

Estación de carga para vehículo eléctrico sustentable Sustainable electric vehicle charging station

R. Santillán-Luna ^{a,*}, I. Cervantes-de Anda ^a, E. González-Paredes ^b, A. J. Alcántara-Méndez ^a,
J. Rangel-González ^a

^a Área Académica de Sistemas Computacionales, ESCOM, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
^b Área Académica Ingeniería y Sociedad, ESIME Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.

Resumen

En este artículo se describe el proceso de investigación que llevó al desarrollo de una estación de carga que permite el control para la gestión de fuentes de energía eléctrica de un motor sustentable, con el objetivo de reducir las emisiones de partículas contaminantes a la atmósfera, aminorando las consecuencias del efecto invernadero en grandes zonas conurbadas. El sistema permite la carga de un banco de baterías específico para un auto eléctrico, analizando comparativamente y seleccionando de manera inteligente la fuente de energía entre un panel solar, un generador eólico o la energía proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad. El prototipo permite el monitoreo del banco de baterías y de las fuentes de energía, y al mismo tiempo, ofrece un reporte histórico del estado general del sistema a través de una aplicación móvil. La estación de carga busca ofrecer una alternativa sostenible a automotores que usan energía eléctrica, acercando la electromovilidad a la población usuaria, promoviendo el desarrollo de una infraestructura necesaria para la creación de redes de carga eléctrica en todo el país.

Palabras Clave: Sustentabilidad, Vehículo eléctrico, Carga sustentable, Electromovilidad.

Abstract

This paper describes a control system prototype for the management of sustainable electrical energy sources with the aim of reducing the consequences of the greenhouse effect in large urban areas. The developed system allows the charging of a specific battery bank for an electric car, intelligently selecting the energy source between a solar panel, a wind generator or the energy provided by the CFE. In addition, the prototype includes a monitoring module for the battery bank and power sources, and a historical report on the general status of the system through a mobile application. The project seeks to offer a sustainable alternative to the use of cars that run on fossil fuels, bringing electromobility closer to the majority population and promoting the development of the necessary infrastructure for the creation of electrical charging networks throughout the country.

Keywords: Sustainability, Electric vehicle, Sustainable charging, Electromobility.

1. Introducción

En los últimos años, a nivel global, la problemática ambiental ha ido en aumento, razón por la cual se han realizado acuerdos entre países para frenar este crecimiento. Las principales fuentes generadoras de energía provienen de fuentes no renovables como el petróleo y México es uno de los principales países exportadores, participando incluso en la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo). Mediante este proyecto se busca obtener energía proveniente de fuentes renovables, tales como la energía solar y eólica, que se encuentren al alcance de cualquier persona, para ser un

factor que contrarreste el cambio climático, facilitando la carga de un banco de baterías específico para un auto eléctrico. Este proyecto impulsa los acuerdos de París firmado por nuestro gobierno, ya que, derivado de los compromisos internacionales relacionados con el cambio climático y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), fue publicado el Programa Sectorial de Energía, en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el 24 de diciembre de 2015, en el que se establece que la Secretaría de Energía (SENER) fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para 2018, del 30 % para 2021 y del 35 % para 2024 (Secretaría de Energía, 2020a).

*Autor para la correspondencia: rsantillan@ipn.mx

Correo electrónico: rsantillan@ipn.mx (Raúl Santillán-Luna), icervantesd@ipn.mx (Ismael Cervantes-de Anda), elgonzalez@ipn.mx (Elsa González-Paredes), ajalcantaram@ipn.mx (Alberto Jesús Alcántara-Méndez), jrangelgo@ipn.mx (Josué Rangel-González).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), en los últimos años el consumo energético ha ido en aumento. Para octubre de 2020, se produjeron 320,056.14 Gigawatts por hora (GWh) netos en donde el 78.24% fue generado por energías convencionales (fuentes no renovables) y el 21.80% fue producido por energías limpias (Secretaría de Energía, 2020b), ver Figura 1. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la principal proveedora del servicio de electricidad en México, con una cobertura del 98.8% en todo el territorio. De esta manera, se generaron 54.682 GWh en octubre de 2020 mediante el empleo de energías limpias. Esta energía proviene principalmente de plantas hidroeléctricas (42.40% del total generado), centrales eoloelectricas (28.44% del total generado) y fotovoltaicas (20.77% del total generado), ver Figura 2 (Secretaría de Energía, 2020b). Por estos motivos, se busca una forma de generar un consumo energético natural y sustentable para combatir la crisis ecológica que se vive a nivel mundial.

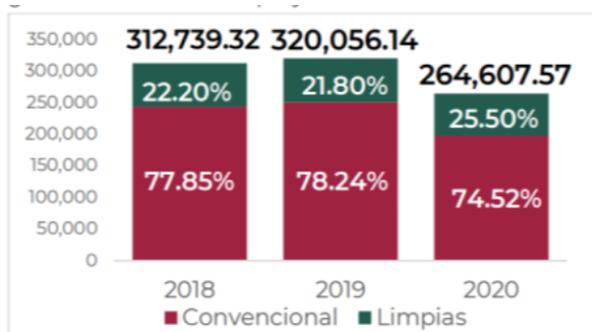


Figura 1. Generación neta de electricidad de los años 2018 a octubre de 2020. (Secretaría de Energía, 2020b)

De acuerdo con el AZEL (Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias), México cuenta con una gran cantidad de zonas de alta calidad para el aprovechamiento de energías limpias. Estas zonas se encuentran principalmente en el norte del país, lo que les otorga una excelente radiación solar para su aprovechamiento en la producción de electricidad. La Figura 3 muestra la ubicación de estas zonas con mayor potencial (Secretaría de Energía, 2018).

Energía, 2018). En la Figura 4 se ofrece una representación gráfica de estas áreas.

Para contribuir a la reducción de la crisis ambiental global, se ha trabajado en desarrollar un sistema de carga de un banco de baterías específico para un auto eléctrico, que permite seleccionar la fuente entre un panel solar, un generador eólico o, en última instancia, energía de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Además, permite el monitoreo del banco de baterías, las fuentes de energía, y proporciona un reporte histórico sobre el estado general del sistema mediante una aplicación multiplataforma.

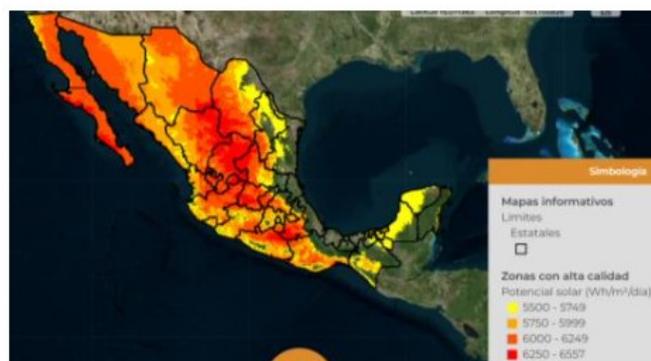


Figura 3. Zonas con alta calidad en la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la luz solar. Elaborado por (Secretaría de Energía, 2018).

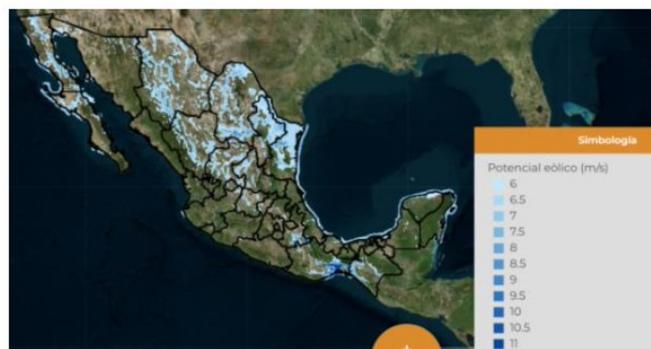


Figura 4. Zonas con alta calidad en la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de las corrientes de viento. Elaborado por (Secretaría de Energía, 2018).

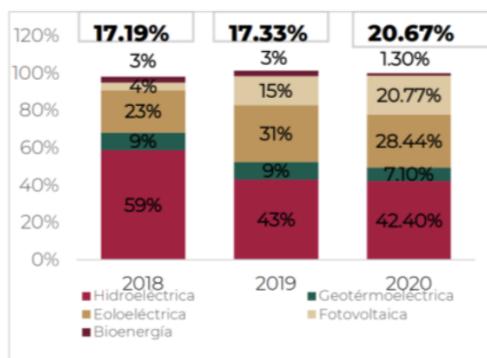


Figura 2. Porcentajes de energía limpia generada mediante diferentes plantas en los años 2018 a octubre de 2020. Elaborado por (Secretaría de Energía, 2020b).

México presenta zonas que permiten el aprovechamiento de energía eólica en el norte y en la península que se encuentra en el Golfo de México, además de una ubicación con un alto potencial situada en el sur del estado de Oaxaca (Secretaría de

2. Metodología

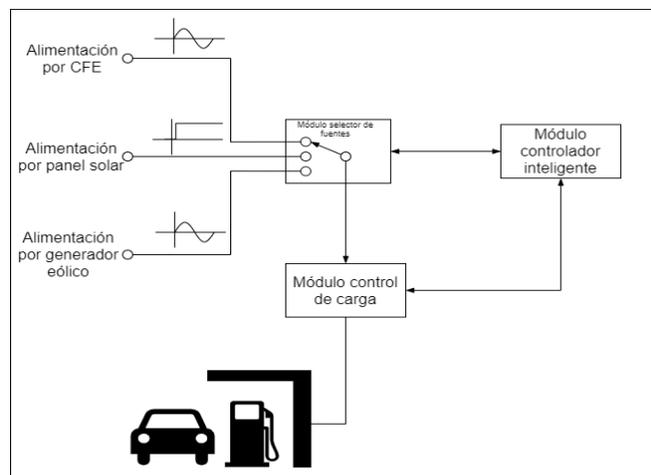


Figura 5. Arquitectura general del cargador. Elaboración propia.

2.1 Arquitectura general

En la Figura 5, se muestra la arquitectura general de este sistema, para la elaboración de este proyecto, se seleccionaron las diversas tecnologías, que permiten el desarrollo de una aplicación multiplataforma: un manejador de base de datos, para el almacenamiento de la información global y local (MongoDB, s.f.), que permita un desarrollo ágil, sin comprometer la integridad de la aplicación. El framework que fue seleccionado para permitir el desarrollo empleando tecnologías web (Electron, s.f.), junto con herramientas de desarrollo que permiten obtener código nativo para Android (Java) e iOS (Objective-C) (React Native, s.f.). Una placa de cómputo reducido, que fue seleccionada para la implementación de hardware, debido a que se trata de una computadora con un procesador, memoria RAM y periféricos de entrada/salida (Raspberry Pi Foundation, s.f.). Esto permite realizar procesos, cálculos y ejecutar algoritmos complejos, en un pequeño dispositivo. Además, esta tarjeta permite energizar los circuitos necesarios para que los sensores, así como el módulo que contenga el microcontrolador, puedan funcionar de manera óptima.

El microcontrolador fue seleccionado a partir de sus características, entre ellas, cuenta con un ADC de 10 bits, el cual permitiría realizar la conversión de señales con alta precisión, además de contar con los pines de entrada necesarios para monitorear los voltajes suministrados por las fuentes generadoras de energía eléctrica, así como el voltaje, amperaje y la temperatura proveniente del banco de baterías, y realizar la transmisión de estos datos empleando el protocolo RS-232 hacia la tarjeta (Texas Instruments, s.f.). La energía eléctrica puede ser entregada de 3 maneras diferentes, ya sea por un panel solar, un generador eólico o por el generador de CFE el cual deberá de estar conectado a un inversor de corriente alterna a corriente continua esto para que la batería pueda ser cargada, pues es necesario que la energía suministrada sea con corriente continua, adicionalmente que los circuitos de acondicionamiento están diseñados para realizar mediciones en DC.

La energía será mandada a un circuito de control el cual tendrá internamente relevadores, para poder cambiar con que fuente generadora de energía se cargará la batería; circuitos de acondicionamiento capaces de medir el voltaje y amperaje suministrado por las fuentes de energía incluyendo la temperatura del banco de baterías y qué fuente está cargando el banco. Estos valores serán enviados a un microcontrolador para que, mediante un ADC sean transmitidos hacia la Raspberry pi y, mediante parámetros previamente fijados (tipo de batería, voltaje y amperaje del banco) pueda optar por una fuente para cargar el banco de baterías, además de que estará constantemente enviando los datos de las medidas transmitidas por el microcontrolador hacia una base de datos donde, posteriormente, el usuario será capaz de visualizar remotamente a través de la interfaz diseñada.

Por último, es el circuito de control el que permitirá al banco de baterías pasar del estado de carga al estado de suministro de energía pasando por un inversor de corriente directa a corriente alterna.

2.2 Propiedades de las baterías

Las celdas que conforman al banco de baterías son del tipo “iones de litio”, que contienen compuestos electroquímicos, esto quiere decir que se requiere de placas elaboradas a partir de elementos que se encuentren en la tabla periódica de elementos, además de un componente electrolítico.

En este tipo de baterías a base de litio sus placas, necesariamente, deben contener, además de litio, grafito y como material electrolítico sal de litio en un solvente orgánico. Aunque, en un futuro se prevé sustituir al grafito por el grafeno para mejorar la capacidad de trabajo de estas baterías.

Se seleccionó este tipo de batería porque genera una alta cantidad de energía, por lo que su empleo puede darse de manera continua por un tiempo considerable de trabajo. Esta es la razón por la cual se le utiliza de manera común en smartphones, tablets, laptops y cámaras digitales. Este tipo de batería contiene en su fabricación un cátodo (terminal -) de óxido de cobalto y litio, además de un ánodo (terminal +) de grafito y carbono.

En cuanto a la operación de estas baterías, debe considerarse que en los procesos de carga y descarga no debe superarse el valor denominado C (tasa de carga y descarga de una batería), por ejemplo, si una celda 18650 (esta matrícula se refiere al tamaño de una celda comercial 18 mm diámetro y 65 mm de longitud, cuerpo cilíndrico) que trabaja a 2400 mAh (Ah significa Ampere Hora) sólo se podrá cargar y descargar a 2400 mAh. En el momento que se forcé una carga rápida o esta carga sea superior a 2400 mA, se provocará sobrecalentamiento y voltaje indebido colocando a la celda en una situación de estrés que irremediablemente desembocará en un daño permanente.

Para cargar adecuadamente la batería incluyendo la carga rápida, se utilizó el valor C de entre 0.7C y 1C, ya que el valor de 2000 mA para cargar la batería es equivalente a una magnitud de 0.8333C, el cual se encuentra dentro del rango establecido para C garantizando su correcto funcionamiento. Es importante señalar que para realizar esta operación se tuvo que hacer uso obligatorio de un circuito electrónico de protección.

En la siguiente tabla se hace un resumen de las características de operación de las baterías óxido de cobalto – litio (LiCoO₂).

Tabla 1. Características de operación de las baterías LiCoO₂. Elaboración propia.

Magnitud	Operación nominal	Rango de operación
Voltaje	3.7 V	3.0 V a 4.2 V
Energía o Potencia específicas	175 W/Kg	150 a 200 W/Kg
Carga (valor C)	1C	0.7C a 1C1
Descarga (valor C)	1C	0.8C a 1C2
Durabilidad ³	750	500 a 1000
Fuga térmica	150 °C4	
Aplicaciones	Smartphone, tablet, laptop, cámara digital.	

Notas:

1. El voltaje máximo para estas celdas debe ser 4.2 V. El tiempo es de 3Hrs para su carga completa. La corriente

mayor a 1C deteriora la batería acortando su tiempo de vida útil.

2. El voltaje mínimo para estas celdas debe ser 2.5 V. La corriente mayor a 1C deteriora la batería acortando su tiempo de vida útil.
3. Ciclos de carga – descarga.
4. La carga completa puede generar la fuga térmica.

2.3 *Proceso de diseño del sistema de carga*

El banco de baterías es un arreglo que se tuvo que realizar puesto que se empleó más de una celda ya que el voltaje que se pretendía almacenar fue de una magnitud mucho más grande que el que una sola celda es capaz de acumular. Para lograr alcanzar el nivel de voltaje y aplicarlo a donde se requiera es necesario el empleo de un banco de baterías, por lo tanto, en principio la cantidad de voltaje es uno de la serie de parámetros que se tienen que analizar para poder configurar al banco de baterías siempre considerando el trabajo que este tiene que desempeñar.

Los parámetros más importantes para considerar en el armado de un banco de baterías son:

- Voltaje del banco de baterías.
- Corriente que debe entregar tanto en su descarga máxima como en un periodo estable.
- Capacidad en Ah (Ampere – Hora), establece el valor de autonomía del banco de baterías.

Otra serie de parámetros complementarios que ayudan a tener un banco de baterías son por ejemplo en función del tamaño que se requiere del banco de baterías, así como su peso, además de la temperatura de operación, etc.

- Energía o Potencia específicas (W/Kg).
- Densidad energética (W/L).
- Temperatura de operación.
- Carga y descarga de las celdas del banco de baterías (se utiliza el parámetro C).

2.4 *Proceso de modulación del voltaje*

Para que las celdas de las baterías (es conveniente recordar que la celda es la unidad básica de una batería) se mantengan en buen estado de salud y su ciclo de vida útil sea amplio (inclusive más allá de lo que garantizan los fabricantes), se requiere del empleo de circuitos electrónicos los cuales reciben la denominación de circuitos de “Sistema de Control de Batería” (también conocidos como BMS por sus siglas en inglés “Battery Management System”).

El BMS por lo tanto, es un circuito que se encarga de controlar y equilibrar la carga de las celdas que conforman a

un banco de baterías, siendo muy importante que las celdas se carguen de manera homogénea, esto es, que todas las celdas al mismo tiempo vayan adquiriendo el idéntico valor de voltaje, para que las celdas se encuentren controladas y evitar que lleguen a calentarse y sobre todo eliminar el riesgo de una posible explosión, todo esto dependiendo de la química que constituye a las baterías, cuando es excedido el valor de voltaje que soporta una celda cuando se encuentra en el proceso de carga.

A continuación, se enumeran los objetivos que deben cumplirse en el uso de un BMS:

1. Balanceo de voltaje en el proceso de carga de las celdas.
2. Desconectar las celdas cuando se llega a la sobrecarga o cuando en la descarga disminuye el voltaje al límite inferior permitido.
3. Monitorear los niveles de voltaje y corriente en los ciclos de carga y descarga.

2.5 *Descripción y funcionamiento del sistema de recepción de voltaje*

Un banco de baterías que está controlado por medio de un BMS es suficiente para que realice su trabajo sin poner en riesgo el estado físico y operativo de las celdas. Pero es necesario considerar que un sistema de control completo no solo debe contemplar al BMS, ya que estos elementos en la mayoría de los casos no tienen todos los soportes electrónicos y de software para realizar las mediciones que se requieran y realizar el control del banco de baterías.

El sistema de control para un banco de baterías debe incluir la operación primaria de los BMS, además de la parte electrónica que se encarga de adquirir los valores de voltaje, corriente y temperatura de las celdas, para posteriormente esta información canalizarla a un módulo lógico para que por medio de la implementación de un programa sea procesada la información y se tenga la capacidad de generar las señales de control hacia la operación de carga y descarga de las celdas que conforman al banco de baterías, además de realizar los reportes que sean pertinentes a la persona interesada o encargada de estar al pendiente de la operación del banco de baterías.

En la Figura 6 se muestra la colocación de medidores de voltaje, corriente y temperatura, los bloques que representan a los medidores son los correspondientes circuitos de acondicionamiento de señal (CAS) que harán llegar el valor “caracterizado” correspondiente de la variable que está siendo medida a un microcontrolador, para que sea a través de las terminales que dan acceso a los ADC, para su digitalización en el mismo microcontrolador.

Observando que el microcontrolador, debe poseer una cantidad mínima de 10 canales de acceso al ADC, por otra parte, la tarea del microcontrolador consistirá en realizar el proceso de digitalización de las variables medidas, además de ordenar dicha información y almacenarla temporalmente, hasta que la raspberry pi 4 solicite dicha información, por lo que el envío de los datos del microcontrolador a la raspberry pi 4 se realizará por medio de comunicación serial SPI.

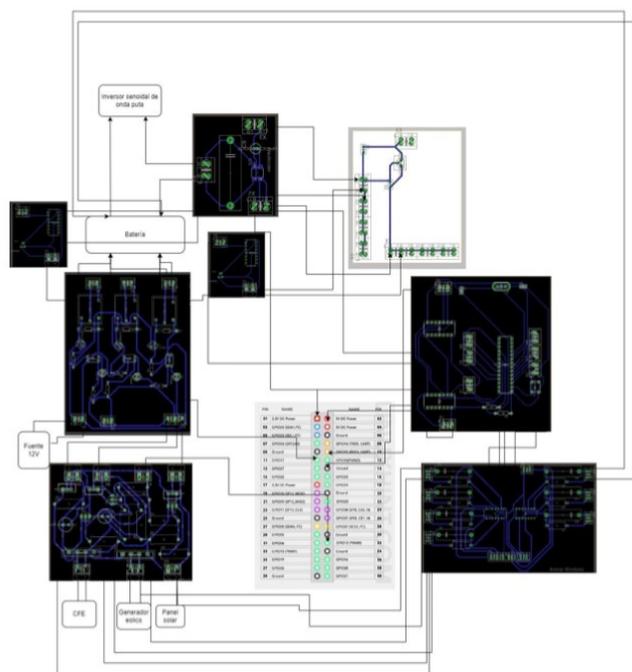


Figura 6. Diagrama de conexiones de los diferentes módulos. Elaboración propia.

dentro de la energía del panel solar, por lo que dará a seleccionar la fuente del aerogenerador para que se consuma dicha energía si tiene el voltaje necesario y así mismo con la energía suministrada por CFE.

Estos valores ponderados se consideraron para mantener una estabilidad en cuanto al cambio que se realiza al seleccionar cada fuente de energía, para alimentar un vehículo. Para este fenómeno consideramos el término de histéresis, que se refiere a la propiedad de un sistema que exhibe una respuesta retardada o desigual a un cambio en la entrada, dependiendo si la entrada está aumentando o disminuyendo.

2.7 Tipo de control se utilizó

Toda batería no importando la química que posee, debe responder al proceso de carga y descarga que el fabricante ha especificado en sus correspondientes hojas de datos. Para implementar el control de carga de la batería o banco de baterías, se emplea el control por medio de PWM, para ello se requiere además contar con un elemento de potencia que sea el que aplica el voltaje y corriente de carga a la batería, para esta actividad se contempló la utilización de un transistor MOSFET, el cual es controlado por medio del PWM para ajustar el voltaje que requiere la batería de acuerdo con la etapa de carga en que se encuentre.

El proceso de control tiene que ser de lazo cerrado, por lo que constantemente se tiene que leer y digitalizar el valor de voltaje, corriente y temperatura en que se encuentra la batería, para poder controlar el proceso de carga, el algoritmo correspondiente, así como la lógica de operación se encuentran en el cerebro del sistema, el cual es instalado en una Raspberry para que de esta manera se cuente con un elemento lógico que posea los requerimientos mínimos para operar no solo la carga de la batería, si no también todos los aspectos que tienen que ver con la administración de la energía tomada de fuentes sustentables.

3. Resultados

Tras un año de desarrollo, se logró implementar con éxito el sistema, el cual cumplió con el objetivo principal de poder energizar una batería específica para un auto eléctrico mediante un inversor senoidal de onda pura, permitiendo seleccionar de manera automática la fuente requerida dentro de las tres fuentes de alimentación propuestas, este elemento convierte el VCD a VCA. En la estación de carga al generar voltaje por medio del sistema fotovoltaico, esta se almacena en forma de VCD. Cabe destacar que los vehículos eléctricos para cargarse emplean VCA y, por el momento, la información para cargarlos a través de VCD aún no está disponible, además de que los cargadores para el banco de baterías de los autos eléctricos comercialmente emplean VCA. El inversor se utiliza para generar VCA, a partir del VCD que genera el sistema fotovoltaico. El tipo de cargador que se propone en el proyecto es conocido como "tipo 1", esto es, se tiene que generar VCA con un valor de 110 VCA (es voltaje RMS) y debe proporcionar por lo menos 9 Amp, por lo tanto, el inversor debe proporcionar una señal de VCA senoidal pura, para salvaguardar la operación del cargador del banco de baterías del auto, y alargar lo más que se pueda su tiempo de vida útil.

Para lograr esto, se programó un algoritmo de carga en la tarjeta y, aprovechando las entradas de PWM del dispositivo,

2.6 Algoritmos programados para carga de batería y fuente

Entradas:

- Medición del voltaje del panel solar
- Medición del voltaje del aerogenerador
- Medición del voltaje del suministro de CFE

Salidas:

- Señal de control para el circuito de control de entrada

Considerando un voltaje máximo de entrada de (120 V) y un voltaje mínimo de entrada (100 V) tenemos los siguientes pesos de prioridad:

Tabla 2. Valores ponderados de fuentes de energía. Elaboración propia.

Fuente	Voltaje (V)	Peso	Valor ponderado
Panel solar	120	0.83	99.6
	100		83
Aerogenerador	120	0.69	82.8
	100		69
Batería	120	0.57	68.4
	100		57
Suministro CFE	140	0.4	56
	100		40

De esta forma se asegura, si una fuente no tiene el voltaje mínimo necesario el algoritmo pase a considerar la siguiente fuente de energía en el orden de priorización, por ejemplo, si el voltaje de la energía del panel solar es de 99 V, el resultado de multiplicar $99 \times 0.83 = 82$, cantidad que no está considerada

junto con la placa diseñada, se proporcionó el voltaje necesario para la carga de la batería dependiendo de su estado en la curva de carga respectiva de la batería.

Se logró que en el algoritmo selector de fuente se diera prioridad a las fuentes de energías limpias, a pesar de que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) provee un voltaje óptimo para la carga. Adicionalmente se desarrolló un algoritmo de protección para evitar sobrecalentamiento de la batería, con la función de levantar los relevadores para interrumpir el suministro de energía hasta que la temperatura se normalice.

4. Reto

Pese a los enormes beneficios que presenta este tipo de baterías, encontramos que su vida útil es corta, además de que su estabilidad térmica es baja. Sin embargo, el equipo de trabajo ya se encuentra valorando otras posibilidades tecnológicas para afrontar el reto de tiempo de vida de la batería, para poder mejorar el tiempo de uso y su estabilidad.

5. Conclusiones

Los problemas con los que la humanidad se enfrenta actualmente incluyen el calentamiento global, el cual ha causado la extinción de especies animales, destrucción de ecosistemas, y la emisión de contaminantes a nivel mundial sin precedentes, como se muestra en la Figura 7.

En México la cantidad de contaminantes emitidos es preocupante. Esto ha provocado la acidificación de los océanos, aumento de temperaturas, y cambios climáticos en las estaciones del año. Estos cambios extremos han generado miedo a nuestra generación y el futuro de las generaciones venideras.



Figura 7. Registro histórico de la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Elaborado por (NASA, s.f.)

Adicionalmente, México tiene un gran potencial para el aprovechamiento de energías limpias como la energía solar y eólica, sin embargo, la inversión en tecnología ha sido insuficiente para aprovechar estas fuentes de energía. Esto ha provocado el uso de fuentes de energía contaminantes. Las naciones se han unido para implementar acciones ecológicas con el objetivo de mantener la temperatura de la Tierra.

Por consiguiente, la ingeniería puede aportar un grano de arena para buscar caminos en los cuales los conocimientos puedan sentar las bases para tecnologías o sistemas que beneficien a la población mexicana y avancen en esta carrera

contra el calentamiento global. Esto, aunque no suponga una solución final, puede propiciar la creación de la infraestructura necesaria que permitan aprovechar la mayor cantidad de energía empleando fuentes renovables, llegando así a una gran revolución tecnológica que permita a la humanidad generar energía eléctrica de forma limpia, al mismo tiempo que se protege nuestro hogar, la Tierra.

Dentro del entorno técnico, se logró desarrollar la arquitectura interna de cada bloque para que el sistema funcione como se muestra a continuación:

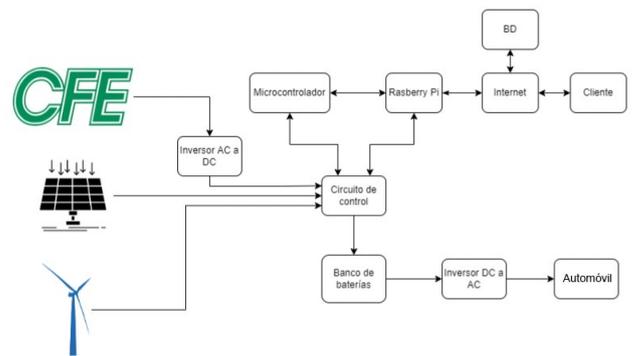


Figura 8. Diagrama de cada elemento funcional del sistema. Elaboración propia.

El primer prototipo se muestra en la Figura 9.

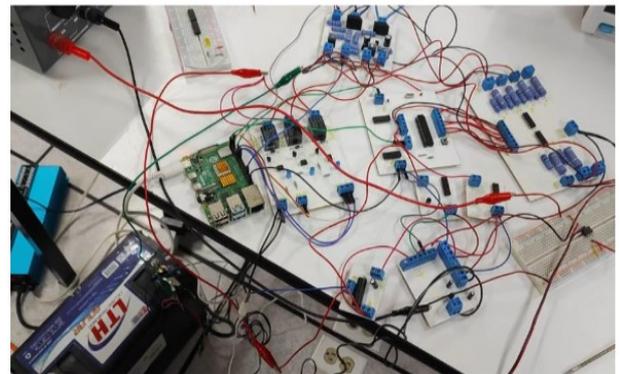


Figura 9. Configuración final del sistema, versión 1.

Por otro lado, se desarrolló la aplicación para computadora, la cual muestra los resultados del monitoreo de cada una de las baterías, tal como se muestra a continuación:



Figura 10. Pantalla principal del sistema. Elaboración propia

Agradecimientos

Los autores agradecen al IPN, a la Escuela Superior de Cómputo y Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán por el apoyo y facilidades recibidas para la realización del presente trabajo.

Referencias

- Electron. (s.f.). Electron. Obtenido de <https://www.electronjs.org/>
- INEGI. (2020). Ingresos y Gastos de los Hogares. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/ingresoshog/>
- MongoDB. (s.f.). What is MongoDB. Obtenido de <https://www.mongodb.com/what-is-mongodb>
- NASA. (s.f.). Cambio climático: ¿Cómo sabemos lo que sabemos? Obtenido de <https://climate.nasa.gov/evidencia/#:~:text=La%20temperatura%20promedio%20de%20la,atm%C3%B3sfera%20y%20otras%20actividades%20humanas>
- Raspberry Pi Foundation. (s.f.). Raspberry Pi 4. Obtenido de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- React Native. (s.f.). React Native Learn once, write anywhere. Obtenido de <https://reactnative.dev/>
- Secretaría de Energía. (2018). Secretaría de Energía. Atlas Nacional de Zonas con Potencial de Energías Limpias (AZEL). Obtenido de <https://dgel.energia.gob.mx/azel/mapa.html?lang=es>
- Secretaría de Energía. (2020a). “Programa Sectorial de Energía 2020-2024,”. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562631/PS_SENER_CACEC-DOF_08-07-2020.pdf
- Secretaría de Energía. (2020b). Secretaría de Energía. 10.2 GENERACIÓN NETA LIMPIAS EN MÉXICO (GWh) 2018,2019,2020. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610964/Cap10_-_Marco_Juridico_Reporte_Avance_de_Energias_Limpias_WEB.pdf
- Texas Instruments. (s.f.). LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. Obtenido de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.