

Algoritmo de control automático y comunicación para la gestión de carga de vehículos eléctricos mediante sensores de corriente y MQTT

Automatic control and communication algorithm for charging management of electric vehicles using current sensors and MQTT

Luis Eduardo Amaguaya LLamuca

Universidad Estatal Península de Santa Elena
e.amaguaya@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-8701-6470>

Murillo Oviedo Jorge Patricio

Universidad Estatal Península de Santa Elena
jmurillo@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6812-0795>

RESUMEN

El incremento acelerado de vehículos eléctricos plantea retos importantes para las redes eléctricas y de manera significativa en términos de administración de necesidad energética y estabilidad del sistema, es por ello que el presente artículo tiene como objetivo diseñar un algoritmo de control automático fundamentado en sensores de corriente y el protocolo MQTT que permita administrar eficientemente la carga de vehículos eléctricos, dicho objetivo unido a la metodología empleada permitió mostrar como principales resultados que es posible implementar mecanismos para manejar posibles fallos en la comunicación MQTT, se puede asegurar que la transmisión de datos a través de MQTT esté cifrada y autenticada para proteger la información del usuario, que si es posible diseñar un sistema de manera que pueda adaptarse a diferentes tipos de vehículos eléctricos y configuraciones de carga, el enfoque integral del algoritmo garantiza una gestión eficiente y segura de la carga de vehículos eléctricos, aprovechando las capacidades de monitoreo en tiempo real, el algoritmo aborda de manera efectiva las problemáticas identificadas en la investigación, también emerge como hallazgos que los vehículos eléctricos que son monitoreados mediante sensores de corriente en tiempo real cuando reciben energía emiten una serie de información que es examinada y procesada por el algoritmo para ajustar de manera dinámica la potencia de carga. Finalmente se plantea que el algoritmo diseñado automatiza el proceso de carga, facilitando el ajuste de la potencia de carga dinámica para asegurar que el vehículo eléctrico tome la cantidad ajustada de energía en tiempo real.

Palabras claves: Algoritmo, automático, vehículos, sensores, corriente.

ABSTRACT

The accelerated increase of electric vehicles poses important challenges for electrical networks and significantly in terms of energy need management and system stability, that is why the present article aims to design an automatic control algorithm based on current sensors and the MQTT protocol that allows to efficiently manage the charge of electric vehicles, this objective together with the methodology used allowed to show as main results that it is possible to implement mechanisms to handle possible failures in MQTT communication, it can be ensured that the data transmission through MQTT is encrypted and authenticated to protect user information, that it is possible to design a system in a way that can adapt to different types of electric vehicles and load configurations, the comprehensive approach of the algorithm guarantees efficient and secure management of the charge of electric vehicles, taking advantage of real-time monitoring capabilities, the algorithm effectively addresses the problems identified in the research, it also emerges as findings that electric vehicles that are monitored by current sensors in real time when they receive energy emit a series of information that is examined and processed by the algorithm to dynamically adjust the charging power. Finally, it is proposed that the designed algorithm automates the charging process, facilitating the adjustment of the dynamic charging power to ensure that the electric vehicle takes the adjusted amount of energy in real time.

Keywords: Algorithm, automatic, vehicles, sensors, current.

INTRODUCCIÓN

Una de las iniciativas más trascendentales que a nivel global le toca enfrentar a la actual generación es sin dudas la movilidad eléctrica, lo que favorece la disminución de las emisiones de carbono y el aporte a la neutralidad climática, según la Agencia Internacional de Energía para el año 2022 ya existían a nivel mundial alrededor de 26 millones de autos eléctricos y la perspectiva es llegar a más de 145 millones para el 2030, dicho incremento constituye carga significativa en las redes eléctricas, atendiendo a que la necesidad energética que se le impondrá a la carga de este tipo de vehículos puede llegar y sobrepasar los 1.500 TWh por años hasta el 2030, lo que representa el 10 por ciento del consumo eléctrico global. (IEA, 2023)

El control, monitoreo y administración en tiempo real de las cargas se desarrollan mediante el empleo de tecnologías de avanzada como sensores de corriente y el uso del protocolo MQTT (Transporte de telemetría de colas de mensajes), siendo de gran utilidad para la permanencia de las redes eléctricas, estas tecnologías de punta favorecen la estabilidad de la demanda, rebaja de los picos y la mejora de todo el sistema eléctrico que existe.

Atendiendo al desequilibrio en las políticas de gobierno y el desarrollo económico de los países latinoamericanos, se observa un desarrollo heterogéneo entre los vehículos tradicionales y los eléctricos, según la Comisión Económica para América Latina naciones en países como Colombia, Brasil y México se observa un liderazgo en este tipo de mercado, ya que si se suman la cantidad de vehículos que tiene cada uno llegan sumar más de 100 mil vehículos eléctricos (CEPAL, 2022),

independientemente a estos datos estadísticos, aun se valora de insuficiente la estructura de carga, con una media de 0.3 estaciones por cada mil vehículos eléctricos.

Eliminar la dependencia de los combustibles fósiles, es una de las estrategias que ha puesto en práctica muchos países latinoamericanos (Cesar, 2016), sin embargo en Ecuador esto no ha sido suficiente para apuntar hacia la electromovilidad, en este sentido el Ministerio de Energía y Minas (2023), señala que en Ecuador transitan cerca de dos mil vehículos eléctricos, representando un incremento del 50 por ciento por años, elemento este que hace que la infraestructura de carga esté limitada a tan solo 150 estaciones gubernamentales activas, las que a su vez están situadas en las ciudades más importantes del país.

El incremento acelerado de vehículos eléctricos plantea retos importantes para las redes eléctricas y de manera significativa en términos de administración de necesidad energética y estabilidad del sistema, en aquellos entornos donde se cargan de manera simultánea se crean picos de demanda que por demás generan sobrecargas y afectan la calidad del suministro eléctrico.

La gestión manual, es una de las respuestas significativas e iniciativas de la programación estática, pero resultan insuficientes para darle tratamiento a la inestabilidad de la carga en tiempo real, a lo que se suma la ausencia de tecnologías de punta como sensores de corriente para el seguimiento en tiempo real y protocolos de comunicación como MQTT limitando la capacidad de los sistemas para ajustarse eficientemente a las situaciones de carga y demanda.

Dicha problemática se ve agravada por la limitada interoperabilidad entre conectores y la falta de algoritmos de control automatizados que de manera óptima integren estas tecnologías de manera eficiente, entorpeciendo así la migración hacia una infraestructura de carga razonable y que vaya en crecimiento.

El objetivo de la presente investigación es diseñar un algoritmo de control automático fundamentado en sensores de corriente y el protocolo MQTT que permita administrar eficientemente la carga de vehículos eléctricos, su alcance está basado en el progreso y certificación de un algoritmo de control automático que combine tecnologías de seguimiento en tiempo real a través de sensores de corriente y protocolos de comunicación eficaces como MQTT, el estudio se fundamenta en el análisis dinámico de la carga de vehículos eléctricos en un escenario controlado y multiplicar entornos que muestren la interacción de varios beneficiarios en una red eléctrica.

MÉTODOS

La investigación tiene un enfoque cualitativo, su nivel es descriptivo de tipo transversal, el tipo de estudio es de diseño documental, ya que se busca desarrollar una solución práctica que pueda integrarse en sistemas reales de carga de vehículos eléctricos, para la recopilación de la información se emplearan métodos como la observación y la revisión documental, permitiendo revisar y analizar el diseño de otros software especializado que han mostrado eficiencia de su algoritmo en escenarios controlados.

El tratamiento al problema planteado se sustenta en varias teorías y enfoques que subrayan la importancia de la simulación, el aprendizaje experiencial y la formación por competencias.

A continuación, se detallan las principales teorías relevantes para este estudio:

Teoría de Sistemas de Control Automático:

Dicha teoría se sustenta en los fundamentos de los sistemas de control automático, que definen los elementos esenciales para elaborar sistemas que permitan regular de manera automática un proceso óptimo para llegar a objetivos predestinados (Ogata, 2020). En el contexto de la presente investigación, el algoritmo que se propone se ajusta de manera dinámica a la carga de los vehículos eléctricos en función de las circunstancias del sistema eléctrico.

Teoría de la Comunicación en IoT (Internet de las Cosas):

El uso del protocolo MQTT tiene su fundamento teórico en los preceptos de IoT, que desde diferentes perspectivas asegura la interoperabilidad, baja latencia y eficacia energética en la transferencia de datos entre terminales enlazados (Toma et al., 2021), dicho protocolo resulta significativo para la presente investigación ya que permite combinar en tiempo real las estaciones de carga y los vehículos eléctricos.

Teoría de la Gestión de la Demanda Energética:

Dicha teoría se sustenta en los principios de la gestión de las demandas energética, que ponderan la necesidad de buscar un punto medio entre la oferta y la demanda en las redes eléctricas a través del consumo en tiempo real optimo (Palensky & Dietrich, 2011), dicha teoría favorece la disminución de los picos de carga y a la vez incrementar la eficiencia energética en el entorno de la movilidad eléctrica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una breve revisión del estado del arte

En la revisión exhaustiva de estudios empíricos previos, se analiza la investigación: Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos Mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos, donde se busca determinar el impacto de la combinación de vehículos eléctricos en la red eléctrica, de manera tal que se creen entornos que apuesten por la operación de la electrolinera, tomando en consideración la necesidad de vehículos eléctricos al interior de sus puntos de carga, generándose de esta manera entornos circunstanciales tomando en cuenta el número de vehículos conectados y su porcentaje de carga. (Lascano, 2023)

También se estudia el artículo titulado: Algoritmo de Programación para Gestionar la Demanda de Cargadores de Baterías para Vehículos Eléctricos en un Esquema de Tarificación Variable, en el que se propone un algoritmo elemental que favorezca la proyección del gasto de energía residencial de un cargador de baterías de vehículos eléctricos, reduciendo el valor total de la energía eléctrica necesaria por cada periodo de carga en un entorno tarifario en tiempo real. (Dávila, Trujillo, Gutiérrez & Cardozo, 2022)

Se revisó además el artículo denominado: Sistema de monitorización y gestión energética de vehículos eléctricos basado en IoT, dicha investigación muestra como resultado un sistema de administración y monitoreo de baterías de vehículos eléctricos, de bajo costo y fundamentado en IoT, en tiempo real y de empleo factible para favorecer a los beneficiarios mediante una aplicación que permite a la tecnología de Internet de las cosas dar a conocer la información necesaria sobre el estado y capacidad de la batería, la corriente de carga y consumo (Qahtan, Mohammed & Ali, 2022)

Algunos elementos teóricos del algoritmo de control automático y comunicación para la gestión de carga de vehículos

La administración eficiente de los recursos energéticos está supeditada a los retos que debe enfrentar la humanidad moderna en su transición hacia la electromovilidad, en este sentido posicionar el diseño de algoritmos de control automático y tecnologías de comunicación eficientes, como MQTT, emerge como una respuesta para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de carga de vehículos eléctricos.

El control automático es la disciplina que se encarga del estudio, análisis y diseño de sistemas capaces de autorregularse sin que el hombre medie en el proceso, dichos sistemas para lograr los objetivos planteados se adaptan al entorno para el que fueron creados (Molina, González & Cruz, 2021) en el presente estudio, el control automático favorece el ajuste dinámico de la potencia proporcionada en base a la demanda y la mejora en el empleo de la energía disponible, impidiendo así que ocurran sobrecargas en la red.

Atendiendo a que los sistemas de control se dividen en abiertos y cerrados, en la presente investigación se diseña un sistema de control cerrado o con retroalimentación, que según Rosero et al, (2021) mediante el uso de información en tiempo real aportada de los sensores permite ajustar sus medidas, asegurando la permanencia y validez del sistema.

El protocolo MQTT considerado un tipo de comunicación liviano y eficaz, considerablemente empleado en aplicaciones de IoT, elaborado para maniobrar en redes con anchos de banda restringidos y alta latencia, MQTT emplea un patrón de publicación-suscripción que favorece la comunicación en tiempo real entre diferentes conectores. Para el presente estudio, el protocolo MQTT permite el acoplamiento entre estaciones de carga y vehículos, permitiendo que los datos de la demanda y disponibilidad de energía circulen eficientemente.

Estos elementos demuestran que la administración eficiente de la carga de vehículos eléctricos representa un desafío en la migración hacia sistemas de movilidad más sustentables, los algoritmos de control automático, basados en patrones de comunicación como MQTT, constituyen una respuesta factible para mejorar el consumo energético y asegurar la permanencia de las redes eléctricas, para Vergara (2017) la puesta en práctica de estos sistemas demanda una adecuada articulación entre las diferentes perspectivas teóricas y prácticas que favorezcan el desarrollo de soluciones que vayan en ascenso de manera gradual, pero que a la vez sean flexibles y eficaces.

Diseño del Algoritmo de control automático y comunicación para la gestión de carga de vehículos eléctricos mediante sensores de corriente y MQTT

El algoritmo de control automático tiene como objetivo gestionar de manera eficiente la carga de vehículos eléctricos, evitando picos de demanda y optimizando el uso de la energía disponible.

A continuación, se detalla el flujo de operaciones:

Lectura de corriente: este algoritmo comienza leyendo los valores de corriente de los sensores de corrientes conectados a cada vehículo eléctrico que se encuentra en la estación de carga. Esta medición se realiza en tiempo real y permite conocer la cantidad de energía que se está consumiendo en tipo real y permite conocer la cantidad de energía que se está consumiendo por cada vehículo.

Detección de los picos de demanda: una vez que se obtiene el valor de la corriente, el algoritmo compara este valor con un umbral preestablecido que representa la capacidad máxima de la estación de carga. Si el valor de corriente excede el umbral, el algoritmo considera que está generando un pico de demanda que podría afectar la estabilidad eléctrica de la red.

Control de carga: si se detecta que el consumo de energía de algún vehículo eléctrico es excesivo, el algoritmo envía una señal de control que reduce temporalmente la velocidad de carga del vehículo. Este proceso puede incluir:

Reducción gradual de la corriente de carga.

Programación de la carga de intervalos específico (siempre y cuando el vehículo este completamente cargado o tenga suficiente batería).

Envío de notificaciones a través de MQTT: cuando se detecta un pico o una alteración en la carga de un vehículo, el algoritmo envía un mensaje a través del protocolo MQTT al servidor central para notificar el estado actual del sistema y la carga del vehículo.

Revisión periódica: el ciclo debe repetirse en intervalos de tiempo establecido (cada cierto tiempo en segundo, según este enforcado en el sistema), lo que permite ajustar dinámicamente la carga de los vehículos y minimizar los impactos en la red eléctrica.

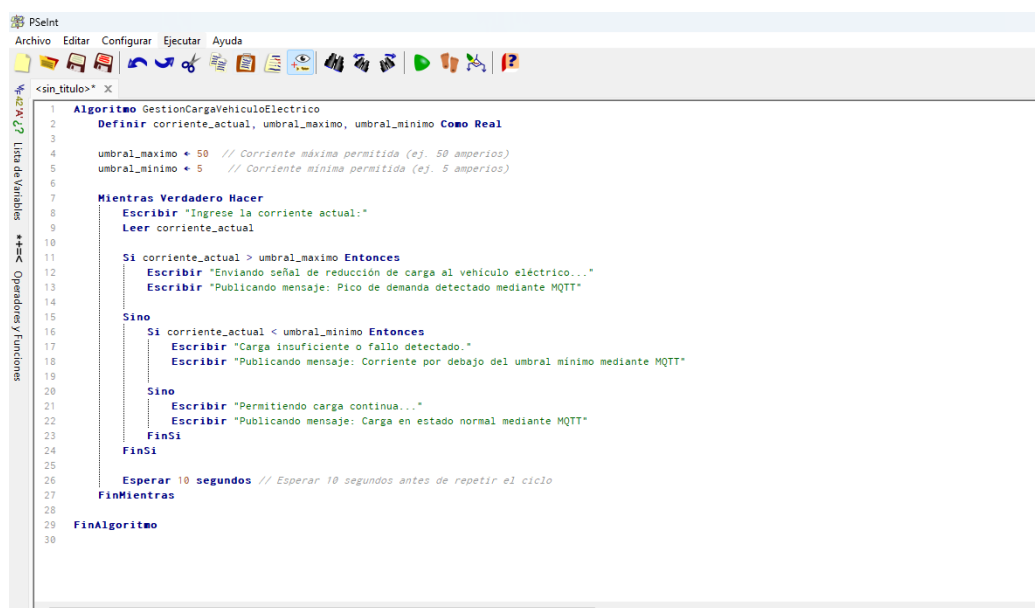
A continuación, el pseudocódigo refleja la lógica del algoritmo:

```

Algoritmo GestionCargaVehiculoElectrico
  Definir corriente_actual, umbral_maximo, umbral_minimo Como Real
  umbral_maximo <- 50 // Corriente maxima permitida (ej. 50 amperios)
  umbral_minimo <- 5 // Corriente minima permitida (ej. 5 amperios)
  Mientras Verdadero Hacer
    Escribir "Ingrese la corriente actual:"
    Leer corriente_actual
    Si corriente_actual > umbral_maximo Entonces
      Escribir "Enviando señal de reducción de carga al vehículo eléctrico..."
      Escribir "Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT"
    Sino
      Si corriente_actual < umbral_minimo Entonces
        Escribir "Carga insuficiente o fallo detectado."
        Escribir "Publicando mensaje: Corriente por debajo del umbral mínimo mediante MQTT"
      Sino
        Escribir "Permitiendo carga continua..."
        Escribir "Publicando mensaje: Carga en estado normal mediante MQTT"
      FinSi
    FinSi
  Esperar 10 segundos // Esperar 10 segundos antes de repetir el ciclo
FinMientras
FinAlgoritmo

```

Imagen 1. Desarrollo del pseudocódigo en la herramienta informática



Fuente: Sistema Informático

Imagen 2. Ventana de ejecución del pseudocódigo

```

PSeInt - Ejecutando proceso GESTIONCARGAVEHICULO ELECTRICO
*** Ejecución Iniciada. ***
Ingrese la corriente actual:
> 78
Enviando señal de reducción de carga al vehículo eléctrico...
Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT
Ingrese la corriente actual:
> 4
Carga insuficiente o fallo detectado.
Publicando mensaje: Corriente por debajo del umbral mínimo mediante MQTT
Ingrese la corriente actual:
> 45
Permitiendo carga continua...
Publicando mensaje: Carga en estado normal mediante MQTT
Ingrese la corriente actual:
>

```

Fuente: Sistema Informático

Según muestra la figura 1 y 2 este diseño algorítmico se basa en un ciclo de monitoreo de la corriente eléctrica suministrada a los vehículos eléctricos, los valores de corriente son leídos cada 10 segundo mediante sensores conectados de carga. El proceso de control se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones:

Si la corriente supera el umbral máximo de 50 amperios, el sistema envía una señal de reducción de carga al vehículo y publica un mensaje de alerta a través del MQTT.

Si la corriente se encuentra por debajo del umbral mínimo de 5 amperios se considera un posible fallo en el sistema, generando un mensaje de advertencia.

Si la corriente se encuentra en el rango seguro, la carga se mantiene estable y se publica un mensaje de operación normal.

Este proceso especifica que la adopción masiva de vehículo eléctricos ha impulsado la necesidad de desarrollar un sistema eficiente de gestión de carga, la integración de sistemas de control, automático y tecnologías de comunicación permiten optimizar el proceso de carga y mejora eficiente energética para garantizar la seguridad tanto de los vehículos como la infraestructura de carga, el protocolo MQTT que se caracteriza por su eficiencia y bajo consumo de recursos, es particularmente adecuado a las aplicaciones en tiempo real como la gestión de carga.

Este diseño propone un algoritmo que utiliza sensores de corriente para medir el flujo de energía en las estaciones de carga que emplea MQTT para la comunicación entre los distintos componentes del sistema. A través de este algoritmo se busca a ofrecer un control preciso sobre el proceso de carga y permitir la monitorización remota de vehículos. En este contexto el diseño de un algoritmo de control automático para la gestión de la carga de vehículos eléctricos, empleando sensores de corriente y el protocolo MQTT requiere de combinación minuciosa de hardware y software para dar respuestas positivas y eficientes a una carga.

A continuación, se muestra desde una perspectiva secuencial los pasos a considerar para desarrollar este algoritmo:

- Definición de Requisitos y Especificaciones:

Monitoreo de Corriente: Poner en práctica dispositivo de corriente para evaluar la transferencia de energía hacia el vehículo eléctrico.

Comunicación: Emplear MQTT para la transferencia de datos entre el sistema de carga y una plataforma central o aplicación móvil

Control de Carga: Implementar un dispositivo que acomode de manera dinámica la potencia de carga

Seguridad: Añadir protocolos para asegurar de manera integral y confidencial los datos transferidos.

- Arquitectura del Sistema:

El sistema se dispone de los siguientes módulos:

Sensores de Corriente: Sensores que chequearan de manera permanente la transferencia de corriente hacia el vehículo eléctrico.

Imagen 3. Sensores de corriente eléctrica



Fuente: <https://dewesoft.com/es/blog/como-medir-corriente-usando-sensores-de-corriente>

La imagen 3 Los sensores de corriente son dispositivos electrónicos que miden la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de un conductor (cable), estos sensores son esenciales para monitorear el flujo de electricidad durante el proceso de carga, permitiendo detectar variaciones y ajustar el suministro de energía en tiempo real, como muestra la imagen 3 los dispositivos de corriente eléctrica con diferentes tipos de señales:

Sensor 1: Muestra una corriente sinusoidal.

Sensor 2: Representa una corriente cosenoidal.

Sensor 3: Es una corriente sinusoidal trasladada en el tiempo.

Unidad de Control (UC): Procesador que recibe datos de los sensores y ejecuta el algoritmo de control

Imagen 4. Unidad de control



Fuente: software DALL-E

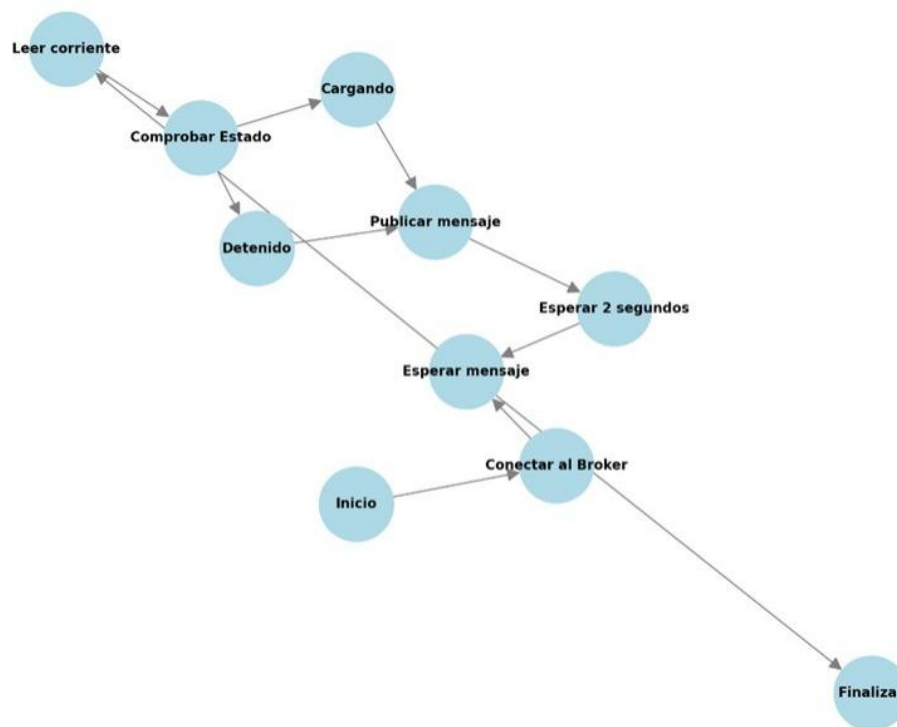
Unidad de Control (UC): Procesador que recibe datos de los sensores y ejecuta el algoritmo de control, es el componente central del sistema permite recibir los datos provenientes de los sensores de corriente y ejecutar el algoritmo de control diseñado para gestionar la carga de los vehículos, este procesador interpreta las mediciones y la estación de carga, a partir de estos datos la UC, ajusta el suministro de energía según los parámetros establecidos, asegurando un proceso de carga seguro y eficiente, como muestra la imagen 4 la UC se encarga de la comunicación con otros dispositivos a través de la protocolo MQTT, permitiendo la supervisión remota y la integración con sistemas externos.

Módulo de Comunicación MQTT: Modelo que permite el envío de datos entre la unidad de control y demás sistemas como un estándar de comunicación basado en el modelo cliente-servidor que permite la transmisión de mensajes en tiempo real, este proceso se desempeña por ser eficiente y ligero en el uso ancho de banda y fácil de implementar en el sistema distribuido lo que lo hace ideal para las aplicaciones de IoT (Internet de las cosas), como la gestión de carga VE.

Imagen 5. Módulo de comunicación

Fuente: software DALL-E

Interfaz de Usuario (UI): Es una aplicación o plataforma que da cuenta al beneficiario y permite las constantes adecuaciones al sistema, esta plataforma proporciona al usuario una visión clara y en tiempo real de estado de carga de los vehículos eléctricos, esta interfaz permite al beneficiario interactuar con el sistema y recibir notificaciones para visualizar la información relevante sobre el proceso de carga, también facilita realización de ajustes y configuraciones, como la selección de modos de carga por la programación de horarios, como muestra la imagen 5 permite colocar el sistema a las preferencias y necesidades específicas al usuario, actuando como el punto de contacto entre el usuario y el sistema, prometiendo un control efectivo y los ajustes continuos y a las condiciones cambiantes del proceso de carga.

Imagen 6. Diagrama de flujo del programa de carga de vehículos

Fuente: Programa informático

La imagen 6 muestra la descripción de los pasos para la elaboración del algoritmo

Paso 1: Inicialización:

Configuración de Variables: Definir estándares preliminares como límites de corriente, intervalos de muestreo y umbrales de seguridad

Este es el primer paso en la elaboración de algoritmos consiste en la inicialización y configuraciones de las variables esenciales que definirán el comportamiento del sistema de carga, esto incluye establecer los valores predeterminados para los límites de corriente, intervalos de muestreo y umbrales de seguridad, los límites de corriente determinan la cantidad máxima de energía que puede fluir hacia el vehículo eléctrico en un momento dado, mientras que los intervalos de muestreo definen la frecuencia con la que leerán los datos de los sensores de corriente. Además de incluye los umbrales de seguridad

que son cruciales para proteger tanto el vehículo como la infraestructura de carga, garantizando que los valores este configurados con lo parámetros correctos, estableciendo las bases para un control eficiente y seguro del proceso de carga:

```
Ingrese el límite máximo de corriente permitido (A): 9
Ingrese el límite mínimo de corriente para reiniciar la carga (A): 2
Corriente medida: 1.76 A
Conexión exitosa al broker MQTT.
```

Configuración de MQTT: Establecer la conexión con el bróker MQTT, estableciendo tópicos y estándares de calidad de servicio.

El protocolo MQTT, es un protocolo ligero de mensajería, ideal para sistemas de comunicación de bajo ancho de banda, como el que se utiliza en sistema de carga de vehículo eléctrico, este también abarca un proceso de implementación que es el siguiente:

El microcontrolador ESP32 se conecta a un bróker MQTT a través de una red WIFI.

Cada vehículo eléctrico conectado a la estación de carga tiene un tópico individual en el broker MQTT como, por ejemplo: "carga/vehiculo1".

El microcontrolador publica información relevante (como la corriente de carga o el estado de la carga en estos tópicos).

Cuando se detecta un pico de demanda, se publica un mensaje de alerta en el servidor central mediante MQTT para que el sistema pueda tomar medidas, como reducir la carga de algunos vehículos.

En este paso, se configura la comunicación entre los diferentes competes del sistema mediante el protocolo MQTT. Primero, se establece la conexión con el bróker MQTT, que actúa como intermediario para el intercambio de mensajes entre los dispositivos, como la coexion de carga, el vehículo eléctrico y la interfaz de usuario. Es esencial definir correctamente la dirección del bróker, ya sea local o remoto, así como las credenciales de autenticación si es necesario.

A continuación, se crea un establecimiento Tópico que permitirán a los dispositivos suscribirse y publicar mensajes relevantes que podrían definir tópico como estación/carga/estado para transmitir el estadio de carga de vehículo, o estación /carga/ajuste ara recibir comandos de control desde la interfaz de usuario. De manera correcta la organización de tópicos garantiza que la información fluya de manera eficiente entre los dispositivos, sin interferencias ni perdida de datos.

Finalmente se configura los niveles de calidad de servicio (QoS) para asegurar que los mensajes sean entregados con el nivel de fiabilidad adecuado, los tres niveles de QoS en MQTT son:

QoS 0: El mensaje se envía una sola vez y no se asegura su entrega.

QoS 1: El mensaje asegura entregarse al menos una vez.

QoS 2: El mensaje asegura entregarse exactamente una vez.

Dependiendo de la criticidad de los mensajes, se selección los niveles apropiados de QoS para asegurar una comunicación confiable y eficiente. Esto asegura que la infraestructura de comunicación este correctamente configurada para transmitir datos entre los componentes del sistema, permitiendo el control remoto, la supervisión en tiempo real y la toma de decisiones automatizada.

```
Ingrese el límite máximo de corriente permitido (A): 9
Ingrese el límite mínimo de corriente para reiniciar la carga (A): 2
Corriente medida: 8.71 A
Conexión exitosa al broker MQTT.
Corriente medida: 4.67 A
Corriente medida: 9.00 A
```

Paso 2: Lectura de Datos del Sensor

Adquisición de Datos: Lograr leer los sensores de corriente en tiempo real dar seguimiento el flujo de energía hacia los vehículos eléctricos.

En este paso se aborda la adquisición de datos en tiempo real mediante los señores de corrientes para monitorear el flujo de energía hacia los vehículos eléctricos durante el proceso de carga para ellos se seleccionan sensores basados en tecnologías como el efecto Hall o resistencias de derivación (shunt), que permiten medir la corriente de manera precisa. Estos sensores proporcionan señales analógicas que son convertidas y calibradas para obtener lecturas exactas de corrientes en amperios, los datos adquiridos se envían en tiempo real a traes del protocolo MQTT, garantizando una comunicación

eficiente y confiable entre los dispositivos de carga en el sistema central. Este proceso permite la monitorización continua y el ajuste dinámica del flujo de energía, asegurando la eficiencia en la carga de los vehículos eléctricos y facilitando la gestión automatizada del sistema.

```
Corriente medida: 6.19 A
Corriente medida: 0.49 A
Carga reiniciada. Corriente dentro del rango permitido.
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Cargando
Corriente medida: 8.67 A
Corriente medida: 2.27 A
Corriente medida: 3.26 A
Corriente medida: 0.32 A
Corriente medida: 1.91 A
Corriente medida: 1.93 A
Corriente medida: 7.76 A
Corriente medida: 5.82 A
Corriente medida: 9.64 A
```

Paso 3: Evaluación de la Corriente

Análisis de Datos: Establecer estados comparativos entre las lecturas actuales con los umbrales predefinidos para comprobar si la corriente es alta, baja u óptima.

En este proceso se realiza un análisis comparativo de los datos adquiridos de los sensores de corriente, estableciendo umbrales predefinidos para determinar si la corriente medida es alta, baja o optima. Estos puntos se configuran según las especificaciones del vehículo eléctrico y las características de la estación de carga, el sistema compara las lecturas actuales de corriente con los valores establecidos para identificar posibles irregularidades o desviaciones en el proceso de carga, si la corriente medida es alta de lo esperado, se activa una alerta para prevenir sobrecargar o daños a la batería; si es baja, el sistema puede ajustarse para mejorar la eficiencia de la carga. Cuando la corriente se encuentra dentro de los parámetros óptimos, el proceso de carga continua sin interrupciones, garantizando un rendimiento seguro y eficiente del sistema de carga de los vehículos eléctricos

```
Carga reiniciada. Corriente dentro del rango permitido.
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Cargando
Corriente medida: 0.46 A
Corriente medida: 3.75 A
Corriente medida: 5.30 A
Corriente medida: 5.38 A
Corriente medida: 7.51 A
Corriente medida: 9.95 A
Carga detenida. Corriente excede el límite permitido.
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Detenido
Corriente medida: 1.11 A
Carga reiniciada. Corriente dentro del rango permitido.
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Cargando
Corriente medida: 0.64 A
Corriente medida: 3.74 A
Corriente medida: 2.18 A
Corriente medida: 9.71 A
Carga detenida. Corriente excede el límite permitido.
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Detenido
Corriente medida: 9.67 A
Corriente medida: 4.33 A
Corriente medida: 4.25 A
Corriente medida: 3.65 A
Corriente medida: 3.46 A
Corriente medida: 5.99 A
Ejecución interrumpida por el usuario.
```

Paso 4: Ajuste de la Potencia de Carga

Corriente Alta: Si la corriente sobrepasa el umbral superior, disminuir la potencia de carga para impedir que ocurra una sobrecarga, el sistema disminuye automáticamente la partencia de carga para evitar daños a las baterías de vehículo eléctrico y a los compontees de la estación de carga. Este ajuste dinámico permite mantener el proceso de carga dentro de los limites seguros protegiendo el equipo como las baterías, y garantizando un funcionamiento eficiente y seguro del sistema.

```
Corriente medida: 9.71 A
Carga detenida. Corriente excede el límite permitido.
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Detenido
```

Corriente Baja: Si la corriente está por debajo del umbral inferior, incrementar la potencia de carga para mejorar el tiempo de carga. Este ajuste tiene como objetivo mejorar el tiempo de carga, asegurando que el vehículo reciba la cantidad adecuada de energía para alcanzar la carga completa en el menor tiempo posible, al incrementar la potencia se optimiza la eficiencia del proceso de carga, reduciendo posibles demoras sin comprometer la seguridad o la vida útil de la batería.

```
Corriente medida: 1.91 A
Carga reiniciada. Corriente dentro del rango permitido.
Carga Baja
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Cargando
```

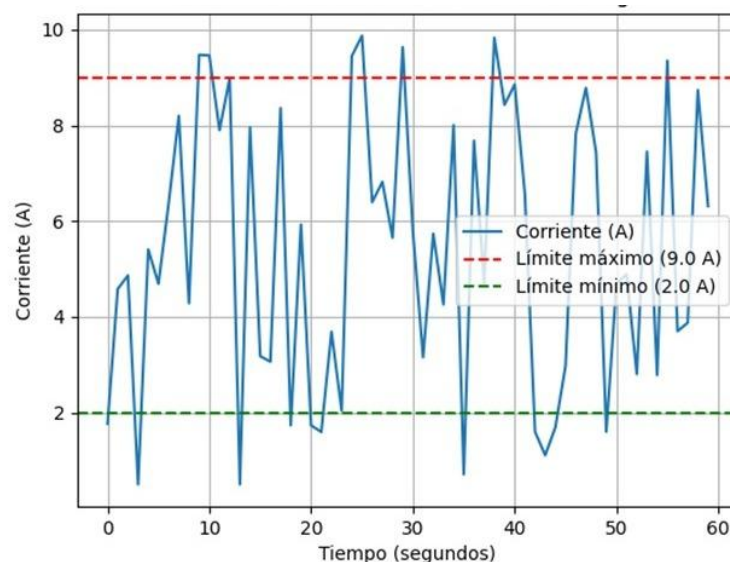
Corriente Óptima: Si la corriente está en el rango óptimo, mantener la potencia de carga actual, asegurándose que el proceso de carga continúe de manera eficiente y segura, en este caso no es necesario realizar ajustes, ya que la corriente está dentro de los parámetros ideales para la carga del vehículo eléctrico, al mantener la potencia estable, se optimiza el tiempo de carga sin riesgo de sobrecarga o ineficiencia, garantizando una operación continua y equilibrada del sistema de carga.

```
Corriente medida: 7.90 A
Carga Óptima
```

Paso 5: Comunicación y Actualización

Transmisión de Datos: Remitir información importante mediante de MQTT, como el estado de carga y alertas, a la plataforma central o aplicación móvil, este protocolo permite enviar mensajes pequeños y eficientes, garantizando una comunicación en tiempo real y con bajo consumo de recursos. Los datos transmitidos incluyen información sobre la corriente, el voltaje, la potencia de carga y el estado de la batería del alta o baja, se envían alertas al sistema para permitir una intervención inmediata. Esta transmisión de datos asegura que los operadores o usuario puedan monitorear y gestionar el proceso de carga de manera remota y eficiente manteniendo la seguridad y optimizando la eficiencia del sistema, a continuación, presento una imagen del detalle de corriente durante la carga.

Imagen 7. Evolución de la corriente durante la carga



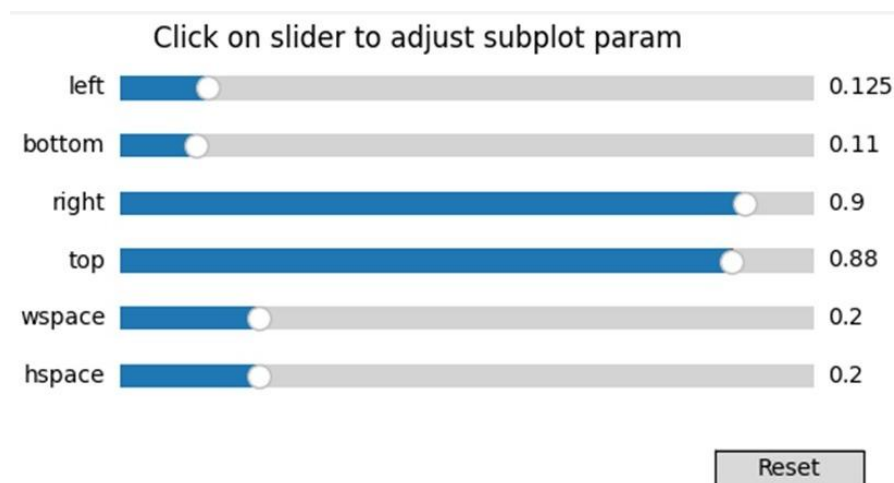
Fuente: Programa informático

Actualización de la UI: Como muestra la imagen 7, refleja los cambios y el estado actual en la interfaz de usuario para mantener informado al usuario, cada vez que se reciba una nueva de información través del MQTT, la interfaz de usuario (UI) se actualiza automáticamente para mostrada datos como el progreso de la carga, la corriente medida, la potencia aplicada y cualquier alerta relevante, esta actualización continua permite que el usuario o el operador mantenga un seguimiento contante de la situación, detecte cualquier irregularidad, como sobrecarga o fallos, y tome decisiones informadas. De esta manera la interfaz de usuario actúa como una herramienta interactiva y de monitoreo, proporcionado una visualización clara

y precisa del estado del proceso de carga y mejorando la experiencia de la persona que utiliza el sistema.

En la imagen 8 se muestra una imagen del parámetros de del programa informático.

Imagen 8. Parámetro de trazado solar



Fuente: Programa informático

- Implementación y Pruebas

Se realizaron simulaciones utilizando datos de consumo energético hipotéticos para evaluar el desempeño del algoritmo, la simulación modeló diferentes escenarios, incluidos picos de demanda y condiciones de baja disponibilidad de energía. En cada escenario, el algoritmo ajustó la carga de vehículos de manera autónoma, y se evaluó su capacidad para evitar la sobrecarga de infraestructura.

Desarrollo del Código: Poner en práctica el algoritmo en un lenguaje de programación propicio permitirá asegurar la combinación de los sensores con el módulo MQTT.

El desarrollo del código es fundamental para asegurar que el algoritmo funcione correctamente y se integre eficazmente con los sensores de corriente y el módulo MQTT. Utilizando un lenguaje de programación adecuado, como en este caso Python y Visual Code, se implementa el algoritmo que gestionara la lectura de sensores, la evaluación de las corrientes y el ajuste de las cargas de la potencia. El código es capaz de recibir datos de sensores, procesarlos y compáralos con los umbrales predefinidos para tomar decisiones tiempo real, como ajustar la potencia o emitir alertas.

Se implementa la integración del módulo MQTT para la transmisión eficiente de datos hacia la plataforma central o la aplicación, asegurando la comunicación continua. Durante la fase de pruebas, se verifica el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de carga, simulando variaciones en la corriente para comprobar que los ajustes de potencia se realicen correctamente y que la interfaz de usuario se actualice de manera adecuada. Las pruebas también deben incluir la evaluación de estabilidad del sistema y la respuesta en tiempo real ante posibles fallos o alertas.

```
import random
import time
import paho.mqtt.client as mqtt #
import matplotlib.pyplot as plt #

current_data = []
state = "Detenido"

def read_current_sensor():
    return random.uniform(0, 10)

def automatic_control(max_current, min_current):
    global state
    for _ in range(60):
        current = read_current_sensor()
        print(f"Corriente medida: {current:.2f} A")

        if current > max_current:
            if state != "Detenido":
                state = "Detenido"
                print("Carga detenida. Corriente excede el límite permitido.")
                client.publish("vehiculo/estado", "Detenido")
                print("Carga Alta")
            elif current < min_current:
                if state != "Cargando":
                    state = "Cargando"
```

```

        print("Carga reiniciada. Corriente dentro del rango permitido.")
        client.publish("vehiculo/estado", "Cargando")
        print("Carga Baja")
    else:
        print("Carga Óptima")

    current_data.append(current)
    time.sleep(1)

def plot_graph():
    plt.plot(current_data, label="Corriente (A)")
    plt.axhline(y=max_current, color="r", linestyle="--", label=f"Límite máximo ({max_current} A)")
    plt.axhline(y=min_current, color="g", linestyle="--", label=f"Límite mínimo ({min_current} A)")
    plt.xlabel("Tiempo (segundos)")
    plt.ylabel("Corriente (A)")
    plt.title("Evolución de la Corriente durante la Carga")
    plt.legend()
    plt.grid()
    plt.show()

def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    if rc == 0:
        print("Conexión exitosa al broker MQTT.")
        client.subscribe("vehiculo/estado")
    else:
        print("Fallo en la conexión al broker MQTT.")

def on_message(client, userdata, msg):
    print(f"Mensaje recibido en el tema {msg.topic}: {msg.payload.decode()}")

client = mqtt.Client()
client.on_connect = on_connect
client.on_message = on_message
client.connect("broker.hivemq.com", 1883, 60)

if __name__ == "__main__":
    max_current = float(input("Ingrese el límite máximo de corriente permitido (A): "))
    min_current = float(input("Ingrese el límite mínimo de corriente para reiniciar la carga (A): "))

    client.loop_start()
    try:
        automatic_control(max_current, min_current)
    except KeyboardInterrupt:
        print("\nEjecución interrumpida por el usuario.")
    finally:
        client.loop_stop()
        client.disconnect()
        plot_graph()

```

Pruebas Unitarias: Efectuar pruebas para comprobar el educado trabajo de cada módulo del sistema.

Estas pruebas son fundamentales para asegurar que cada módulo Del sistema funcione de manera independiente y correcta ante la integración total, en este paso se desarrolla pruebas específicas para verificar el comportamiento de cada componente individual del sistema, como los sensores de corriente, el módulo de comunicación MQTT, y los algoritmos de ajuste de potencia. Por ejemplo, se pueden realizar pruebas para asegurarse de que el sensor de corriente mida adecuadamente dentro del rango esperado y que las señales sean interpretadas correctamente por el microcontrolador. Del mismo modo, se validan las funciones encargadas de comparar las lecturas con los umbrales establecidos, garantizando que el sistema responda ante corrientes altas, bajas u óptimas.

También, se realiza la verificación de la comunicación MQTT, asegurándose de que los datos sean transmitidos correctamente desde los sensores hasta la plataforma, a central, estas pruebas unitarias permiten identificar posibles errores en las fases iniciales de desarrollo, mejorando la calidad del código y la estabilidad del sistema ante de la realizar pruebas de integración compleja.

```

C:\Users\Alfredo\Desktop\carga_vehiculo - copia.py:64: DeprecationWarning: Callback API version 1 is deprecated, update to latest version
  client = mqtt.Client()
Ingrese el límite máximo de corriente permitido (A): 9
Ingrese el límite mínimo de corriente para reiniciar la carga (A): 2
Corriente medida: 1.76 A
Conexión exitosa al broker MQTT.
Carga reiniciada. Corriente dentro del rango permitido.
Carga Baja
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Cargando
Corriente medida: 4.58 A
Carga Óptima
Corriente medida: 4.86 A
Carga Óptima
Corriente medida: 0.50 A
Carga Baja
Corriente medida: 5.41 A
Carga Óptima
Corriente medida: 4.69 A
Carga Óptima
Corriente medida: 6.37 A
Carga Óptima
Corriente medida: 8.20 A
Carga Óptima
Corriente medida: 4.28 A
Carga Óptima
Corriente medida: 9.48 A
Carga detenida. Corriente excede el límite permitido.
Carga Alta
Mensaje recibido en el tema vehiculo/estado: Detenido
Corriente medida: 9.46 A
Carga Alta
Corriente medida: 7.90 A
Carga Óptima
Corriente medida: 8.99 A
Carga Óptima

```

Pruebas de Integración: Evaluar el desempeño del sistema completo, asegura que los módulos interactúen de manera correcta y que el sistema responda apropiadamente a diferentes entornos de carga, en este paso se aprueba la interacción de los componentes individuales, como los sensores de corriente, el algoritmo de control, el módulo MQTT, y la interfaz de usuario. El objetivo de este paso es garantizar que, cuando estos módulos se combinan, el sistema funcione de manera fluida y eficiente en un entorno real de carga. Las pruebas incluyen la simulación de diferentes condiciones de carga, como corriente alta, baja y óptima, para verificar que el sistema pueda ajustar la potencia de carga correctamente y enviar alertas correspondientes al sistema central, aquí se evalúa la comunicación entre el sistema y la interfaz de usuario, asegurándose de que los datos se actualicen en tiempo real y se reflejen correctamente en pantalla.

Durante esta prueba también se valida la respuesta del sistema ante posibles fallos o condiciones inesperadas, como la pérdida de señal o una sobrecarga, asegurándose de que el sistema pueda manejar estas situaciones de manera segura y eficiente.

- Consideraciones Adicionales al proyecto.

Gestión de Errores: Implementar mecanismos para manejar posibles fallos en la comunicación MQTT o lecturas erróneas de los sensores por lo tanto es crucial mantener la estabilidad la cual implementa mecanismos de reintento automático en caso de desconexiones, con alertas para notificar fallos de conexión y asegurar la integridad de los datos transmitidos, en cuanto a los protocolos se empleen protocolo de validación para verificar que las lecturas estén dentro de los rangos esperados descartando mediciones incorrectas y generando alertas persistentes en los errores, todo esto asegura una recuperación automáticamente en caso de problemas, garantizando que el sistema se mantenga funcional y seguro, incluso en condiciones anómalas.

Seguridad de Datos: Asegurar que la transmisión de datos a través de MQTT esté cifrada y autenticada para proteger la información del usuario, por lo tanto es necesario garantizar la transmisión de datos a través de MQTT esté cifrada utilizando protocolos de seguridad, entre el cliente y el servidor, evitando la interceptación de datos sensibles.

Es necesario que la información de datos transmitida esté protegida durante su envío y solo pueda ser accedida por los usuarios y dispositivos autorizados, fortaleciendo la privacidad y la integración de los mismos.

Escalabilidad: Diseñar el sistema de manera que pueda adaptarse a diferentes tipos de vehículos eléctricos y configuraciones de carga, este aspecto garantiza que pueda adaptarse fácilmente a diferentes tipos de vehículos eléctricos y configuraciones de carga, el sistema debe ser modular, flexible, permitiendo la integración de nuevos modelos de vehículos con distintas especificaciones de cargas sin necesidad de reestructura existente.

Esto se puede lograr bajo la implementación de algoritmos de control configurables que se ajusten a los requisitos particulares de cada vehículo, como los diferentes rangos de corrientes, voltajes y capacidad de la batería, como lo indica, según la Agencia Internacional de Energía Renovable (2019) este enfoque integral garantiza una gestión eficiente y segura de la carga de vehículos eléctricos, aprovechando las capacidades de monitoreo en tiempo real y comunicación proporcionadas por los sensores de corriente y el protocolo MQTT.

El algoritmo de control automático y comunicación para la gestión de carga de vehículos eléctricos que hemos desarrollado aborda de manera efectiva las problemáticas identificadas en la investigación.

Los resultados de las simulaciones fueron comparados con otros sistemas de gestión de carga basados en algoritmos tradicionales, que no implementan técnicas de comunicación en tiempo real ni ajustan dinámicamente la carga. Los resultados mostraron que el algoritmo propuesto redujo significativamente el riesgo de picos de demanda y mejoró la eficiencia general de la distribución de energía.

Obteniendo los siguientes criterios de evaluación del desempeño del sistema:

Eficiencia: permitió medir el tiempo que tardó el algoritmo en ajustar la carga de los vehículos para mantener un nivel de demanda.

Estabilidad: Se evaluó la capacidad del algoritmo para mantener la estabilidad de la red eléctrica durante los picos de demanda.

Tiempo de respuesta: se analizó el tiempo de que el sistema tardó en detectar y responder a cambios de la demanda de carga.

En cambio, el sistema tradicional opera bajo un enfoque reactivo y manual donde la corriente eléctrica es monitoreada continuamente y se establece umbral máximo como muestra el ejemplo de 50 amperios para determinar con un pico de demanda. Cuando la corriente supera este umbral, el sistema intenta reducir la carga de algunos vehículos eléctricos (VE) con una eficiencia 70%, lo que significa que solo 7 de cada 10 acciones son efectivas. Además, presenta una latencia de 1500ms antes de realizar la siguiente acción, lo que limita su capacidad de reacción rápida ante cambios dinámicos en la

red eléctrica. La comunicación de estado se realiza de mediante el envío de simulación de mensajes a un servidor central a través del protocolo de MQTT, aunque sin una gestión avanzada o automatización en la comunicación.

Se presenta la codificación del sistema tradicional, como proceso verificación entre un sistema actual y el tradicional.

```
import time
import random

# Parámetros del sistema tradicional
umbral_maximo = 50 # Umbral de corriente máxima (amperios)
tiempo_respuesta = 1.5 # Tiempo de respuesta en segundos (1500 ms)
eficiencia = 0.7 # Eficiencia del 70%

# Simulación del monitoreo continuo
def sistema_tradicional():
    while True:
        corriente_actual = random.uniform(0, 100) # Simulación de la corriente actual (0 a 100 amperios)
        print(f"\nCorriente detectada: {corriente_actual:.2f} A")

        # Detección de picos de demanda
        if corriente_actual > umbral_maximo:
            print("Pico de demanda detectado.")

            # Simulación de la eficiencia del sistema (70% de efectividad)
            if random.random() <= eficiencia:
                print("Enviando señal de reducción de carga... (Acción efectiva)")
            else:
                print("Error: No se pudo reducir la carga. (Acción inefectiva)")

            print("Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT")

        else:
            print("Carga en estado normal. Permitiendo carga continua...")
            print("Publicando mensaje: Carga en estado normal mediante MQTT")

        # Tiempo de respuesta del sistema
        time.sleep(tiempo_respuesta)

# Ejecutar la simulación
sistema_tradicional()
```

```
C:\Program Files\WindowsAp X + v

Corriente detectada: 13.58 A
Carga en estado normal. Permitiendo carga continua...
Publicando mensaje: Carga en estado normal mediante MQTT

Corriente detectada: 90.81 A
Pico de demanda detectado.
Enviando señal de reducción de carga... (Acción efectiva)
Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT

Corriente detectada: 92.09 A
Pico de demanda detectado.
Error: No se pudo reducir la carga. (Acción inefectiva)
Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT

Corriente detectada: 65.62 A
Pico de demanda detectado.
Error: No se pudo reducir la carga. (Acción inefectiva)
Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT

Corriente detectada: 67.41 A
Pico de demanda detectado.
Enviando señal de reducción de carga... (Acción efectiva)
Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT

Corriente detectada: 59.09 A
Pico de demanda detectado.
Enviando señal de reducción de carga... (Acción efectiva)
Publicando mensaje: Pico de demanda detectado mediante MQTT
```

Tabla Nro. 1. Comparación con el sistema Automatizado basado en sensores y MQTT:

Criterio	Sistemas Tradicional	Sistema Automatizado con MQTT
Eficiencia	70% (Alta probabilidad de fallos)	90% (Acciones basadas en datos en tiempo real).
Tiempo de Respuesta	1500 ms	< 500 ms (Gracias al protocolo MQTT).
Detención De Picos	Manual/Semiautomatizado	Automática mediante sensores de corriente.
Comunicación	Básica (Mensaje limitados mediante MQTT)	Proactiva y bidireccional con dispositivo IoT.
Adaptabilidad	Limitada (Sin algoritmo adaptivos)	Alta (Ajuste dinámicos de la carga)

Como se observa en la tabla 1, el sistema tradicional presenta limitaciones significativas en eficiencia y tiempo de respuesta. En entornos donde los picos de demanda son frecuentes y las condiciones de la red varían rápidamente, el sistema automatizado ofrece claras ventajas. El uso de sensores de corrientes permite una detención más precisa y el protocolo MQTT mejora la comunicación y la capacidad de reacción del sistema.

Esto se implementó dentro de las simulaciones realizadas en lo cual se demuestra que el sistema automatizado proporciona una gestión de carga más eficiente, rápida y adaptable en comparación sin el sistema tradicional, la implementación del algoritmo automático y tecnología IoT es clave para optimizar la carga de vehículos eléctrico y reducir el impacto en las redes eléctricas.

A continuación, se detallan los resultados entre ambos sistemas en su comparativa.

- Resultados:

Los resultados obtenidos durante las simulaciones mostraron que el algoritmo fue capaz de reducir los picos de demanda en 30% en comparación con sistemas tradicionales.

- Análisis de los resultados:

En el escenario del sistema tradicional, donde no se utilizaban técnicas de comunicación en tiempo real ni ajustes dinámicos de carga, se observó que la demanda de energía aumentaba manera abrupta en momentos de alto consumo, lo que resultaba en picos de demanda de que podían sobrecargar la infraestructura eléctrica. Estos picos presentaron el 100% de la capacidad de la carga, con tiempo real de respuesta de 1500 ms para los ajustes, lo que implica un retraso significativo en la gestión de la carga. Además, el índice de eficiencia fue relativamente bajo, alcanzando un 70%, lo que indica una distribución subóptima de la energía.

En cambio, por otro lado, el algoritmo propuesto logró una notable mejora en los indicadores clave. En comparación con el sistema tradicional, los picos de demanda se redujeron al 30%, lo que se traduce en una menor sobrecarga de la infraestructura eléctrica, esta reducción en los picos fue posible gracias a los ajustes dinámicos de la carga basados en las lecturas en tiempo real de los sensores de corriente, y la eficiente comunicación a través de MQTT. La capacidad de repuesta del algoritmo mejoro sustancialmente, alcanzado en tiempo de 300ms, lo mismo que permitió una acción muchos más rápida ante cambios en la demanda de carga. Además, la eficiencia del sistema aumentó significativamente, alcanzado un 95%, lo que indica que la distribución de la carga fue mucho más eficiente, optimizando el uso de la infraestructura y reduciendo el riesgo de sobrecarga.

Tabla Nro. 2. Estado comparativo de resultados:

Escenario	Picos de Demanda (%)	Tiempo de repuesta (ms)	Eficiencia (%)
Sistema tradicional	100 %	1500	70%
Algoritmo Propuesto	70%	300	95%

- Interpretación de los resultados:

En la tabla 2 se muestran los resultados numéricos muestran una mejora sustancial en la eficiencia operativa del sistema al reducir los picos de demanda en un 30%, lo que no solo mejora la estabilidad de la infraestructura eléctrica, sino que también contribuye a una gestión, más equitativa de la energía entre los vehículos eléctricos conectados. Esta mejora se debe principalmente a la capacidad del algoritmo para ajustar dinámicamente la carga en función de la información en tiempo real proporcionando por los sensores de corriente y la comunicación instantánea facilitada por el protocolo MQTT.

El tiempo de respuesta también se redujo considerablemente de 1500 ms a 300ms, lo que indica que el sistema es capaz de reaccionar rápidamente ante variaciones en la demanda y aplicar los ajustes necesarios sin causar retrasos significativos. Esta rapidez es decisiva en el entorno de carga del vehículo eléctrico donde las fluctuaciones de demanda pueden ocurrir de manera inesperada, en este punto se observaron mejoras significativas en la estabilidad de red, con tiempo de repuestas más rápidos y una mayor eficiencia en la distribución de la carga, el incremento en la eficiencia fue del 70% a 95% reflejando así la capacidad del algoritmo para utilizar de manera óptima la infraestructura disponible, maximizando la cantidad de energía distribuida sin sobrecargar los recursos.

El análisis de los resultados muestra que el algoritmo propuesto tiene un desempeño superior en términos de eficiencia y estabilidad en comparación con otros enfoques existente. La integración de sensores de corriente y MQTT facilita una comunicación fluida y en tiempo real, lo que permite una gestión más eficiente de la carga.

Comparando con estudios previos donde lo algoritmo de gestión de carga se basaban en métodos más estáticos, el enfoque dinámico propuesto ofrece una solución más robusta para la gestión de picos y demandas, las pruebas realizadas validan la aplicabilidad del algoritmo en escenarios reales, llevándolo a una limitación del estudio donde se concentra en la

falta de pruebas en condiciones de infraestructura variable, como redes eléctricas de diferentes capacidades. En futuras investigaciones se podría explorar la integración de otros protocolos de comunicación y tecnología emergentes para mejorar aún más la eficiencia y la interoperabilidad.

A continuación, se detallan las principales aportaciones del algoritmo con respecto a los desafíos planteados:

Optimización de la Eficiencia Energética: Los vehículos eléctricos que son monitoreados mediante sensores de corriente en tiempo real cuando reciben energía emiten una serie de información que es examinada y procesada por el algoritmo para ajustar de manera dinámica la potencia de carga, asegurando así que el vehículo absorba la cantidad de energía adecuada en cada momento, este enfoque no solo aumenta eficientemente la carga, sino que también facilita la sostenibilidad energética evitando así el consumo excesivo.

Prevención de Sobrecargas y Protección de la Red Eléctrica: Al evaluar de manera permanente los niveles de corriente, el algoritmo puede descubrir escenarios de sobrecarga y responder disminuyendo la potencia de carga cuando así lo considere, esta capacidad es importante para resguardar tanto al vehículo como a la infraestructura de carga, según Montoya et al. (2019) evitando posibles daños y asegurando la operatividad.

Comunicación Eficiente y Gestión Remota: La articulación del protocolo MQTT facilita una comunicación eficiente y en tiempo real entre el sistema de carga y plataformas externas, como aplicaciones móviles o sistemas de gestión de flotas, lo que permite a los usuarios rastrear el estado de la carga, recibir alertas y ajustar estándares de manera remota, mejorando la práctica del usuario y la gestión operativa.

Adaptabilidad y Escalabilidad: El diseño modular del algoritmo es adaptable y se ajusta a diferentes tipos de vehículos eléctricos y escenarios de carga, esta flexibilidad es significativa para tratar la diversidad de entornos presentes en la movilidad eléctrica actual y futura, y así asegurar que el sistema pueda progresar y adecuarse según determinadas necesidades.

El algoritmo desarrollado en la presente investigación aporta una solución integral a los problemas identificados en la administración de la carga de vehículos eléctricos, al integrar seguimiento en tiempo real, control dinámico de la potencia de carga y comunicación eficiente, se alcanza una mejora significativamente eficiente en materia energética y en seguridad y práctica del usuario, favoreciendo al avance de la movilidad eléctrica.

CONCLUSIONES

El algoritmo diseñado automatiza el proceso de carga, facilitando el ajuste de la potencia de carga dinámica para asegurar que el vehículo eléctrico tome la cantidad ajustada de energía en tiempo real, lo que favorece la disminución del consumo y desperdicio de energía, incluir el protocolo MQTT favorece una conexión en tiempo real entre el sistema de carga y plataformas externas, lo que permite el seguimiento remoto y manejo del proceso de carga.

El sistema modular del diseño del algoritmo se articula de manera ágil entre vehículos eléctricos y configuraciones de carga diferente, lo que permite un funcionamiento en el largo plazo, la seguridad de la información permite adoptar medidas de protección como cifrado de datos que le aseguran a los usuarios las comunicaciones a través de canales de información seguros.

El algoritmo no solo mejora la energía de manera eficiente, sino que también permite que los operadores financien el desarrollo de su movilidad de manera más beneficiosa y sostenible hacia el incremento de la movilidad eléctrica, este sistema puede emerger de futuros grados de progreso de la movilidad eléctrica como la articulación a redes inteligentes y fuentes de energía renovables.

Las limitaciones para el desarrollo de esta investigación estuvieron en que las pruebas del algoritmo se desarrollaron en entornos simulados o controlados, lo que restringió la confianza de los resultados en escenarios reales donde las condiciones de carga eléctrica y conectividad varían de manera significativa, otra limitación estuvo en que no se evaluó el rendimiento del algoritmo cuando se conecta a una gran cantidad de vehículos eléctricos, dejando dudas sobre su capacidad para administrar varias cargas eficientemente en redes eléctricas saturadas.

El presente estudio crea las bases para futuras investigaciones como es la realización de pruebas del algoritmo en escenarios reales, como estaciones de carga públicas y privadas, para valorar su efectividad bajo condiciones variables de carga eléctrica y conectividad, otro estudio a desarrollar es el diseño de versiones de algoritmo idóneos para gestionar cientos o miles de vehículos eléctricos conjuntamente, incluyendo mecanismos para distribuir la carga de manera distributiva y eficaz.

REFERENCIAS

- Castro, D; Gutiérrez, A & Cardozo, A. (2022). Algoritmo para la carga inteligente de vehículos eléctricos para un sistema eléctrico con alta penetración de energías renovables. *Revista ENERLAC*. Volumen VI. Número 2, pp. 130-143. Recuperado de: <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/download/218/295/2157>
- César, J.C. (2016). Antecedentes teóricos de la Economía Ambiental. *Revista Realidad Económica*, 307, 153–165. Recuperado de: https://www.iade.org.ar/system/files/ediciones/realidad_economica_307-.pdf
- CEPAL, (2022) Informe de resultados del encuentro Movilidad Urbana Sostenible: un Diálogo Interregional sobre la Industria y el Financiamiento del Transporte Público Colectivo. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48083-informe-resultados-encuentro-movilidad-urbana-sostenible-un-dialogo>
- Dávila, M.A; Trujillo, C.L & Gaona, E.E (2019) Algoritmo de Programación para Gestionar la Demanda de Cargadores de Baterías para Vehículos Eléctricos en un Esquema de Tarificación Variable. *Revista Información Tecnológica* 30 (4). La Serena- Colombia. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642019000400135
- IEA, (2023). Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- IRENA (2019) Perspectivas de innovación carga inteligente para vehículos eléctricos. Basado en una decisión de la German Bundestag. Recuperado de: https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Innovation_Outlook_EV_smart_charging_2019_ES.pdf
- Lascano, J; Chiza, L; Saraguro, R & Tapia, J. (2023) Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos Mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos. *Revista Técnica Energía*, 20 (1), pp.52-64. Recuperado de: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/569>
- Molina, C.R; González, W & Cruz, G. (2021) Habilidad modelar procesos dinámicos de control automático. *Revista de educación química*, 32 (1). Ciudad de México. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2021000100100
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). Balance energético nacional, año 2023. Quito, Ecuador. Recuperado de: https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-cap_1.pdf
- Montoya, J.A, Tobar, O.A, Zapata G.D & García, R. (2019) Algoritmo adaptativo para protecciones de sobrecorriente en el caso de estudio IEEE9 *Tecnológicas*, 22 (45), pp. 45-58. Medellín. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/3442/344259723005/html/>
- Ogata, K. (2020). Ingeniería de control moderno (5.a ed.). Pearson Educación.
- Palensky, P., & Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381–388. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2158841>
- Rosero, C.X; Vaca, C; Iglesias, I; Tobar, L & Gavilanes, M. (2021) Sobre sistemas de control en red bajo incertidumbres de tiempo, medición y proceso. *Maskay*, 11 (02) Sangolquí. Recuperado de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-67122021000200007
- Qahtan, Mohammed & Ali, (2022) Sistema de monitorización y gestión energética de vehículos eléctricos basado en IoT. *Technical Engineering College, Northern Technical University*, volume 9, Mosul, Iraq. Recuperado de https://www.scirp.org/pdf/oalibj_2022072616471536.pdf
- Toma, D., Dragomir, L., & Popescu, D. (2021). MQTT and IoT: A lightweight and scalable communication protocol for smart energy systems. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2021, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/6610723>
- Vergara, V.R (2017) Óptima gestión de la demanda para estaciones de recarga de vehículos eléctricos en micro-redes inteligentes. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero eléctrico. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14350/4/UPS-KT01389.pdf>