados en supercapacitores y baterías de litio,” pp. 366–371, 2021.

[31] X. Li, R. Ma, L. Wang, S. Wang, and D. Hui, “Energy Management Strategy for Hybrid Energy Storage Systems with Echelon-use Power Battery,” *2020 IEEE Int. Conf. Appl. Supercond. Electromagn. Devices, ASEMD 2020*, pp. 2020–2021, 2020, doi: 10.1109/ASEMD49065.2020.9276135.

[32] S. C. O. N. A. Mediante *et al.*, “Diseño y evaluación de un sistema híbrido solar-eólico con almacenamiento mediante baterías y capacitores,” vol. 42, no. 137, pp. 1015–1032, 2020.

[33] D. la T. A. Alex Martin, “Diseño de un sistema de generación distribuida

fotovoltaica para el bloque 'd' del campus sur de la universidad politécnica salesiana," vol. 1, p. 67, 2022.

[34] M. O. O. Andres, "Optimización de redes secundarias de distribución usando un algoritmo de optimización basado en colonia de hormigas," *Ph.D. thesis, Cent. Univ. Technol. China*, vol. 76, no. 3, pp. 61–64, 2008.

[35] M. L. Viracocha Chicaiza, "Óptimo Dimensionamiento Y Ubicación De Bancos De Capacitores En Redes De Distribución Usando Algoritmo De Colonia De Hormigas," *Cienc. e Ing.*, vol. 1, pp. 1–18, 2018.

[36] D. A. O. O. Acosta Niño Francia del Pilar, "Un método evolutivo de colonia de hormigas para la solución del problema de ruteo de vehículos eléctricos con demandas estocásticas," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 123, no. 10, p. 147, 2013, [Online]. Available: <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/jspui/handle/10603/7385>.

[37] J. D. Acosta Carua, "Diseño y simulación de un sistema de generación y almacenamiento híbrido para el abastecimiento de energía a una comunidad aislada del Ecuador," pp. 1–150, 2022.

[38] J. Calvopiña and G. Carlos, "Diseño e implementación de estrategias de control para la gestión de un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías para micro-redes aisladas utilizando arquitecturas de control centralizadas y distribuidas," p. 6, 2021.

[39] K. A. Martínez Bravo, "Dimensionamiento óptimo de bancos de batería para micro-redes conectadas al sistema de distribución de energía eléctrica, con participación en programas de respuesta de la demanda," 2021.

[40] Prosumidores, "Inversores y baterías," *Acad. las Renov.*, pp. 1–30, 2018, [Online]. Available: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/12/Módulo-4-Inversores-reguladores-baterías.pdf>.

[41] J. Máca and M. Sedla, "Supercapacitors : Properties and applications," vol. 17, no. March, 2018.

6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 6: Matriz de estado del arte.

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.																						
ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaico	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
1	2021	Análisis de la ubicación de electrolineras en la ciudad de Loja.	2	☒			☒		☒							☒					☒	
2	2021	Asignación de recursos distribuidos para una electrolinera basado en el algoritmo colonia artificial de hormigas	1				☒	☒			☒						☒					☒
3	2022	Análisis comparativo de un vehículo híbrido Toyota Prius frente a un vehículo eléctrico Kia Soul en la ciudad de Cuenca.	2	☒					☒		☒				☒	☒						
4	2021	Implementación de un sistema de gestión de la demanda eléctrica basado en la caracterización de los recursos en micro-redes	1						☒							☒			☒	☒		
5	2017	Análisis y Estimación de la Demanda Eléctrica con la Implementación de Vehículos Eléctricos conectados a una Red de Distribución en Cuenca y El Ecuador.	23	☒	☒				☒						☒		☒			☒		

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISHED OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaico	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
6	2021	Óptima Gestión De La Demanda De Una Micro-Red Para La Mejora Del Perfil De Voltaje Ante La Influencia De Un Vehículo Eléctrico,	1	✗					✗	✗	✗				✗							✗
7	2018	Aplicación de los algoritmos de hormigas para la resolución de un RALBP	2	✗							✗											✗
8	2022	Identificación de alternativas de mejora en la gestión de energía eléctrica en el área de soldadura en la empresa CIAUTO CIA.LTDA-ciudad del auto ubicada en la ciudad de Ambato, mediante el desarrollo de auditoría eléctrica.	1	✗			✗		✗	✗				✗				✗	✗			
9	2019	Estudio de la ubicación y dimensionamiento de electrolinerías en la ciudad de Cuenca.	1	✗	✗								✗	✗		✗		✗			✗	
10	2018	Factibilidad Para La Integración De Vehículos Eléctricos Al Sistema De Distribución Eléctrico	1	✗	✗				✗	✗					✗							

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaicar	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
1 1	20 20	Dimensionamiento De Una Micro-Red Tipo Estación De Recarga Para Vehículos Eléctricos Conectados Al Sistema Eléctrico	1	✗					✗	✗		✗	✗								✗	
1 2	20 17	Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados,	7	✗						✗	✗	✗			✗			✗				✗
1 3	20 17	Óptima Gestión De La Demanda Para Estaciones De Recarga De Vehículos Eléctricos En Microredes Inteligentes	8	✗		✗				✗			✗		✗	✗				✗	✗	
1 4	20 20	Estimación de costos de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos basado en la óptima respuesta de la demanda	10	✗	✗		✗							✗		✗					✗	✗
1 5	19 95	Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica,	85		✗		✗			✗		✗				✗		✗		✗		

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaicar	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
16	2018	Evaluación de la calidad de energía eléctrica en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de bajo Voltaje	7		☒	☒								☒	☒							
17	2021	Evaluación de la confiabilidad del sistema de generación y transmisión considerando fallas de causa común en líneas y el método monte carlo	1		☒			☒		☒	☒				☒		☒			☒		☒
18	2019	Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas electricos de distribución utilizando un algoritmo multiobjetivo considerando despacho	1					☒		☒	☒	☒	☒	☒			☒			☒		
19	2018	Gestión activa de la demanda eléctrica doméstica : beneficios y costes	3		☒				☒	☒	☒						☒			☒		☒
20	2017	Gestión energética mediante procesos estocásticos para la respuesta a la demanda	8			☒		☒	☒				☒		☒	☒		☒				
21	2014	Impacto de la generación eólica en estabilidad transitoria de sistemas eléctricos de potencia	8		☒			☒		☒			☒				☒				☒	☒

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaicar	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
2 2	20 15	Programas de gestión de demanda de electricidad para el sector residencial en Colombia: Enfoque Sistémico	14	✗		✗			✗	✗					✗		✗			✗		
2 3	20 21	India Smart Grid Forum Shakti Sustainable Energy Foundation	3			✗			✗		✗		✗		✗				✗	✗		
2 4	20 19	Análisis detallado del Standard IEEE 1459-2010 para sistemas eléctricos monofásicos lineales y no lineales.	4		✗	✗			✗	✗					✗	✗				✗		✗
2 5	20 13	Demand Response for reducec electricity consumption a plan for the nation	2			✗			✗		✗					✗	✗			✗		✗
2 6	20 18	Guía de Implantación de Sistemas de Gestión de la Energía: Norma ISO 50001:2018	1	✗	✗	✗				✗	✗				✗	✗	✗			✗		
2 7	20 16	Sistemas de almacenamiento de energía	2				✗			✗		✗	✗	✗		✗			✗			✗
2 8	20 20	Evaluación De Supercondensadores Como Sistema De Almacenamiento Para Microredes.	1		✗		✗		✗	✗		✗	✗	✗		✗				✗	✗	✗
2 9	20 10	Battery-supercapacitors mixed as electrical power buffers	15		✗		✗			✗		✗	✗	✗		✗			✗	✗		✗
3 0	20 21	Estimación de los estados de carga y de salud en un sistemas híbridos basados en supercapacitores y baterías de litio	1	✗			✗		✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗				✗		

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaicar	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
1	2020	Energy Management Strategy for Hybrid Energy Storage Systems with Echelon-use Power Battery	13	☒			☒		☒	☒		☒	☒			☒					☒	
2	2020	Diseño y evaluación de un sistema híbrido solar-eólico con almacenamiento mediante baterías y capacitores	1		☒		☒		☒	☒	☒	☒	☒			☒	☒			☒	☒	☒
3	2022	Diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaica para el bloque 'd' del campus sur de la universidad politécnica salesiana	1			☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒		☒				☒		
4	2008	Optimización de redes secundarias de distribución usando un algoritmo de optimización basado en colonia de hormigas	14		☒			☒		☒	☒					☒			☒			☒
5	2018	Óptimo Dimensionamiento Y Ubicación De Bancos De Capacitores En Redes De Distribución Usando Algoritmo De Colonia De Hormigas	2		☒			☒	☒		☒	☒	☒			☒			☒	☒		
6	2013	Un método evolutivo de colonia de hormigas para la solución del problema de ruteo de vehículos eléctricos con demandas estocásticas	1	☒				☒	☒		☒				☒		☒	☒			☒	☒

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ALMACENAMIENTO BASADO EN UN MODELO DE COLONIA DE HORMIGAS.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DEL ARTÍCULO	NÚMERO DE CITAS PUBLISH OR PERISH SCHOLAR GOOGLE	Vehículo eléctrico	Calidad de suministro	Respuesta a la demanda	Almacenamiento híbrido	Colonia de hormigas	Demanda eléctrica	Tipos de carga	Fuentes de energía	Optimización de energía eléctrica	Sistema híbrido	Fotovoltaicar	Red eléctrica	Análisis del tipo de carga, lenta o semi rápida	Despacho energético	Algoritmo colonia de hormigas	Asignación de horarios	Gestión de la demanda	Reducción de consumo de red	Mejoramiento de calidad de energía
37	2022	Diseño y simulación de un sistema de generación y almacenamiento híbrido para el abastecimiento de energía a una comunidad aislada del Ecuador	1				☒						☒				☒					
39	2021	Diseño e implementación de estrategias de control para la gestión de un sistema de almacenamiento de energía basado en baterías para micro-redes aisladas utilizando arquitecturas de control centralizadas y distribuidas.	1						☒					☒								☒
40	2021	Dimensionamiento óptimo de bancos de batería para micro-redes conectadas al sistema de distribución de energía eléctrica, con participación en programas de respuesta de la demanda	3				☒						☒								☒	
41	2018	Supercapacitors : Properties and applications	523							☒						☒	☒					
CANTIDAD:				18	17	9	14	9	18	16	20	15	17	16	18	16	25	4	12	20	17	13

6.2 Resumen de Indicadores

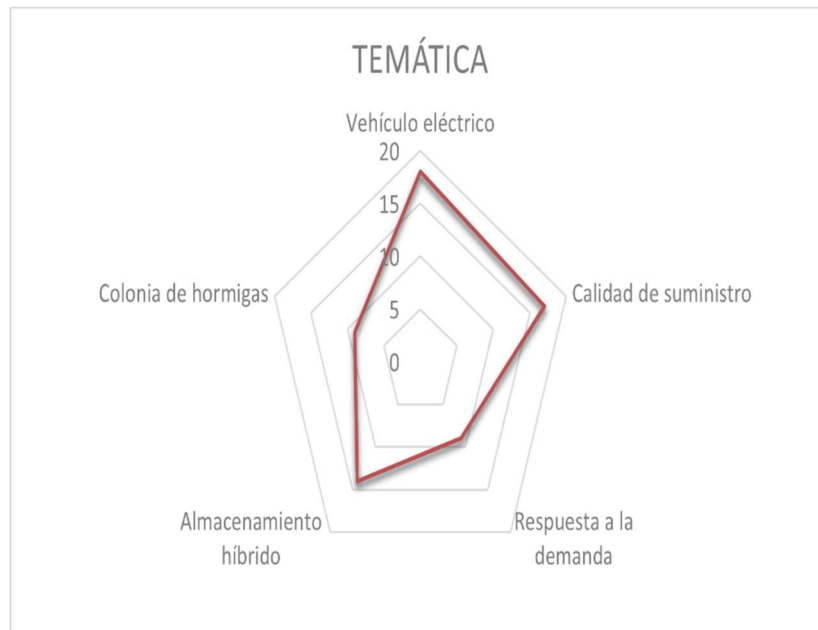


Figura 1. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

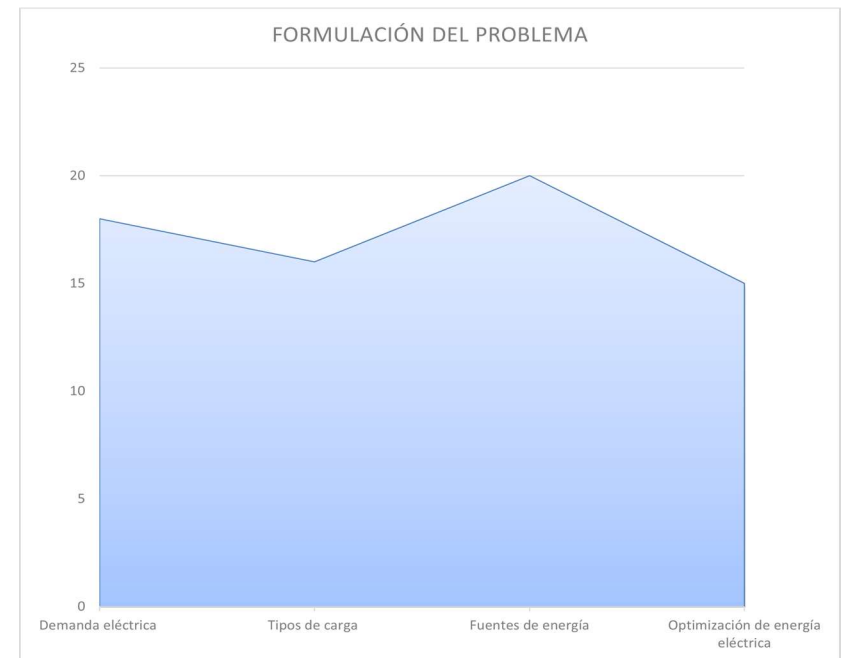


Figura 2. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

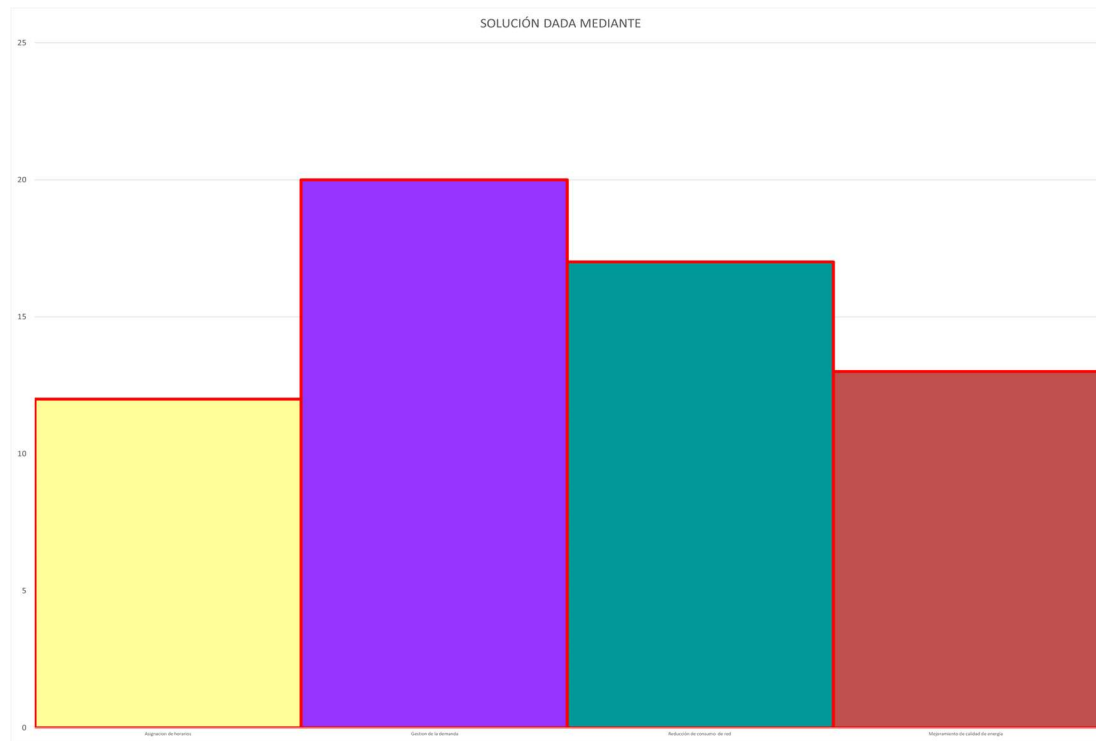


Figura 3. Indicador de solución - Estado del arte