

Prototipo de gestión de energías renovables para casa habitación Renewable energy management prototype for a home

Felipe de J. Figueroa-del-Prado ^{a,*}, Ismael Cervantes-de-Anda ^a, Alberto J. Alcántara-Méndez ^a
Raúl Santillán-Luna ^a

^a Área Académica de Sistemas Computacionales, Escuela Superior de Cómputo, Instituto Politécnico Nacional, 07320, Ciudad de México, México.

Resumen

La generación de energía eléctrica por medios convencionales sigue siendo predominante, con más del 70% de la producción total proveniente de métodos que implican la quema de combustibles fósiles y sus derivados. Además, según el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana y del Valle de México, la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica son de las principales fuentes de contaminantes en la región (Sener, 2020). Debido a la problemática planteada se propone que en el presente proyecto de investigación se tenga como objetivo desarrollar un prototipo de software y hardware que utilice energías limpias en una casa habitación. Este sistema integrará celdas fotovoltaicas y generador eólico para la carga de una batería o un banco de baterías, empleando como última opción el suministro de energía de la CFE. Adicionalmente, se incluirá una herramienta de software para el monitoreo del estado de la batería y el voltaje del sistema.

Palabras Clave: Control, Energía sustentable, Sistema inteligente.

Abstract

The generation of electrical energy by conventional means remains predominant, with more than 70% of total production coming from methods that involve the burning of fossil fuels and their derivatives. Furthermore, according to the emissions inventory of the Metropolitan Area and the Valley of Mexico, the generation, transmission, and distribution of electrical energy are among the main sources of pollutants in the region (Sener, 2020). Due to the aforementioned problem, this research project aims to develop a software and hardware prototype that utilizes clean energy in a household. This system will integrate photovoltaic cells and a wind generator to charge a battery or a battery bank, using the CFE power supply as a last resort. Additionally, a software tool will be included to monitor the battery status and system voltage.

Keywords: Control, Sustainable energy, Intelligent system.

1. Introducción

De acuerdo con el INEGI, el consumo energético en nuestro país ha ido en aumento en los últimos años. Para octubre de 2020, se produjeron 320,056.14 gigawatts hora (GWh) netos, de los cuales el 78.24% fue generado por energías convencionales (fuentes no renovables) y el 21.80% por energías limpias. En comparación, en octubre de 2021 se produjeron 264,607.57 GWh netos, con un 74.52% proveniente de fuentes no renovables y un 25.50% de energías limpias (Sener, 2020), observar Figura 1. La Comisión Federal de Electricidad es la principal proveedora de electricidad en México, cubriendo el 98.8% del territorio nacional.

Por los motivos antes expuestos, se ha decidido buscar una forma de promover un consumo energético natural y sustentable para combatir la crisis ecológica que se vive a nivel mundial.

Gráfico 1. Generación neta (GWh) y Porcentaje de generación eléctrica Limpia y Convencional 2018-2020¹

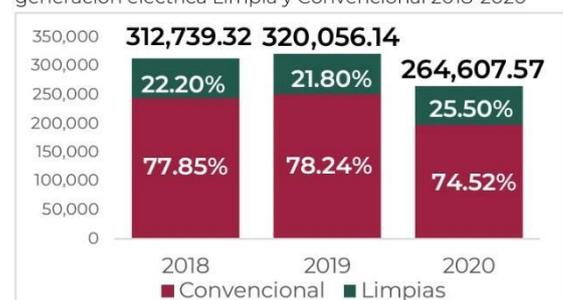


Figura 1: Generación neta de electricidad de los años 2018 a octubre de 2020. Elaborado por (Sener, 2020).

En México, durante el año de 2020 se generaron 54,682 GWh utilizando energías limpias. Una gran parte de esta energía provino de plantas hidroeléctricas (42.40% del total

* Autor para la correspondencia: ffigueroad@ipn.mx

Correo electrónico: ffigueroad@ipn.mx (Felipe de Jesús Figueroa-del-Prado), icervantesd@ipn.mx (Ismael Cervantes-de-Anda), ajalcantaram@ipn.mx (Alberto Jesús Alcántara-Méndez), rsantillan@ipn.mx (Raúl Santillán-Luna).

generado), centrales eoloelectricas (28.44% del total generado) y fotovoltaicas (20.77% del total generado), ver ilustración 2 (Sener, 2020).

Gráfico 2. Evolución de la Generación Neta Renovable 2018-20201 (Porcentaje)

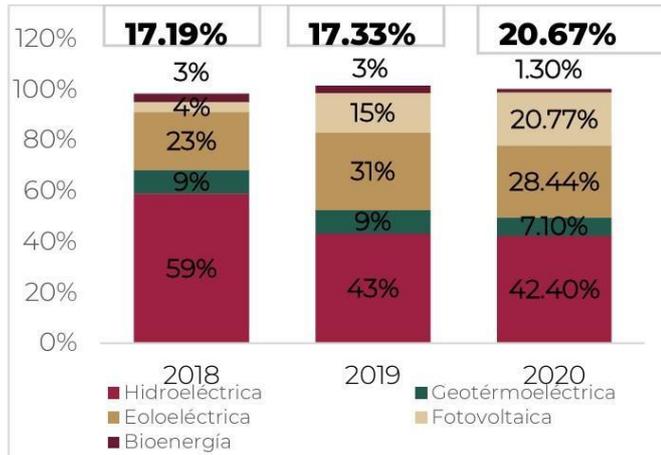


Figura 2: Porcentajes de energía limpia generada mediante diferentes plantas en los años 2018 a octubre de 2020. Elaborado por (Sener, 2020).



Figura 3: Zonas con alta calidad en la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la luz solar. Elaborado por (Sener, 2023).

Por otra parte, México cuenta con varias zonas que generan electricidad aprovechando el viento. Estas se encuentran principalmente en el norte del país y en las penínsulas que dan hacia el Golfo de México. Además, una zona con muy alto potencial se ubica en el sur del estado de Oaxaca (Sener, 2023), observar Figura 4.

El equipo de investigación que exhibe la presente propuesta, ya se encuentra desarrollando la fase de pruebas del prototipo aquí descrito, realizando las mediciones correspondientes del aprovechamiento de las energías sustentables como son, la energía solar y energía eólica, cabe mencionar que las pruebas se están realizando en la CDMX, mediante un sistema a escala. Se tiene la firme convicción de demostrar que el proyecto es viable para emplearse de forma masiva en los hogares, para desahogar la demanda que CFE tiene que cubrir.

El presente proyecto no busca reemplazar ni hacer competencia a CFE, por el contrario se tiene planteado que una vez demostrada la viabilidad del proyecto, se pueda integrar a

la infraestructura de CFE, ya sea de manera directa o por medio de un acuerdo de colaboración.



Figura 4: Zonas con alta calidad en la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de las corrientes de viento. Elaborado por (Sener, 2023).

2. Metodología

Para gestionar el proceso de desarrollo del proyecto, se decidió aplicar la metodología SCRUM, una metodología ágil especializada en la gestión y desarrollo de proyectos. SCRUM se enfoca en entregar resultados de alta calidad en períodos cortos, conocidos como "sprints". Esta metodología iterativa e incremental está diseñada para proporcionar flexibilidad y una rápida respuesta a los cambios y necesidades del proyecto, manteniendo al equipo enfocado en la entrega continua de valor.

1.- Roles en SCRUM: Scrum Master es quien facilita el proceso eliminando los impedimentos que puedan bloquear el progreso del equipo. Product Owner representa los intereses del cliente y otras partes interesadas. Equipo de Desarrollo conformado por un grupo multifuncional de profesionales que trabajan juntos para entregar el producto incrementado al final de cada sprint.

2.- Artefactos en SCRUM: Product Backlog es la lista priorizada de todas las funcionalidades deseadas en el producto. Sprint Backlog, es el conjunto de tareas seleccionadas del Product Backlog para trabajar en un sprint. Incremento se trata de la versión funcional del producto al final de cada sprint.

3.- Eventos en SCRUM: Sprint Planning reunión al inicio de cada sprint donde el equipo de desarrollo selecciona los elementos del Product Backlog. Daily Scrum reunión diaria de 15 minutos donde el equipo de desarrollo sincroniza actividades y planifica las próximas 24 horas. Sprint Review reunión al final de cada sprint donde el equipo presenta el incremento del producto a los interesados y recoge feedback. Sprint Retrospective reunión después del Sprint Review donde el equipo reflexiona sobre el sprint que pasó, identifica lo que funcionó bien y qué áreas necesitan mejora.

4.- Ciclo de un Sprint: Sprint Planning se define el objetivo y seleccionar los elementos del Product Backlog. Ejecución del Sprint se desarrollan las tareas definidas en el Sprint Backlog. Se realizan Daily Scrums para mantener la sincronización. Sprint Review se presenta el incremento del producto y recoger

feedback. Sprint Retrospective se reflexiona sobre el proceso y planificar mejoras.

5.- Principios de SCRUM: Transparencia; todos los aspectos del proceso deben ser visibles para los responsables del resultado. Inspección; regularmente se revisa el progreso hacia un objetivo y detectar variaciones no deseadas. Adaptación; se ajusta el proceso en cuanto sea posible para minimizar futuras desviaciones.

Partiendo de los requerimientos para el desarrollo del proyecto, se definieron las distintas fases de implementación, para ajustarse a los pasos que dicta la metodología SCRUM, la cual se muestra en la Figura 5.



Figura 5: Metodología SCRUM.

3. Arquitectura de sistema

El diagrama de la arquitectura de sistema se observa en la Figura 6, en la que se muestra lo siguiente: la energía eléctrica puede ser suministrada de tres maneras diferentes, a través de un panel solar, un generador eólico o el suministro de la CFE. Sí es seleccionado el suministro de CFE, debe estar conectado circuito rectificador de voltaje (inversor de AC a DC) para cargar la batería, ya que es necesario que la energía suministrada sea en voltaje de corriente directa (VDC). Además, los distintos circuitos de acondicionamiento están diseñados para realizar mediciones y operar en VDC.

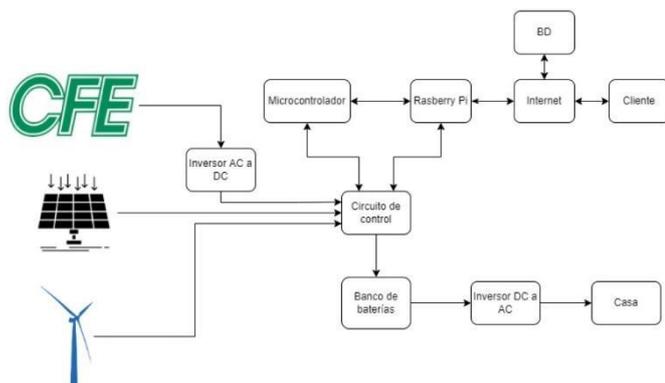


Figura 6: Arquitectura de sistema. Elaboración propia.

La energía (suministro de voltaje) se enviará a un circuito de control que internamente tendrá relevadores para cambiar la fuente generadora de energía que cargará la batería. Estos circuitos de acondicionamiento medirán el voltaje y amperaje suministrado por las fuentes de energía, la temperatura del banco de baterías y la fuente que está cargando el banco. Estos

valores serán enviados a un microcontrolador, que mediante un ADC (convertidor analógico a digital) transmitirá la información a una Raspberry Pi. Basándose en parámetros previamente fijados (tipo de batería, voltaje y amperaje del banco), la Raspberry Pi seleccionará la fuente de energía más adecuada para cargar el banco de baterías. Además, constantemente enviará los datos medidos por el microcontrolador a una base de datos, permitiendo al usuario visualizar esta información remotamente a través de una interfaz diseñada para tal fin.

Finalmente, el circuito de control permitirá al banco de baterías pasar del estado de carga al estado de suministro de energía, utilizando un inversor (convierte voltaje de corriente directa a voltaje de corriente alterna).

3.1. Análisis de requerimientos

Como primer paso, se asumió que los requerimientos para un sistema consisten en la descripción de los servicios proporcionados por el sistema y sus restricciones operativas. Estos requerimientos reflejan las necesidades de los clientes para resolver problemas específicos, como el control de un dispositivo, la realización de pedidos o la búsqueda de información. El proceso de descubrir, analizar, documentar y verificar estos servicios y restricciones se denomina ingeniería de requerimientos (Ian Sommerville, 2005).

Para el desarrollo del presente proyecto, el término "requerimiento" no se utilizó de manera consistente como en la industria del software. En esta investigación, cada requerimiento se concibió como una declaración abstracta de alto nivel de un servicio que el sistema debe proporcionar o una restricción que debe cumplir.

Para evitar algunos de los problemas que surgen durante el proceso de ingeniería de requerimientos, se realizó una separación entre los diferentes niveles de descripción. Aquí, se utilizan los términos "requerimientos de usuario" para designar los requerimientos de alto nivel del sistema:

- Los requerimientos del usuario son declaraciones, en lenguaje natural, de los servicios que se espera que el sistema proporcione, así como las restricciones bajo las cuales debe funcionar.

- Los requerimientos del sistema establecieron con detalle las funciones, servicios y restricciones operativas del sistema.

Por último, se recurrió a clasificar los requerimientos de sistema en funcionales y no funcionales, de acuerdo con lo siguiente:

- Requerimientos funcionales. - Son declaraciones de los servicios que debe proporcionar el sistema, de la manera en que éste debe reaccionar a entradas particulares y de cómo se debe comportar en situaciones particulares. En algunos casos, los requerimientos funcionales de los sistemas también pueden declarar explícitamente lo que el sistema no debe hacer.

- Requerimientos no funcionales. - Son restricciones de los servicios o funciones ofrecidos por el sistema. Incluyen restricciones de tiempo, sobre el proceso de desarrollo y estándares. Los requerimientos no funcionales a menudo se aplican al sistema en su totalidad. Normalmente apenas se

aplican a características o servicios individuales del sistema.

De acuerdo con la explicación anterior se obtuvieron los siguientes requerimientos:

Requerimientos Funcionales

- Estatus en tiempo real del banco de baterías.
- Registro histórico de uso total de energía de todo el sistema.
- Reporte diario de uso de energía
- Selección de tipo de batería a cargar.
- Creación de canales de comunicación por medio de MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).
- Priorizar el aprovechamiento de la energía generada por la luz solar y las corrientes de viento.
- Obtener los valores de voltaje, amperaje y temperatura.

Requerimientos No Funcionales

- Aplicación con autorización biométrica por huella dactilar (Mobile) y por token (Escritorio y Web).
- Aplicación multiplataforma (Web, Escritorio y Mobile).
- El sistema deberá estar en capacidad de permitir en el futuro el desarrollo de nuevas funcionalidades, modificar o eliminar funcionalidades después de su construcción y puesta en marcha inicial.
- El sistema no deberá permitir el cierre de una operación hasta que todos sus procesos, subprocesos y tareas relacionados, hayan sido terminados y cerrados satisfactoriamente.
- El sistema deberá estar en capacidad de permitir en el futuro su fácil mantenimiento con respecto a los posibles errores que se puedan presentar durante la operación del sistema

3.2. Diseño del sistema

En el diagrama de contexto que se muestra en la Figura 7, se observa el detalle de los datos que se intercomunican entre los distintos módulos con el sistema de control que se encuentra implementado en una Raspberry Pi. Los datos que se comparten son voltaje (V), corriente (I) y temperatura (T).

El sistema de control recaba toda la información, que será procesada para controlar la carga/descarga del banco de baterías, además de la conexión/desconexión de la energía eléctrica que será suministrada a la casa.

En el diagrama de flujo de datos que se muestra en la Figura 8, se observa con detalle el origen y destino de la información que se suministra a los módulos que conforman al sistema.

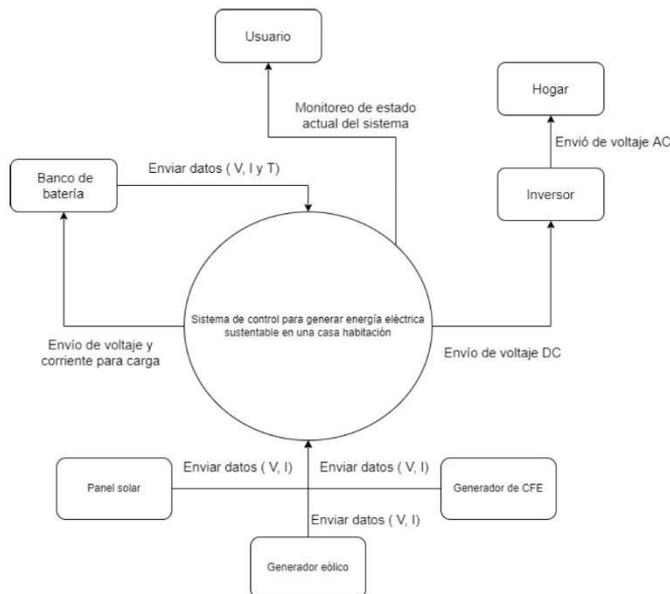


Figura 7. Diagrama de contexto. Elaboración propia.

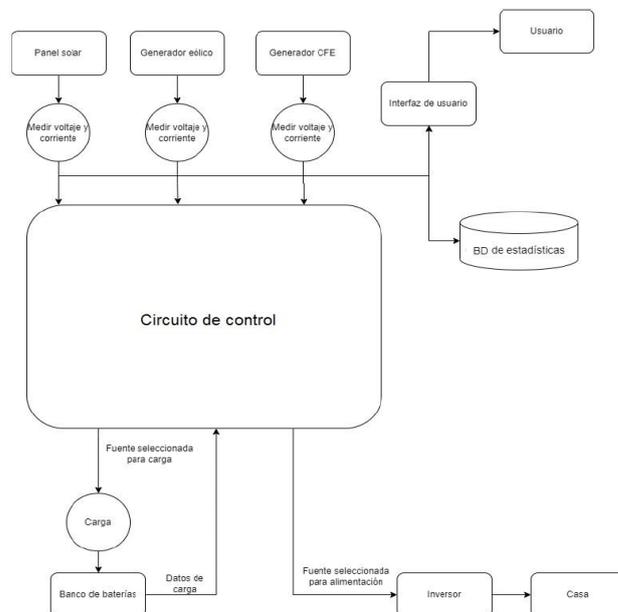


Figura 8: Diagrama de flujo de datos. Elaboración propia.

3.3. Módulo electrónico

La parte electrónica (con excepción de la Raspberry Pi), está diseñada para que realice la función de obtener los valores a medir de voltaje, corriente y temperatura de las fuentes generadoras de energía eléctrica (panel solar, generador eólico, y acometida CFE), para que sea procesado por el sistema de control que se encuentra implementado en la Raspberry Pi.

Otra de las funciones que realiza el módulo electrónico, es la de controlar los actuadores (relevadores) para las tareas de carga/descarga del banco de baterías, además de la conexión/desconexión del suministro de energía eléctrica a la casa.

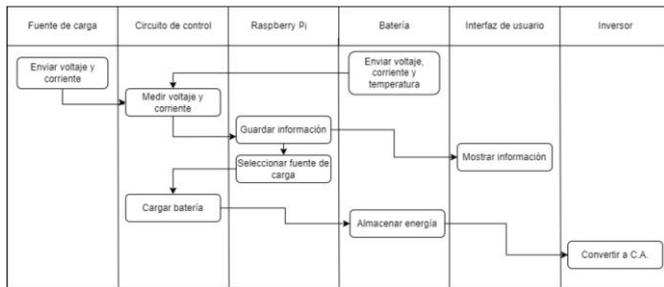


Figura 9: Diagrama de actividades. Elaboración propia.

En la Figura 10 se muestra el diagrama completo del módulo electrónico.

El módulo electrónico está “controlado” por un microcontrolador PIC, el cual se encarga de realizar la lectura de los valores de voltaje, corriente y temperatura. Para su posterior envío al módulo de control implementado en una Raspberry Pi.

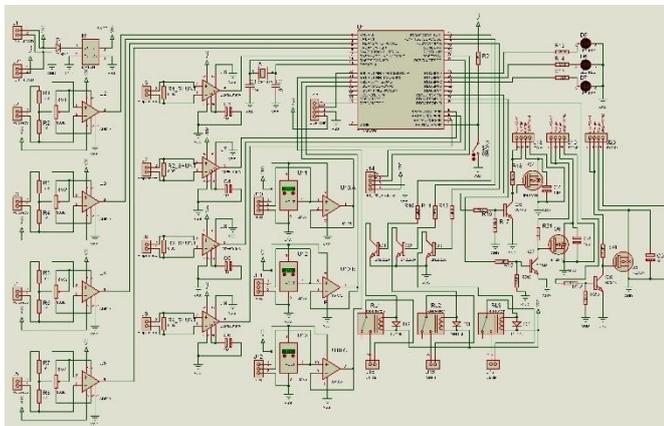


Figura 10: Diagrama esquemático del módulo electrónico. Elaboración propia.

Para una mejor referencia acerca de la medición del voltaje, en la Figura 11 se muestra el detalle de la implementación de los voltmetros.

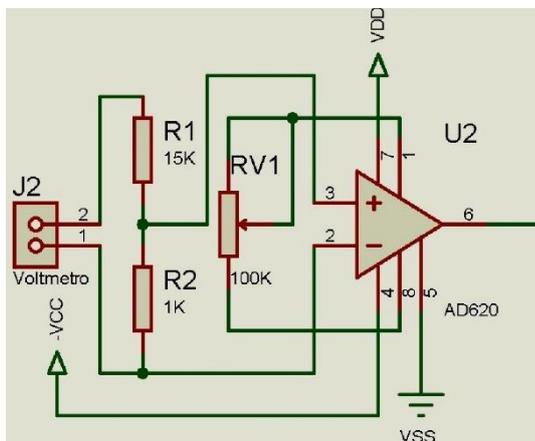


Figura 11: Diagrama esquemático de un voltmetro. Elaboración propia.

Los voltmetros tienen como dispositivo principal el amplificador de instrumentación cuya matrícula es AD620, el cual tiene la propiedad de “aislar” eléctricamente las mediciones de voltaje, por lo que el voltmetro no se convierte

en una carga o dicho de otra manera es totalmente inocuo a la parte del circuito donde se conectara.

El sensor de voltaje se diseñó a partir de un divisor de voltaje, que tiene la funcionalidad de medir valores desde 0V hasta 100V.

Para la implementación de los amperímetros, se utiliza el convertidor de corriente a voltaje, que se encuentra implementado en un circuito integrado cuya matrícula es LMP8601, obsérvese la Figura 12 para mayor referencia.

El amperímetro aquí implementado tiene la finalidad de convertir los distintos valores de corriente que se midan, a valores de voltaje, que posteriormente serán digitalizados y finalmente procesados en la Raspberry Pi.

El elemento sensor de cada amperímetro es un resistor tipo shunt, que entre sus propiedades es la de poseer un valor muy bajo de resistencia (para este caso 50 mΩ); por este comportamiento, el amperímetro no resultará ser una carga para el circuito donde se conecte para medir la corriente.

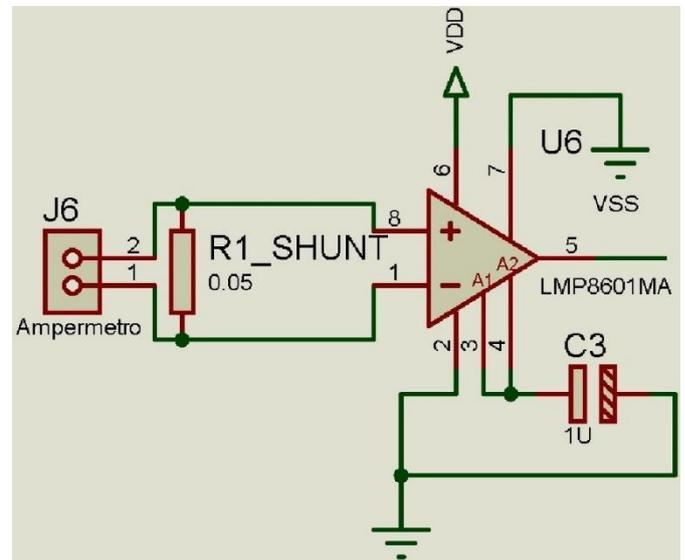


Figura 12: Diagrama esquemático de un amperímetro. Elaboración propia.

En la Figura 13 se muestra una vista 3D del módulo electrónico.



Figura 13: Vista 3D del módulo electrónico. Elaboración propia.

Los componentes restantes que también posee el módulo electrónico son relevadores y transistores de potencia de tecnología MOSFET. Estos componentes también son manipulados por el microcontrolador PIC, por medio de los correspondientes comandos que le hace llegar el módulo de control implementado en una Raspberry Pi.

4. Instalación del sistema

A continuación, se muestra en la Figura 14 la forma en que serán conectados todos los elementos que serán empleados en el presente proyecto.

Se busca en todo momento que el sistema sea lo más sustentable posible (emplear lo menos posible la acometida de CFE), dando prioridad a las fuentes renovables para generar energía eléctrica.

A través de la información procesada y controlada por el módulo de control implementado en una Raspberry Pi, se generará la interfase que ayudará a los usuarios a “observar” el desempeño de la operación del sistema, por medio de interfaces gráficas que mostrarán la manera en que se encuentra trabajando la gestión de las fuentes de energía.

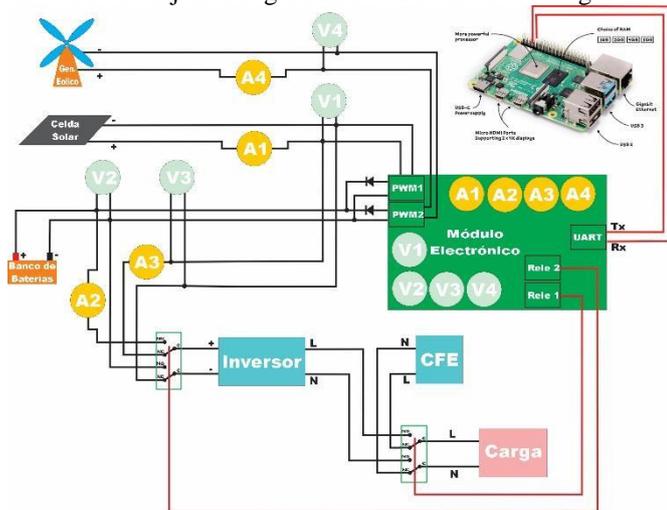


Figura 14: Conexión del sistema. Elaboración propia.

En las Figuras 15 y 16 se muestra un ejemplo de las interfaces gráficas, que le ayudarán al usuario del sistema a observar y comprobar el correcto funcionamiento del sistema.



Figura 15 Interfaz gráfica. Elaboración propia.

Cabe mencionar que para llegar al sistema que se plantea en la Figura 14, en primera instancia se realizaron pruebas sobre módulos por separado como se muestran en la Figura 17.

5. Resultados

Después de 6 meses de desarrollo, el proyecto se encuentra en fase de pruebas, recabando datos para su posterior análisis y ajuste para mejorar el comportamiento del sistema. La fase de pruebas comenzó una vez que se concluyó de manera exitosa la implementación; la primera serie de pruebas consiste en energizar 8 focos led y un refrigerador empleando un inversor senoidal de onda pura (durante 30 días). Se tiene el registro que, para la carga mencionada, únicamente se consumen 0.6 volts del banco de baterías después de 20 minutos, por lo que se calcula que dicho banco de baterías podría llegar a descargarse después de 12 horas de uso.

Por otra parte, se logró implementar un algoritmo de carga para que desde la Raspberry Pi (módulo de control) y aprovechando las salidas PWM del dispositivo junto con el módulo electrónico mostrado en la Figura 13 y con ello proporcionar el voltaje necesario para cargar el banco de baterías dependiendo de su fase de trabajo (corriente otorgado por el banco de baterías y medido con por medio del voltmetro mostrado en la Figura 11.



Figura 16. Interfase gráfica. Elaboración propia.

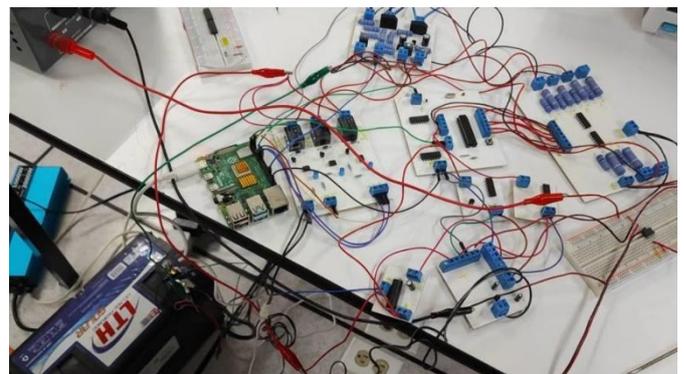


Figura 17: Primeros prototipos. Elaboración propia.

Se logró priorizar que el algoritmo selector de la fuente pueda priorizar las energías limpias a pesar de que CFE esté dando un voltaje óptimo para la carga.

Se implementó un algoritmo de protección en caso de que haya un sobrecalentamiento de la batería se desactiven los relevadores para dejar de suministrar energía hasta que la temperatura se normalice.

Al momento de realizar pruebas se quiso probar que otros dispositivos la batería podría cargar por lo que se conectaron computadoras con cargadores de 90 y 65 W y 2 celulares de carga rápida y permitió una carga al 100% y únicamente se redujo 0.5 volts en el banco de baterías.

6. Conclusiones

Es importante tener presente que uno de los problemas más críticos que enfrenta la humanidad actualmente es el calentamiento global. Este fenómeno ha llevado a la extinción de especies animales y la destrucción de ecosistemas enteros, además de la emisión diaria de gases contaminantes a nivel mundial sin suficiente preocupación. La cantidad de contaminantes emitidos en México es alarmante. Este ciclo interminable de contaminación ha causado la acidificación de los océanos, el aumento de temperaturas y cambios climáticos drásticos en las estaciones del año (NASA, 2021).

Otro aspecto importante para resaltar es que, al momento de escribir la presente conclusión, algunas naciones como Estados Unidos y Japón, así como el norte de México, han registrado nevadas, caída de aguanieve y frentes fríos que han provocado temperaturas por debajo de los 0 grados. Estas bajas temperaturas han dejado a numerosos estados sin electricidad y, por ende, sin calefacción ni acceso a servicios básicos, obligando a las personas a abrigarse adecuadamente. Incluso, algunas personas han quedado atrapadas en sus automóviles y han sido encontradas sin vida días después (C. Gonzalez, 2023), (RTVE, 2022), (SMN, 2024). Estos cambios climáticos extremos generan temor en nuestra generación y preocupaciones sobre el futuro de las nuevas generaciones, así como el destino de nuestro hogar, la Tierra.

Adicionalmente, México tiene un gran potencial para el aprovechamiento de energías limpias, como la solar y la eólica, debido a su posición geográfica. Sin embargo, la escasa inversión en tecnología nos ha dejado rezagados en cuanto al aprovechamiento de estas fuentes de energía, obligándonos a depender mayoritariamente de generadores contaminantes, como se observa en la Figura 1.

No obstante, no todo parece estar perdido. Las naciones se han unido y están haciendo todo lo posible por implementar acciones ecológicas con el objetivo de no aumentar la temperatura de la Tierra más allá de 1.5 grados para 2030, y México participa en el cumplimiento de este objetivo. Por estos antecedentes, es crucial que toda la población y en

especial los Profesores /Investigadores a través de las Instituciones de educación superior como el IPN aportemos nuestro granito de arena, buscando diferentes caminos en los cuales aplicar nuestros conocimientos para desarrollar tecnologías o sistemas que beneficien a la población mexicana y nos ayuden en esta carrera contrarreloj contra el calentamiento global. Tal como el presente proyecto tiene ese propósito implícito.

Aunque el proyecto no supone una solución definitiva para detener el cambio climático, los objetivos planteados son la base para continuar con el desarrollo de un sistema más robusto y eficiente, que permita aprovechar al máximo las energías generadas por fuentes renovables. Estas acciones podrán generar una gran revolución tecnológica, permitiendo a la humanidad generar energía eléctrica, un recurso esencial en la vida moderna, mientras se protege nuestro hogar, que es la Tierra.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Escuela Superior de Cómputo por el apoyo y facilidades recibidas para la realización del presente trabajo.

Referencias

- C. González, (2023). Alerta por tormenta de nieve en USA: cuándo será y estados afectados. <https://us.as.com/actualidad/alerta-por-tormenta-de-nieve-en-usa-cuando-sera-y-estados-afectados-n/>
- Ian Sommerville, (2005). Ingeniería de software. Pearson Addison-Wesley, novena edición
- NASA, (2021). Cambio climático: ¿Cómo sabemos lo que sabemos? <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/evidencia/>
- RTVE (2022). Las nevadas en Japón provocan 18 muertos y cientos de heridos. <https://www.rtve.es/noticias/20221227/nevadas-japon-muertos-heridos/2412902.shtml#:~:text=La%20nevada%20se%20intensific%C3%B3%20durante,fin%20de%20semana%20de%20navidad>
- Sener, (2023). Atlas nacional de zonas con alto potencial de Energías Limpias. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/903922/Atlas_Nacional_de_Zonas_con_Alto_Potencial_de_Energ_as_Limpias.pdf
- Sener, (2020). 10.2 GENERACIÓN NETA LIMPIAS EN MÉXICO (GWh) 2018,2019,2020. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610964/Cap10_-_Marco_Juri_dico_Reporte_Avance_de_Energi_as_Limpias_WEB.pdf
- SMN, (2024). Aviso de Sistemas Frontales y Evento de "Norte" en el Golfo de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/aviso-de-norte>