

Sistema de Priorización de Cargas para un Sistema Fotovoltaico

Gabriela Ponce Guerrero
Cristian Camilo Bravo Ruano

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería electrónica
San Juan de Pasto
2023

Sistema de Priorización de Cargas para un Sistema Fotovoltaico

Gabriela Ponce Guerrero
Cristian Camilo Bravo Ruano

Asesor
Francisco Javier Eraso Checa

Informe final de trabajo de grado en la modalidad de Estancia en Línea presentada al
Comité Curricular del Programa de Ingeniería Electrónica para optar por el título de
Ingeniero Electrónico

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería electrónica
San Juan de Pasto
2023

Nota de aceptación

Aprobado por el Comité de Investigación y
Proyección Social en Cumplimiento de los
Requisitos exigidos por la Universidad CESMAG
Para optar al título de Ingeniería Electrónica.

Francisco Eraso Checa

Asesor

Jurado

Jurado

Página de Nota de Exclusión de Responsabilidad Intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de sus autores y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”

Agradecimientos

Gabriela

Me gustaría expresar mi profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en el desarrollo de mi proyecto de grado. Su apoyo inquebrantable y su compromiso han sido cruciales para alcanzar esta meta.

En primer lugar, quiero dedicar un agradecimiento especial a mis queridos padres. Sin su apoyo inquebrantable, tanto moral como financiero, este proyecto no habría sido posible. Su amor, confianza y sacrificio han sido la base de mi educación y formación. Estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A mi compañero de tesis, Cristian, le agradezco sinceramente. Nuestra colaboración en este proyecto ha sido esencial. Hemos compartido desafíos, triunfos y momentos de aprendizaje. Tu amistad y apoyo han hecho que este camino sea más llevadero. También deseo expresar mi gratitud a mi asesor de tesis, Francisco. Su experiencia, orientación y dedicación han sido invaluable para la culminación exitosa de este proyecto. Sus consejos expertos y su paciencia han sido cruciales en mi desarrollo académico y profesional.

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado a mis queridos padres, quienes han sido mi apoyo constante, mi fuente de inspiración y mi razón para esforzarme cada día. Su amor incondicional y sacrificio han hecho posible este logro, y les agradezco de todo corazón por estar siempre a mi lado. Gracias por creer en mí y por ser mi mayor motivación. Este proyecto es un tributo a su amor y dedicación.

Contenido

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción | 10 |
| 1. Problema de Investigación | 12 |
| 1.1 Objeto de Investigación..... | 12 |
| 1.2 Línea de Investigación | 12 |
| 1.3 Sub línea de Investigación..... | 12 |
| 1.4 Planteamiento o Descripción del Problema | 12 |
| 1.5 Formulación del Problema | 13 |
| 1.6 Objetivos | 13 |
| 1.6.1 Objetivo General | 13 |
| 1.6.2 Objetivos específicos..... | 13 |
| 1.7 Justificación..... | 14 |
| 1.8 Delimitación | 14 |
| 2. Tópicos del Marco Teórico | 16 |
| 2.1 Antecedentes | 16 |
| 2.1.1 Algoritmo de programación de prioridad de carga doméstica en tiempo real basado en la predicción de la disponibilidad de fuentes renovables..... | 16 |
| 2.1.2 An Efficient Genetic Algorithm Based Demand Side Management Scheme for Smart Grid | 18 |
| 2.1.3 Algoritmo de Priorización de Cargas para un Sistema Residencial Automatizado Basado en una Microred Híbrida | 19 |
| 2.1.4 Predicción diaria de la generación de energía solar basada en la información del pronóstico del tiempo en Corea..... | 19 |
| 2.1.5 Weather Forecasting Using Hidden Markov Model | 20 |
| 2.2 Enunciados de los supuestos teóricos..... | 20 |
| 2.2.1 Generación distribuida | 20 |
| 2.2.2 Energía solar | 21 |

| | | |
|-------|----------------------------------------------------|----|
| 2.2.3 | Radiación Solar | 21 |
| 2.2.4 | Almacenamiento..... | 22 |
| 2.2.5 | Micro redes..... | 22 |
| 2.2.6 | DSM (Demand side management) | 23 |
| 2.2.7 | Priorización de carga | 23 |
| 2.2.8 | Consumo domiciliario | 24 |
| 2.3 | Definición de conceptos | 25 |
| 2.3.1 | Definición nominal de conceptos | 25 |
| 2.3.2 | Definición operativa de conceptos | 25 |
| 2.4 | Hipótesis..... | 25 |
| 2.4.1 | Problema de investigación..... | 25 |
| 2.4.2 | Hipótesis de Investigación (Hi)..... | 25 |
| 2.4.3 | Hipótesis Nula (Ho)..... | 25 |
| 2.4.4 | Hipótesis Alternativa (Ha)..... | 25 |
| 3. | Metodología | 26 |
| 3.1 | Enfoque | 26 |
| 3.2 | Paradigma..... | 26 |
| 3.3 | Método | 26 |
| 3.4 | Tipo de investigación | 26 |
| 3.5 | Diseño de investigación | 26 |
| 3.6 | Universo | 27 |
| 3.7 | Muestra..... | 27 |
| 3.8 | Técnicas de recolección de información | 27 |
| 3.8.1 | Validez de la técnica..... | 28 |
| 3.8.2 | Confiabilidad de la técnica | 28 |
| 3.8.3 | Instrumentos de recolección de la información..... | 28 |
| 4. | Resultados | 29 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | Reglas del sistema de la priorización de cargas | 29 |
| 4.1.1 | Funcionamiento del sistema de priorización de cargas | 29 |
| 4.1.2 | Priorización por usuario | 31 |
| 4.1.3 | Algoritmo de las reglas de priorización de cargas..... | 32 |
| 4.1.4 | Activación y desactivación de los circuitos..... | 33 |
| 4.1.5 | Estructura de las reglas de priorización de cargas..... | 34 |
| 4.2 | Desarrollo del software en Python | 39 |
| 4.2.1 | Sistema de visualización de variables | 39 |
| 4.2.2 | Desarrollo de base de datos | 41 |
| 4.2.3 | Modelo de Entidad-Relación de la base de datos..... | 42 |
| 4.2.4 | Conexión base de datos con Python..... | 50 |
| 4.2.5 | Interfaz de usuario | 50 |
| 4.2.6 | Interfaz gráfica del sistema de priorización de cargas..... | 51 |
| 5. | Análisis de resultados | 59 |
| 5.1 | Evaluación del sistema | 59 |
| 5.2 | Resultados de las pruebas..... | 66 |
| 6. | Conclusiones | 68 |

Introducción

El 74% de requerimiento de energía en Latinoamérica se desarrolla principalmente por el consumo de combustibles fósiles, (Philander, 2012). El alto consumo de recursos fósiles contaminantes y extinguidos ha hecho que se mire la necesidad de usar nuevas fuentes de energía, entre ellas las energías renovables en gran escala, las cuales permitan contribuir en un sistema sostenible, aprovechando los recursos de cada región (Barragán-Escandón et al., 2019).

Los proyectos en energía renovables son una prioridad en los países latinoamericanos, puesto que los problemas de estos países se deben a su alta dependencia de combustibles fósiles y el cambio climático (Cortés & Arango, 2017) Por tal razón hallar una solución para esta problemática ha conllevado a realizar inversiones en energías renovables, con el fin de utilizar los recursos naturales de las regiones para mejorar la calidad de vida de los habitantes al tener mejores condiciones de energía(Cortés & Arango, 2017) .

La evolución del panorama energético en Colombia ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas, marcados por la primacía de las centrales hidroeléctricas y los desafíos crecientes que enfrentan debido a la preservación de los recursos naturales y ecosistemas. A medida que la conciencia ambiental ha cobrado fuerza, se ha vuelto cada vez más difícil justificar la construcción de represas convencionales, cuyos impactos ambientales pueden ser significativos. Simultáneamente, la creciente escasez de combustibles fósiles, sumada a su impacto destructivo en el medio ambiente, ha planteado interrogantes acerca de la sostenibilidad de las fuentes de energía tradicionales. En este contexto, el Congreso de Colombia respondió con la promulgación de la Ley 1715 de 2014, un hito legislativo que establece políticas destinadas a impulsar la adopción de fuentes de energía no convencionales y la promoción de la gestión eficiente de la energía (Gutierrez & Garcia, 2021).

La energía desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo económico de cualquier nación, es el motor que impulsa la maquinaria de la producción, la innovación y la mejora de la calidad de vida de las personas. Sin embargo, es esencial comprender que el crecimiento económico sostenible no puede lograrse a expensas del medio ambiente y el desarrollo humano a largo plazo. Para lograrlo, es imperativo adoptar un enfoque de uso racional y eficiente de la energía. Esto implica maximizar la productividad energética en todas las etapas de la producción y distribución, minimizando las pérdidas y derroches.

La crisis energética a nivel mundial indica que el 87% de la energía consumible es propensa agotarse, esto genera inestabilidad acerca del abastecimiento y aumento en los precios (Pereira-Blanco, 2016). El desarrollo energético entonces debe analizar estos factores, por lo que las energías renovables son una idea importante para sostener el medio ambiente, desarrollo y crecimiento económico, la importancia de las energías renovables frente a las energías tradicionales, es que reducen el uso de estas, las sustituyen progresivamente y aportan a la calidad de vida y al medio ambiente (Moreno, 2013).

El aprovechamiento de las energías renovables de uso eléctrico, como la eólica, solar y biomasa, representa un avance significativo en la diversificación de fuentes de energía y la promoción de prácticas sostenibles en el sector eléctrico. Estas fuentes de energía se caracterizan por ser inagotables y no contaminantes, lo que las convierte en componentes clave para la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible (IDEAM, 2013), entre estas fuentes, las estaciones fotovoltaicas, que capturan la energía del sol y la convierten en electricidad, desempeñan un papel destacado. Uno de los atributos más relevantes de las instalaciones solares es su capacidad para almacenar energía, lo que ofrece la flexibilidad necesaria para gestionar y programar eficazmente la distribución de la electricidad de acuerdo con la demanda de los consumidores. La gestión de las energías renovables a través del almacenamiento enfrenta desafíos, como la necesidad de predecir con precisión la demanda y la producción. Las limitaciones en los modelos meteorológicos dificultan la planificación efectiva. Por lo tanto, es crucial desarrollar modelos meteorológicos más precisos y tecnologías de almacenamiento de energía más eficientes para integrar mejor las energías renovables en la red eléctrica y garantizar un suministro sostenible y confiable. Estos avances son esenciales para aprovechar plenamente el potencial de las energías renovables y avanzar hacia una matriz energética más limpia y resiliente (Amaya & Fabian, 2021).

Considerando que los sistemas para predicción y estimación de la energía aún son limitados, se realiza en el presente trabajo de grado, un sistema de priorización de cargas con sistemas fotovoltaicos, que incluye un sistema generador de energía basado en sistemas fotovoltaicos, que entrega la información de generación a un algoritmo que permite que el usuario priorice circuitos de conexión y desconexión de cargas, para que dependiendo de las condiciones climáticas y un pronóstico de generación de energía, se enciendan circuitos, apaguen circuitos, exporte energía a la red o se almacene en bancos de baterías de manera automática, dependiendo de las condiciones climáticas y las necesidades de consumo.

1. Problema de Investigación

1.1 Objeto de Investigación

Sistema de priorización de cargas en un sistema de generación de fuentes alternativas.

1.2 Línea de Investigación

La línea de Potencia y Energía del Programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad CESMAG enfoca su trabajo en el estudio de la generación, transformación, intercambio, transporte, distribución, almacenamiento y consumo de energía eléctrica de manera absoluta o por unidad de tiempo, incluyendo el diseño, análisis, control y optimización de sistemas de electrónica de potencia. Las líneas de investigación incluyen Calidad de la Energía y Energías Alternativas (Programa de Ingeniería Electronica, 2015).

1.3 Sub línea de Investigación

La línea de Investigación en Calidad de la Energía se define como el estudio de las características eléctricas que afectan el correcto funcionamiento de un sistema eléctrico y por lo tanto el trabajo que desarrollan los usuarios. Estas características son tensión constante, frecuencia, forma de onda sinusoidal simétrica, sistema balanceado entre otras. Aparece como un conjunto de límites en el comportamiento de los sistemas de potencia (eléctrico-electrónico) que permiten que un equipo funcione en la manera esperada sin afectar su desempeño y vida útil (Programa de Ingeniería Electronica, 2015).

1.4 Planteamiento o Descripción del Problema

La necesidad de generación de energía eléctrica a nivel global ha venido en crecimiento constante y considerable a una tasa de crecimiento anual aproximado de 1.000 TWh entre los años 2010 y el 2020 (IEA, 2019), tal aumento se debe al crecimiento demográfico y los procesos de industrialización, lo que hace que la inclusión de fuentes de energía alternativas y renovables sea cada vez más solicitada.

Existen sistemas que permiten controlar el despacho de las fuentes de energía alternativas, dado que estas se ven afectadas tanto por variables medioambientales, como por la zona de ubicación, por lo que es importante tener un control en cada etapa de su funcionamiento. Debido a que la producción energética por fuentes renovables es limitada y

dependiente de los factores climáticos, es muy probable que la generación no sea capaz de suministrar la energía suficiente a las cargas del sistema. Sin embargo, en un sistema de cargas, no todos los elementos tienen la misma prioridad, es decir existen cargas más importantes que otras y cargas que pueden desconectarse sin afectar el funcionamiento del cliente.

Dentro del presente proyecto se escogió como fuente principal de energía un sistema fotovoltaico, que permite la activación de las cargas priorizadas según la importancia que se le dé. Con lo anterior se quiere que no haya dependencia hacia sistema de alimentación que afecte el sistema de priorización, esto porque el sistema contribuye a la priorización de cargas independiente de cuanta energía ingrese a dicho sistema.

Este proceso de conexión y desconexión podría realizarse de manera manual, en acciones dispendiosas y de continua vigilancia del clima, lo que significa que operarios tendría que realizar tareas automáticas de manera no eficiente, la solución se orienta al desarrollo de un sistema con respuesta en tiempo real, que permita al usuario priorizar la conexión o desconexión de cargas de acuerdo al pronóstico de generación de las fuentes renovables, pero se desconoce si el sistema cumple de manera eficaz las reglas de priorización de cargas, de tal forma que los elementos con mayor prioridad siempre cuenten con suministro eléctrico. Si esto no se realiza, el suministro energético se distribuirá indistintamente entre cada uno de los circuitos acoplados a los generadores.

1.5 Formulación del Problema

¿Cuál es la eficacia del sistema de priorización de cargas para el suministro de energía a las cargas priorizadas?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar la eficacia del sistema de priorización de cargas para el suministro de energía a las cargas priorizadas

1.6.2 Objetivos específicos

- Diseñar las reglas del sistema de la priorización de cargas un sistema fotovoltaico

- Implementar el algoritmo para el sistema de priorización de cargas para un sistema fotovoltaico con el software de Python
- Evaluar la respuesta del sistema con la eficacia entregada en las cargas en un escenario real

1.7 Justificación

El aprovechamiento de recursos naturales renovables, como la radiación solar, es fundamental para la generación de energía sostenible. Las celdas fotovoltaicas desempeñan un papel crucial al absorber la radiación solar y convertirla directamente en energía eléctrica. Esta energía se utiliza para alimentar de manera eficiente el sistema de priorización de cargas, garantizando que las cargas con mayor prioridad reciban un suministro constante y fiable.

Los incentivos económicos otorgados por el gobierno a través de la ley 1715, permiten al usuario exportar los excedentes de energía generados y cobrar por la inyección de esta exportación a la red. Este sistema permite generar una serie de reglas que determinan si es más conveniente utilizar, almacenar o exportar energía a la red y de esta forma, el sistema decide si la exportación, implica un ingreso por ventas que favorece al usuario.

Con esto se plantea el desarrollo de un sistema que permita al usuario asignar las prioridades a las cargas que quiera alimentar y determinar la acción que debe tomar frente a cada situación y así el sistema podrá reducir pérdidas y/o escasez de energía, por otro lado, también en caso de se encuentre un problema en las cargas, sea una pérdida o ganancia, se tome la mejor solución o se informe al usuario.

1.8 Delimitación

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un algoritmo en el software Python, el cual permite el direccionamiento de la energía dependiendo de la importancia de las cargas definidas por el usuario y la energía disponible para satisfacerlas. Tal implementación al ser dirigida a sistemas fotovoltaicos depende directamente de la meteorología con factores como la irradiancia y la radiación.

El algoritmo permite que el usuario ingrese las cargas más importantes, una vez hecha esta selección se dará direccionamiento a la distribución de energía a las cargas o de ser necesario a las baterías integradas al sistema, de acuerdo a la disponibilidad del recurso y unas reglas definidas por el usuario. El sistema estará ubicado entre la conexión de generación y las cargas, esto con el objetivo de tomar la energía que llega y distribuirla entre

las cargas definidas, dicho sistema no está dirigido a un usuario específico ya que tiene una variedad de campos de uso desde residencial hasta industrial.

Como novedad, de este sistema tendrá por sobre sistemas existentes, se encuentra el contar con una mayor cantidad de reglas, lo que lo convierte en un sistema de mayor eficacia con una interfaz intuitiva para el usuario.

2. Tópicos del Marco Teórico

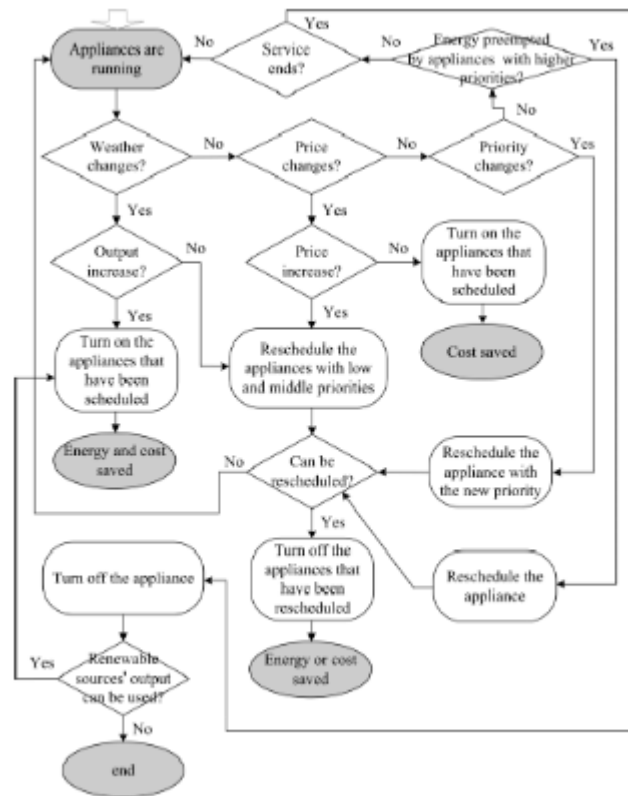
2.1 Antecedentes

2.1.1 *Algoritmo de programación de prioridad de carga doméstica en tiempo real basado en la predicción de la disponibilidad de fuentes renovables*

En el trabajo desarrollado por Liu (2012) se encuentra un algoritmo de predicción para la priorización de cargas domésticas, teniendo en cuenta la disponibilidad de fuentes de energías alternativas, el precio de la energía en el mercado y el consumo energético del hogar. Para ello hicieron el análisis de varios factores: para la predicción de la disponibilidad de fuentes de energías renovables se basaron en la información proporcionada por el pronóstico hora a hora, que se encuentra en la web de pronóstico del tiempo; la priorización de cargas se realiza teniendo en cuenta el uso electrodoméstico en los hogares, así se definen prioridades altas, medias y bajas según el funcionamiento de los aparatos de consumo en tiempo real y tiempo no real.

De esta manera lograron crear un algoritmo de predicción como se muestra en la Figura 1, en donde, durante el período en que un electrodoméstico está funcionando, el clima y el precio de la electricidad, así como la prioridad del electrodoméstico, pueden cambiar y otros electrodomésticos con mayor prioridad pueden apropiarse de la energía de fuentes renovables. Si esto sucede, la programación controlará el dispositivo. Más precisamente, cuando cambia el clima, es decir, se cambia la producción de fuentes renovables, para ahorrar energía y costos, el algoritmo de programación reprogramará el aparato que consume la energía de fuentes renovables si la producción disminuye o enciende nuevos electrodomésticos que han sido programados si la producción aumenta. Cuando la prioridad del aparato cambia o la energía que consume es reemplazada por un aparato con mayor prioridad, también se reprogramará. Si el aparato se puede reprogramar, se ahorrará energía y/o costos. De lo contrario, el aparato seguirá funcionando hasta que finalice el servicio. Cabe señalar que cuando se apaga un aparato y se puede utilizar la producción de fuentes renovables, el algoritmo de programación encenderá los aparatos nuevos que se hayan programado. El algoritmo propuesto puede programar eficazmente los electrodomésticos de acuerdo con los cambios del pronóstico del tiempo y el precio, así como el cambio de prioridad de los electrodomésticos causado por el comportamiento del consumidor.

Figura 1. Algoritmo de viabilidad de predicción de carga domestica



Fuente: (Liu et al., 2012)

El algoritmo que se indica en la

En el trabajo desarrollado por Liu (2012) se encuentra un algoritmo de predicción para la priorización de cargas domésticas, teniendo en cuenta la disponibilidad de fuentes de energías alternativas, el precio de la energía en el mercado y el consumo energético del hogar. Para ello hicieron el análisis de varios factores: para la predicción de la disponibilidad de fuentes de energías renovables se basaron en la información proporcionada por el pronóstico hora a hora, que se encuentra en la web de pronóstico del tiempo; la priorización de cargas se realiza teniendo en cuenta el uso electrodoméstico en los hogares, así se definen prioridades altas, medias y bajas según el funcionamiento de los aparatos de consumo en tiempo real y tiempo no real.

De esta manera lograron crear un algoritmo de predicción como se muestra en la Figura 1, en donde, durante el período en que un electrodoméstico está funcionando, el clima y el precio de la electricidad, así como la prioridad del electrodoméstico, pueden cambiar y otros electrodomésticos con mayor prioridad pueden apropiarse de la energía de fuentes renovables. Si esto sucede, la programación controlará el dispositivo. Más precisamente,

cuando cambia el clima, es decir, se cambia la producción de fuentes renovables, para ahorrar energía y costos, el algoritmo de programación reprogramará el aparato que consume la energía de fuentes renovables si la producción disminuye o enciende nuevos electrodomésticos que han sido programados si la producción aumenta. Cuando la prioridad del aparato cambia o la energía que consume es reemplazada por un aparato con mayor prioridad, también se reprogramará. Si el aparato se puede reprogramar, se ahorrará energía y/o costos. De lo contrario, el aparato seguirá funcionando hasta que finalice el servicio. Cabe señalar que cuando se apaga un aparato y se puede utilizar la producción de fuentes renovables, el algoritmo de programación encenderá los aparatos nuevos que se hayan programado. El algoritmo propuesto puede programar eficazmente los electrodomésticos de acuerdo con los cambios del pronóstico del tiempo y el precio, así como el cambio de prioridad de los electrodomésticos causado por el comportamiento del consumidor.

Figura 1 sirve como base para el desarrollo del sistema. En contraste con el desarrollo del software que se presenta en este documento, el algoritmo está diseñado para gestionar múltiples fuentes de energía renovable y toma en consideración el coste de la energía en el lugar donde fue desarrollado. Este algoritmo se centra en mantener un modelo de optimización basado en el coste de la energía y su disponibilidad. A diferencia del algoritmo del sistema de priorización de cargas, este enfoque no prioriza cargas específicas, ya que está dispuesto a ajustar la asignación de energía según los factores mencionados anteriormente.

En cambio, el algoritmo se caracteriza por mantener una prioridad constante en relación con la carga, independientemente de las circunstancias. Esto garantiza que las tres fuentes de energía utilizadas, ya sean energía fotovoltaica, la almacenada en las baterías o la proveniente de la red comercial, cumplan con la prioridad asignada a cada carga mediante una ponderación constante.

2.1.2 An Efficient Genetic Algorithm Based Demand Side Management Scheme for Smart Grid

En este antecedente (Awais et al., 2015) se propuso un modelo de programación lineal que permite minimizar el costo diario de la energía a partir de unas restricciones de varios dispositivos controlables que forman parte de una red inteligente. Este enfoque consideró

cargas industriales, residenciales y comerciales, aumentando la eficiencia de la red inteligente.

Para futuras actualizaciones del sistema, se puede tomar en consideración las ecuaciones del uno al seis, así como el algoritmo del DSM (Demand Side Management) presentado en forma de pseudocódigo y diagrama de bloques. Sin embargo, en el proyecto base actual, no se incluirán estos elementos. En su lugar, se aplicarán en la versión final del sistema, permitiendo una gestión más eficiente y rentable del consumo de energía en la red inteligente.

Minimización:

$$\sum_{t=1}^{24} \sum_{a=1}^n \sum_{b=1}^m x_{ab}(t) \times E_{ab}(t) \times EP(t) \quad (1)$$

Complaciente a las siguientes restricciones:

$$\sum_{t=1}^{24} \sum_{a=1}^n \sum_{b=1}^m x_{ab}(t) \times E_{ab}(t) \times EP(t) \leq L(t) \quad (2)$$

$$m_a = 24 - l_a \quad (3)$$

$$Y_{ab} = 0 \quad \forall 24 - l_i > m_a \quad (4)$$

$$Y_{ab} > 0 \quad \forall a, b \quad (5)$$

$$\sum_{t=1}^{24} Ctb_{ab} \leq A(t) \quad (6)$$

En donde:

t : Ranuras de tiempo.

a : Cantidad de aparatos.

b : Tipo de aparato.

E_{ab} : Consumo de aparato a de tipo b

$EP(t)$: Precio de la electricidad en un tiempo t

x_{ab} : Estado de encendido o apagado del aparato a de tipo b

m_a : Retraso máximo del aparato b

l_a : Tiempo en el que el aparato está encendido

$L(t)$: Límite máximo de energía en el tiempo t

Y_{ab} : Aparatos controlables a de tipo j

$A(t)$: Conjunto de aparatos controlables en el tiempo

2.1.3 Algoritmo de Priorización de Cargas para un Sistema Residencial Automatizado Basado en una Microred Híbrida

El antecedente que se presenta Reyes y Tolosa (2017) tiene el propósito de elaborar un sistema de priorización de cargas para el control de la iluminación y el consumo de agua residencial. En primer lugar, la energía es generada por fuentes alternativas, en segundo lugar, implementan un PLC para activar las cargas y finalmente desarrollan una interfaz entre hombre y máquina. Del antecedente mencionado, se extrajo la idea de cómo establecer condiciones para la activación de los recursos energéticos en función de la disponibilidad de las fuentes de energía utilizadas, en este caso, eólica y fotovoltaica. Se observa que desarrollaron un sistema de micro red híbrida con múltiples funciones, describiendo tres escenarios diferentes según cuál de las fuentes de energía tenga una mayor producción o si es necesario almacenar la energía en baterías para su posterior uso.

Para el proyecto actual, se diseñaron reglas de priorización de cargas que también dependen de la disponibilidad de energía, pero se han evaluado y configurado en base a escenarios distintos. Esto asegura que, independientemente de las condiciones particulares, el sistema mantenga un control óptimo de la distribución de energía, garantizando que las cargas se gestionen de manera eficiente y acorde a las necesidades específicas.

2.1.4 Predicción diaria de la generación de energía solar basada en la información del pronóstico del tiempo en Corea

En este artículo Kim et al (2017) presenta un modelo de predicción diaria de generación de energía solar, basado en el modelo de regresión lineal y el modelo ANN, el modelo de regresión debe regenerarse periódicamente para adaptarse en el tiempo real, en cambio el modelo ANN no es fácil de usar sin conocimientos datos históricos del pronóstico del tiempo, teniendo en cuenta estas diferencias (Kim et al., 2017) hicieron un nuevo modelo para predecir de forma diaria la generación de energía solar fotovoltaica, para este modelo se usó la ecuación 7 de salida de energía solar fotovoltaica y se usa la información del pronóstico del tiempo para estimar la insolación y factor de corrección. Las ventajas de tal modelo es que tiene un fácil funcionamiento porque el ajuste de parámetros se realiza sin intervención humana, no se requieren datos operativos históricos para construir el modelo, se

puede implementar fácilmente en la práctica, puede reflejar la degradación del rendimiento del sistema debido al envejecimiento o el entorno externo.

$$\hat{P}_d = \sum_{t=6}^{17} \widehat{P}_{d,t} \text{ kW} \quad (7)$$

Este artículo es importante porque su modelo de predicción de pronóstico diario sirve para tener un seguro funcionamiento del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta las predicciones climatológicas.

2.1.5 Weather Forecasting Using Hidden Markov Model

En el antecedente (Khiatani & Ghose, 2018) se plantea el uso del *Hidden Markov Model* (HMM) para la predicción del clima en el tiempo, lo cual como lo dice el autor es algo que no se había probado antes usando el HMM, tal investigación fue lograda usando el retroceso de Viterbi, el algoritmo de avance y el algoritmo de Baum-Welch, basándose en ello, se clasifican datos en diferentes clases y estas se ingresan a las cadenas de Markov y permite predecir los cambios climáticos de cinco días posteriores, el antecedente también plantea modelos de predicción que se basan en redes neuronales artificiales y modelos de regresión, en el antecedente los integran mediante una ecuación lineal para el cálculo de la energía proveniente de fuentes fotovoltaicas.

2.2 Enunciados de los supuestos teóricos

2.2.1 Generación distribuida

Desde sus inicios, la distribución y generación de energía ha tenido un desarrollo muy similar en la mayor parte del mundo, pues entregan desde las grandes ciudades, principales áreas rurales y municipios a algunas organizaciones que tienen obligación de suministrar energía a individuos quienes la soliciten, bajo las normas aplicadas a la concesión y las limitantes de la maquinaria de generación (Hatziargyriou et al., 2007).

Es complicado definir la generación distribuida ya que distintos autores la definen de maneras diferentes. Una gran cantidad de autores se refieren a la generación distribuida como la generación de tamaños medianos y pequeños, que es conectada directamente a las cargas, es decir, de formas aisladas cada una, más sin embargo algunas fuentes de energía pueden ser a escalas muy grandes, como por ejemplo plantas fotovoltaicas.

Debido a que lo anterior no siempre se cumple, Ackermann provee una definición que evita limitar el tamaño: “La ubicación de la generación distribuida está definida como la instalación y operación de unidades de generación de energía eléctrica conectadas directamente a la red de distribución o conectadas a la red en el sitio del cliente del medidor” (Ackermann et al., 2001).

2.2.2 Energía solar

La energía solar ha venido siendo usada por los seres humanos por mucho tiempo y a día de hoy esta energía se usó para ser transformada en energía eléctrica haciendo uso de paneles solares (PV por sus siglas en inglés); dichos paneles han existido ya por un tiempo y se puede destacar sus usos prácticos en sistemas aeroespaciales. Las cantidades de voltaje y corriente que producen las células dependen de la intensidad de la luz solar y el diseño de la celda, los sistemas fotovoltaicos utilizan matrices de celdas que son fijas o que son configuradas para seguir el sol para la mayor generación posible (Xuan & Bin, 2008).

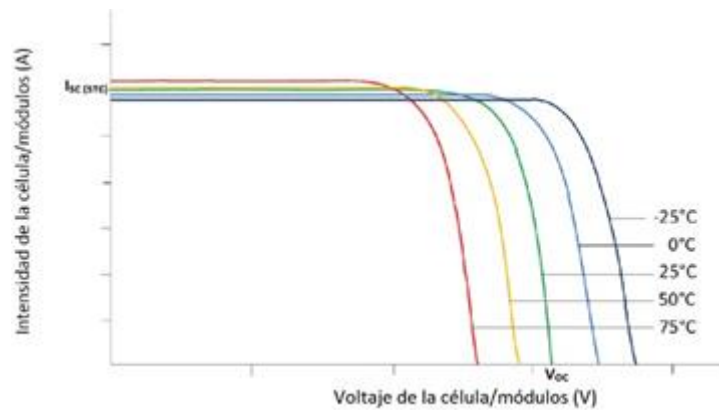
Aún con lo mencionado anteriormente, dichos sistemas tienen ciertas desventajas, como el costo, pero se vuelve enormemente viable al momento de usar sistemas fotovoltaicos en áreas rurales al momento de alejarse de una red eléctrica.

2.2.3 Radiación Solar

Las células fotoeléctricas o fotovoltaicas son dispositivos basados en la reacción de superficies metálicas a las radiaciones electromagnéticas o solares (Alvarado Ladrón de Guevara, 2018). Según Abella & Romero (2017) para poder medir la radiación solar existen dos términos con los que se los puede hacer:

- Irradiación: Es la cantidad de energía recibida en un período de tiempo y su unidad de medida es el $w * \frac{h}{m^2}$
- Irradiancia: Es la potencia recibida en un instante y su unidad de medida es W/m^2

Figura 2. Comportamiento temperatura panel solar



Fuente: (Abella & Romero, 2017)

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la curva que ilustra cómo las celdas solares responden a las variaciones de temperatura. Es evidente que un panel solar operando a temperaturas elevadas, alcanzando hasta 75°C, experimenta una marcada disminución en su capacidad de generación de energía. Por otro lado, cuando las temperaturas son más bajas, se observa una mejora significativa en la potencia generada por unidad de área (Romero, 2015).

2.2.4 Almacenamiento

Las baterías se utilizan para almacenar energía la cual será suministrada al sistema y permitirá que opere con cierto nivel de autonomía, pero son una parte débil de un sistema de generación de energía con energías alternativas, esto por su corto tiempo de vida útil, que usualmente está asociada a la edad y/o número de ciclos de carga y descarga, esto además del muy alto costo que presentan (Reyes & Tolosa, 2017).

2.2.5 Micro redes

Estos son sistemas que tienen mínimamente una fuente de energía distribuida y cargas que estén asociadas, estas pueden ser sistemas que se encuentren conectados a la red o pueden funcionar mientras están aisladas.

Una microrred suele verse en el rango de bajas tensiones (Baja tensión ≤ 1 kV) y medias tensiones (Media tensión 1 a 69 kV aprox). Una microrred se compone por un grupo de fuentes de energía para la distribución y un controlador (Hatziargyriou et al., 2007).

Los beneficios principales de las microrredes se enumeran a continuación:

- Confiabilidad y calidad de la potencia: por la oportunidad de medir la calidad de la potencia para que se ajuste a los requerimientos del usuario.
- Es un entorno fácil de manejar por su generación eficiente de energía, esto facilita la inversión en el desarrollo al momento de pensar en desarrollar otros tipos de energía (Abari et al., 2011b; Hatziargyriou et al., 2007b).

Se lleva estudiando el uso de las microrredes como un complemento a la energía de la red, actuando para momentos de bajo consumo o de caídas de la red y de forma aislada se intenta suplir las necesidades de carga de un hogar (Hatziargyriou, 2014).

2.2.6 DSM (Demand side management)

La gestión energética significa optimizar una de las creaciones técnicas más complejas e importantes que se conocen; el sistema de energía.

Si bien hay mucha experiencia en optimizar la generación y distribución de la energía, es el lado de la demanda lo que recibe una atención cada vez mayor por parte de la investigación y la industria.

Demand Side Management (DSM) es una cartera de medidas para mejorar el sistema energético desde el lado del consumo. Va desde mejorar la eficiencia energética mediante el uso de mejores materiales, en lugar de inteligentes tarifas energéticas con incentivos para determinados patrones de consumo, hasta un sofisticado control en tiempo real de los recursos energéticos distribuidos (Palensky & Dietrich, 2011).

2.2.7 Priorización de carga

Al estudiar las microrredes se toman ideas que provienen de las redes inteligentes (SG), esto con el objetivo de satisfacer la demanda energética cuando sea requerido, por medio de la transmisión necesitada (Zhao et al., 2013).

Ahora bien, si se habla de sistemas aislados, el objetivo es administrar la energía que esté disponible; esto con el fin de que al igual que las SG, satisfaga la demanda en el momento que se requiera; pero basándose en esquemas de priorización de cargas (Byun et al., 2012).

Dicha priorización puede ser administrada de diferentes maneras, por un lado, se puede clasificar las cargas conectadas según las características de operación que tengan; por otro lado, se puede ahorrar la energía al basarse en el comportamiento regular del usuario, el

cual se establece para dar prioridad a ciertos electrodomésticos sobre otros y depende como punto principal de las necesidades planteadas por el usuario.

Durante el esquema de asignación para la prioridad de cargas, se usan las necesidades del usuario para la definición de prioridad, se les asigna tiempos de carga a las baterías y algunas cargas que necesiten estar encendidas constantemente, estas reciben un tiempo de funcionamiento únicamente entre horas preestablecidas.

Los sistemas de priorización de carga basados en algoritmos de priorización, hacen uso de las necesidades del usuario para definir un punto de partida para la programación en la que es posible escoger las cargas prioritarias a cada momento del día y de esta manera gestionar mejor la energía que se tiene.

2.2.8 Consumo domiciliario

La energía eléctrica es una base principal en la vida de la sociedad moderna, esta se usa en hogares básicamente para suplir electrodomésticos e iluminación y su consumo se asocia con hábitos de uso y cuantas cargas están conectadas junto con las características de cada carga.

En la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa la clasificación por estratos socioeconómicos relacionados entre el consumo promedio mensual entre 2012 y 2015.

Tabla 1. Consumo de energía eléctrica promedio mensual

| ESTRATO | Consumo de energía eléctrica promedio mensual (Kwh) | | | |
|---------|-----------------------------------------------------|--------|-------|-------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| 1 | 145,3 | 155,7 | 148,6 | 152,4 |
| 2 | 129,4 | 134,8 | 133,9 | 137,9 |
| 3 | 151 | 156,5 | 154,5 | 154,8 |
| 4 | 181,3 | 184,65 | 185,5 | 183,9 |
| 5 | 221,8 | 227,6 | 226,5 | 221,7 |
| 6 | 338,9 | 347,4 | 357,1 | 352,3 |

(Reyes & Tolosa, 2017)

2.3 Definición de conceptos

2.3.1 Definición nominal de conceptos

La variable para medir es la eficacia (n) de todo el sistema de priorización de cargas con respecto a la entrega de las cargas distribuidas. Su verificación se va a obtener al validar cuantas condiciones de carga (X_i) se entregan de acuerdo a las solicitadas por el usuario es decir cargas de salida (X_o).

2.3.2 Definición operativa de conceptos

$$n = \frac{X_o * 100\%}{X_i} \quad (9)$$

Donde:

n = eficacia del sistema

X_i = Condiciones de las cargas del usuario

X_o = Condiciones de las cargas distribuidas.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Problema de investigación

¿Cuál es la eficacia del sistema al entregar las cargas priorizadas?

2.4.2 Hipótesis de Investigación (H_i)

La eficacia del sistema en entregar cargas priorizadas es del 95%

2.4.3 Hipótesis Nula (H_o)

La eficacia del sistema en entregar las cargas priorizadas no es del 95%

2.4.4 Hipótesis Alternativa (H_a)

La eficacia del sistema en entregar las cargas priorizadas es del 92%

3. Metodología

3.1 Enfoque

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que las variables que se trabajan en este proyecto, son variables que se expresan cuantitativamente, debido a esto, los resultados obtenidos mostraron la eficiencia del sistema, y dicha eficacia será presentada porcentualmente.

3.2 Paradigma

La investigación tiene un enfoque neopositivista, pues involucra elementos del racionalismo y el empirismo, debido a que parte de una deducción del valor de la eficacia del sistema que controla la priorización de cargas programadas por el usuario dependiendo de las condiciones dadas por el usuario, y lo comprueba mediante la evaluación de un algoritmo programado para el cumplimiento de las mismas.

3.3 Método

Al tratarse de una investigación cuantitativa, se usa el método empírico-analítico (Vodniza, 2009), porque se realizó un sistema que prioriza las cargas de manera eficaz, con la finalidad de dar solución al problema de investigación y comprobar o refutar la hipótesis planteada.

3.4 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva, debido a que la finalidad es determinar un algoritmo para un sistema efectivo que priorice las cargas obtenidas por un sistema fotovoltaico. Con esto se pretende establecer condiciones para que el sistema cumpla con la verificación de disponibilidad de cargas, la toma de decisiones y la entrega de las mismas, para así darle prioridad a las más importantes, en un tiempo real, y sin pérdidas de energía. Todo esto con el fin de precisar la variable del objetivo, que es la eficiencia del sistema.

3.5 Diseño de investigación

El diseño de la investigación, se define como experimentación pura, dado que se busca calcular el porcentaje de eficacia mediante el número de reglas integradas al sistema y

la comparación de cuantas reglas estén bien efectuadas dentro de un sistema conectado a cargas aleatorias. Entre menor sea su error, el sistema será más eficaz.

RG1 **X** **O**

RG2 **-** **O**

RG1: Sistema utilizando priorización de cargas

RG2: Sistema sin priorización

X: Sistema de priorización

O: Eficacia del sistema

3.6 Universo

Corresponde al sistema de priorización de cargas para un sistema fotovoltaico, es un conjunto finito porque el interés de la investigación está basado en las cargas obtenidas por sistemas fotovoltaicos y el despacho de las mismas.

3.7 Muestra

La muestra corresponde al mismo universo, que es el sistema de priorización de cargas para un sistema fotovoltaico.

3.8 Técnicas de recolección de información

Observación directa: La información se obtuvo a través de un proceso de experimentación mediante el desarrollo de una aplicación ejecutable, programada en Python, que facilitó la lectura de los datos proporcionados por los sensores, como son irradiancia, temperatura, voltaje y corriente, usando representaciones gráficas.

Los sensores utilizados interactúan con el software mediante el uso de un Arduino Mega 2560 que acondiciona las señales análogas de las diferentes variables a señales digitales que decodifica el software.

Además, se implementaron las reglas de priorización previamente diseñadas. Durante la ejecución del sistema, se otorgó prioridad a las cargas que el usuario había seleccionado como las más importantes. A través de un análisis detallado de la distribución de energía a las cargas, se evaluó el funcionamiento del sistema. Se tuvieron en cuenta criterios de eficacia y se verificó el grado de cumplimiento de las reglas de priorización establecidas.

3.8.1 Validez de la técnica

La técnica de recolección es válida, porque los algoritmos programados en Python pueden decodificar la información proveniente del sistema Arduino, gracias al protocolo JSON.

3.8.2 Confiabilidad de la técnica

La técnica es confiable debido a que, al utilizar el sistema de priorización de cargas y tomar datos continuamente durante las veinticuatro horas del día, el sistema no experimenta ningún impacto negativo al suministrar energía a las cargas priorizadas. Solo se observa un cambio y un efecto perceptible si y solo si el usuario modifica las condiciones. De lo contrario, el sistema opera de manera coherente y en cumplimiento con las reglas y condiciones establecidas en el algoritmo acordado. Esto refuerza la confiabilidad y la capacidad de adaptación del sistema a las preferencias y necesidades del usuario.

3.8.3 Instrumentos de recolección de la información

Se implementó exitosamente el sistema de priorización de cargas, que almacena los datos en una base de datos que se desarrolló MySQL, mediante el gestor HeidiSQL. Esta información utiliza un servicio de local host mediante LARAGON.

4. Resultados

4.1 Reglas del sistema de la priorización de cargas

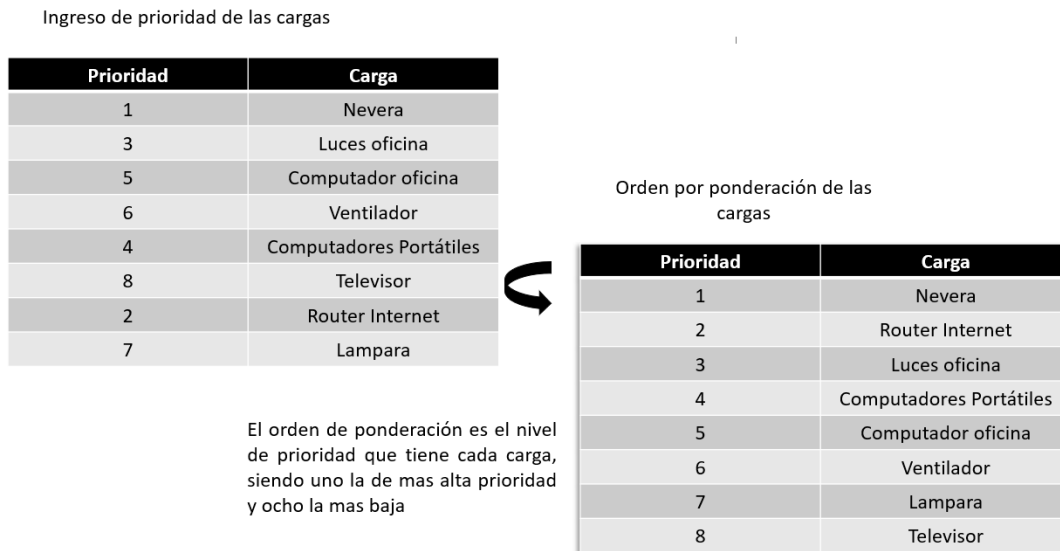
Este sistema de priorización está diseñado para gestionar eficientemente la energía en circuitos eléctricos. Incorpora un sistema autónomo que toma decisiones relacionadas con la asignación del suministro eléctrico en función de parámetros definidos y programados por el usuario que administra el sistema, permitiéndoles seleccionar con facilidad y flexibilidad entre la red eléctrica tradicional y una fuente de energía renovable como la fotovoltaica, dependiendo de las prioridades establecidas para cada uno de los circuitos del sistema. Con esta herramienta, los usuarios pueden personalizar sus preferencias, considerando factores clave como la disponibilidad y fiabilidad de la energía renovable en tiempo real, la criticidad de los dispositivos conectados y las restricciones de consumo energético.

4.1.1 *Funcionamiento del sistema de priorización de cargas*

El sistema, a través de su interfaz de usuario, permite ingresar y ajustar las prioridades de los circuitos eléctricos de manera personalizada y en sintonía con sus necesidades cambiantes. En el instante del arranque del software, se inicia una precisa evaluación preliminar que abarca la lectura de la disponibilidad de energía tanto proveniente de la red eléctrica como de las fuentes de energía renovable, aportando así un panorama completo y actualizado del suministro energético en tiempo real.

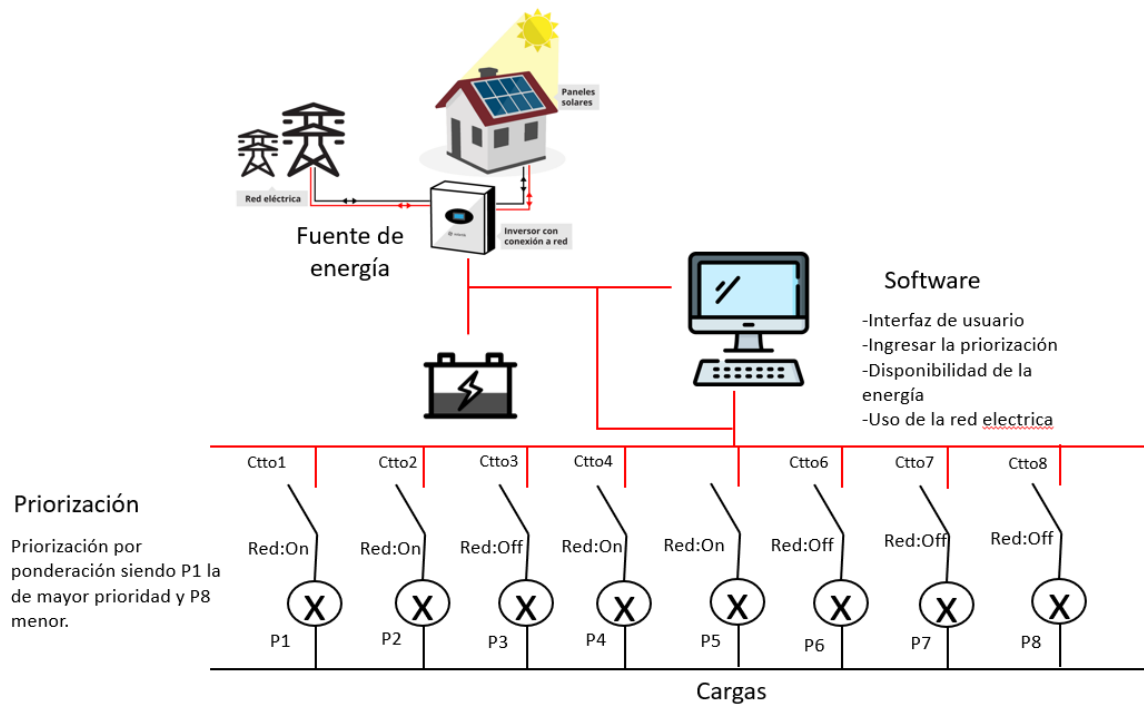
Con esta información, entra en acción el algoritmo de priorización, una pieza central del sistema que permite la operación que organiza los circuitos eléctricos en un orden estratégico. Este ordenamiento se basa en las preferencias expresadas por el usuario, que se refieren al grado de prioridad asignado a cada circuito que se desea energizar. Como se puede apreciar en la Figura 3, la priorización se lleva a cabo mediante la asignación de un orden de prioridad a las cargas que se desean activar. Una vez que se ha establecido este orden, con uno representando la carga de mayor prioridad y ocho la de menor prioridad, el sistema organiza las prioridades y procede al análisis de la energía generada por la fuente para encender cada carga, el orden de ponderación que se le dio a cada carga es el mismo que establece la jerarquía en el cual se van a encender las cargas.

Figura 3 Ponderación de las cargas



El algoritmo de priorización también se basa en la disponibilidad de las fuentes, en la Figura 4 se observa cómo se depende de dos fuentes de energía, una es la energía que proviene de los paneles solares y otra es la red eléctrica comercial, y una tercera que es la energía que se guarda en las baterías. Entonces para energizar los circuitos en orden de prioridad, se realiza la lectura de corriente y voltaje por medio de los sensores para saber cuál es la energía proveniente de la fuente fotovoltaica, siendo esta la fuente principal (el estado ideal corresponde a todas las cargas energizadas por esta fuente). Sin embargo, como no siempre el clima favorece a los paneles solares, se almacena energía en las baterías para poder abastecer los circuitos, pero en el momento que ya no se cuente con energía disponible, entrará en uso la red eléctrica comercial, la cual se encenderá solo para los circuitos de alta prioridad, cuando el usuario ha predefinido su uso.

Figura 4. Sistema de priorización de cargas esquemático



4.1.2 Priorización por usuario

Para realizar la priorización se incorporó el algoritmo programado en Python, que ordena los circuitos eléctricos según las preferencias establecidas por el usuario. Se tienen en cuenta criterios como la existencia de los dispositivos, el consumo de energía y la disponibilidad de energía renovable en tiempo real y la conexión de la red eléctrica. Siendo así el algoritmo funciona principalmente teniendo en cuenta el orden de prioridad y la elección de fuentes de energía.

La elección de las fuentes de energía se gestiona de la siguiente manera: el sistema establece la fuente de energía fotovoltaica como predeterminada y siempre activa para todos los circuitos. No obstante, dado que no siempre se genera la cantidad total de energía necesaria para abastecer todos los circuitos, se implementa un respaldo de baterías que almacenan energía para cubrir las necesidades adicionales. En casos en los que no haya disponibilidad de energía renovable ni energía almacenada en las baterías, el usuario tiene la opción de seleccionar de manera predefinida la opción de uso de red eléctrica comercial para cada circuito. Esta elección se realiza para cada circuito siguiendo el orden de prioridad

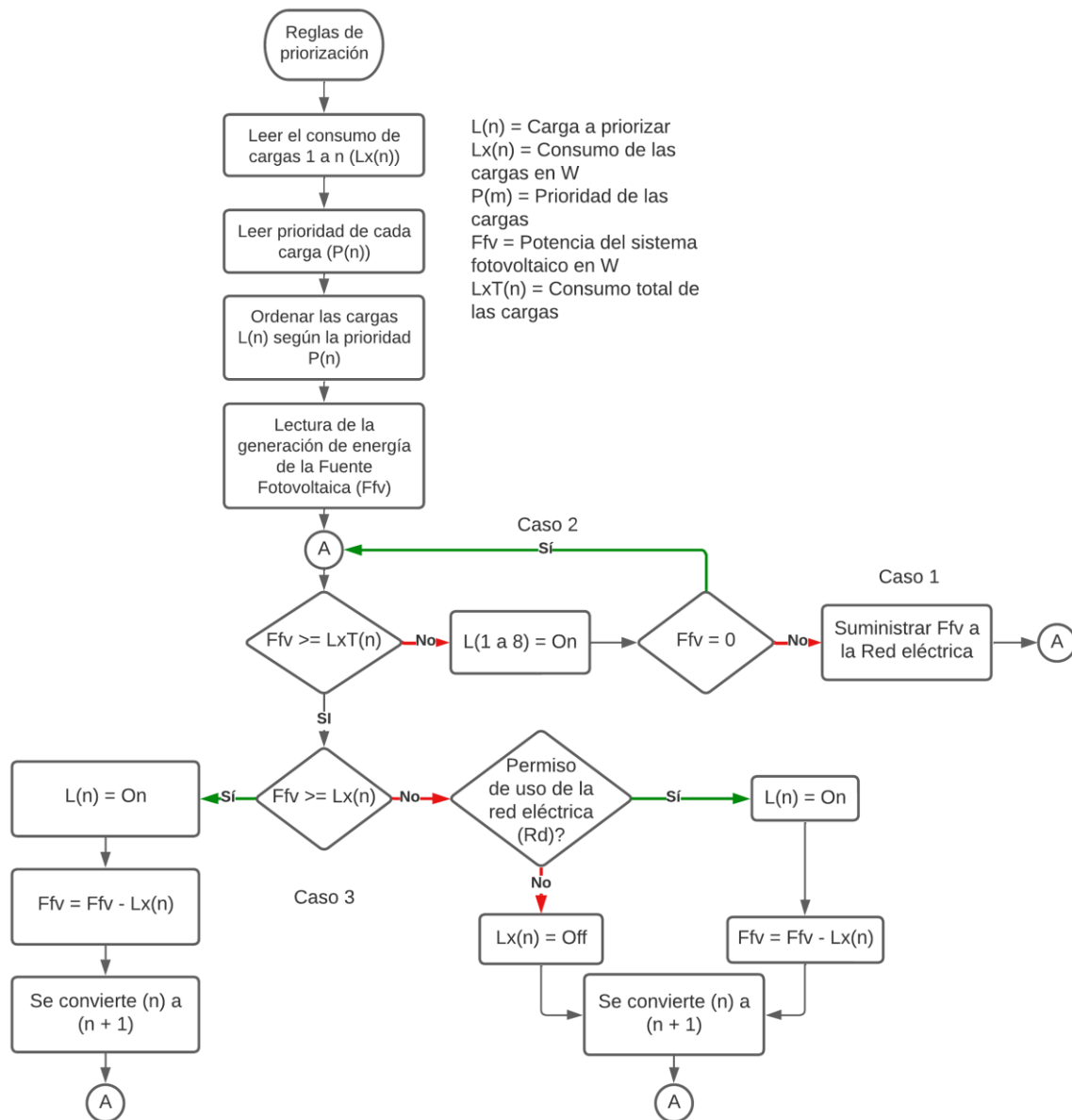
previamente establecido. Es importante destacar que dos circuitos no pueden tener la misma prioridad, lo que garantiza un orden jerárquico en la toma de decisiones.

Todas las interacciones que se realizan usuario a sistema, se hacen en una interfaz gráfica que tiene las opciones para realizar los cambios y al mismo tiempo la visualización de los mismos, así se lleva un mejor entendimiento para que el usuario pueda hacer el uso del sistema.

4.1.3 Algoritmo de las reglas de priorización de cargas

El algoritmo de priorización esta dado en base a las reglas establecidas, en donde se cumple con cada uno de los casos expuestos para que haya de manera eficiente la distribución de energía a cada uno de los ochos circuitos que maneja el sistema, dependiendo de las condiciones dadas por el usuario manteniendo así la prioridad de las cargas y la decisión del uso de la fuente fotovoltaica y red eléctrica. La Figura 5 se indica el algoritmo en el que se trabajó la programación en el software de Python las reglas de priorización de cargas.

Figura 5. Algoritmo de las reglas de priorización



4.1.4 Activación y desactivación de los circuitos

El software, esta interconectado con el conjunto de circuitos perteneciente a un sistema de control del usuario, exhibe una capacidad para obtener información en tiempo real mediante sensores especialmente diseñados, capturando los datos sobre la disponibilidad y la demanda de energía procedente de la fuente fotovoltaica y de la red eléctrica. Estos datos, esenciales para el proceso de priorización, se convierten en el núcleo de la toma de decisiones del sistema, permitiendo una asignación óptima de recursos energéticos en función de las preferencias establecidas previamente por el usuario.

Una vez que el orden de prioridades ha sido establecido, el sistema se activa con determinación, valiéndose de actuadores especialmente configurados para llevar a cabo el control de la energización de los circuitos de manera precisa y oportuna. Estos actuadores, en concreto relés cuidadosamente gestionados por el software, se convierten en los ejecutores fundamentales del proceso, direccionando las decisiones del algoritmo de priorización de manera inmediata y precisa.

El sistema cuenta con un algoritmo, el cual garantiza la correcta activación y desactivación de los actuadores, basándose en una serie de reglas estratégicas cuidadosamente definidas y adaptadas a los diversos escenarios que pueden manifestarse a causa de los cambios en la disponibilidad y demanda de energías. Estas reglas de priorización, se analizaron y evaluaron bajo los diversos contextos energéticos, se configuran como un recurso invaluable para mantener el óptimo equilibrio entre el uso de la fuente fotovoltaica y la red eléctrica, garantizando una administración energética altamente eficiente y sensible a las condiciones cambiantes del entorno eléctrico. De esta forma, el sistema adquiere una inteligencia, adaptándose y optimizando su desempeño de forma dinámica, lo que en última instancia contribuye a mejorar significativamente la eficiencia energética y la sostenibilidad en la gestión de los circuitos eléctricos.

4.1.5 Estructura de las reglas de priorización de cargas

Las reglas de priorización de cargas son normas previamente establecidas que permiten ejecutar acciones en el software según la generación de energía de la fuente renovable para abastecer todos los circuitos que necesite el usuario, así el sistema tiene autonomía e interactúa de manera correcta, en donde se cumple criterios como: necesidad de que un determinado circuito funcione sin interrupción, disminución en el costo de la energía, eficiencia energética que conlleve a la disminución del consumo, necesidades intrínsecas de cada usuario.

El sistema energiza principalmente ocho circuitos, sin embargo, tiene la facilidad de expandirse a un número ilimitado de los mismos, solo si se tiene los actuadores suficientes para el control de los interruptores de suministro para cada circuito. En este trabajo se utiliza un grupo de ocho relevos, por ser un prototipo, pero a nivel de implementación se puede usar un sistema SCADA o de contactores más robustos.

El sistema de priorización de cargas como antes mencionado cuenta con ocho cargas, las cuales son seleccionadas por el usuario, de acuerdo a la prioridad que se le da, tiene una

ponderación siendo uno la de más alta prioridad y ocho la más baja, una vez determinada esta sección se procede a la decisión del uso de la red eléctrica, para cada circuito se pregunta si quiere el uso de red, esto sirve para energizar en caso de que la fuente renovable no tenga la suficiente energía para abastecer cada circuito, dado el caso de que la respuesta del usuario sea afirmativa, el sistema cuando no tenga la suficiente energía activará inmediatamente la red eléctrica para encender el circuito, de lo contrario si el usuario decide que no usará la red eléctrica el circuito permanecerá apagado hasta que haya la suficiente energía en la fuente renovable. En ciertos casos, es posible que solo haya disponibilidad de energía de la fuente renovable para un número específico de cargas dentro de los ocho circuitos. En esta situación, el sistema tomará las siguientes acciones:

1. **Energización de cargas disponibles:** El sistema priorizará y energizará las cargas que puedan ser alimentadas con la energía disponible de la fuente renovable. Estas cargas recibirán energía de manera inmediata.
2. **Uso de la red eléctrica comercial por elección del usuario:** Para las cargas restantes que no pueden ser alimentadas por la fuente renovable, el sistema actuará de acuerdo con la elección del usuario. Si el usuario decide utilizar la red eléctrica comercial para estas cargas, el sistema proporcionará energía de esa fuente.
3. **Almacenamiento de excedente en baterías:** Si, después de atender las cargas disponibles y aquellas alimentadas desde la red eléctrica, existe un excedente de energía generada por la fuente renovable, este excedente se almacenará en las baterías como reserva para su uso futuro.

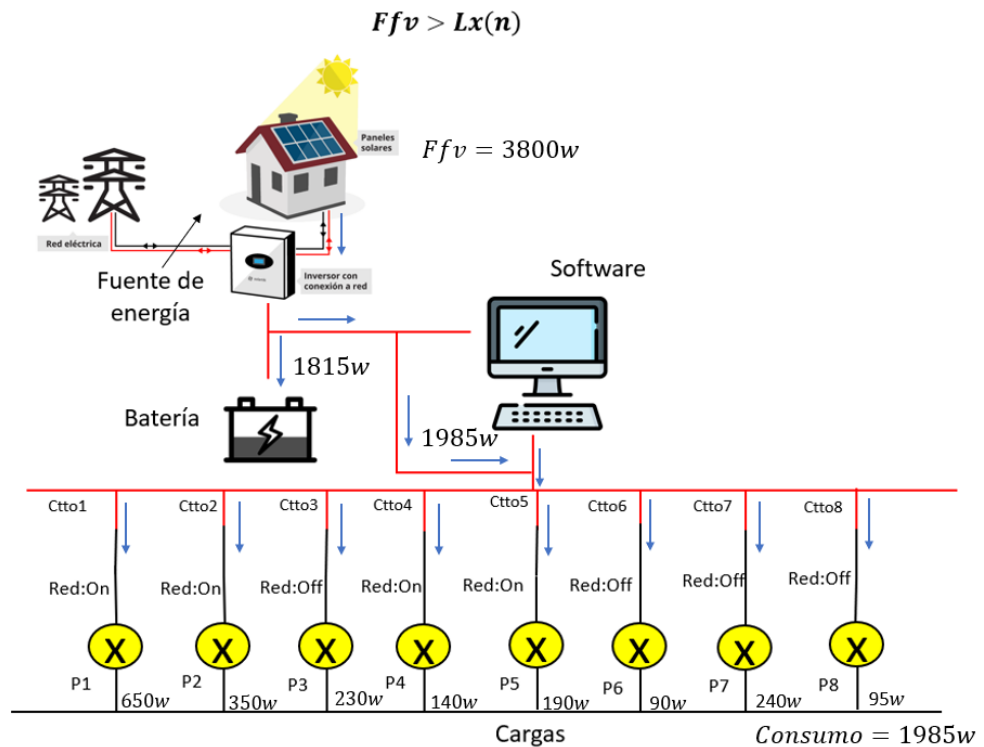
Para el desarrollo del sistema se establecieron tres casos que se encargan de constituir las reglas para la gestión de la energía en situaciones donde la disponibilidad de energía renovable es limitada en comparación con la demanda de los circuitos. El sistema se adapta a estas condiciones, priorizando el suministro de energía de manera eficiente y aprovechando al máximo los recursos disponibles.

- **Caso uno:** Si la energía producida por el sistema fotovoltaico es superior al consumo total de los circuitos, entonces se va suministrar energía a todas las

cargas que el usuario requiera y en caso de que exista un exceso de energía, esta se enviara a las baterías para almacenarla hasta el momento de su uso, si se llegara a cargar totalmente la batería, entonces la inyección de la energía pasa directamente a la red eléctrica.

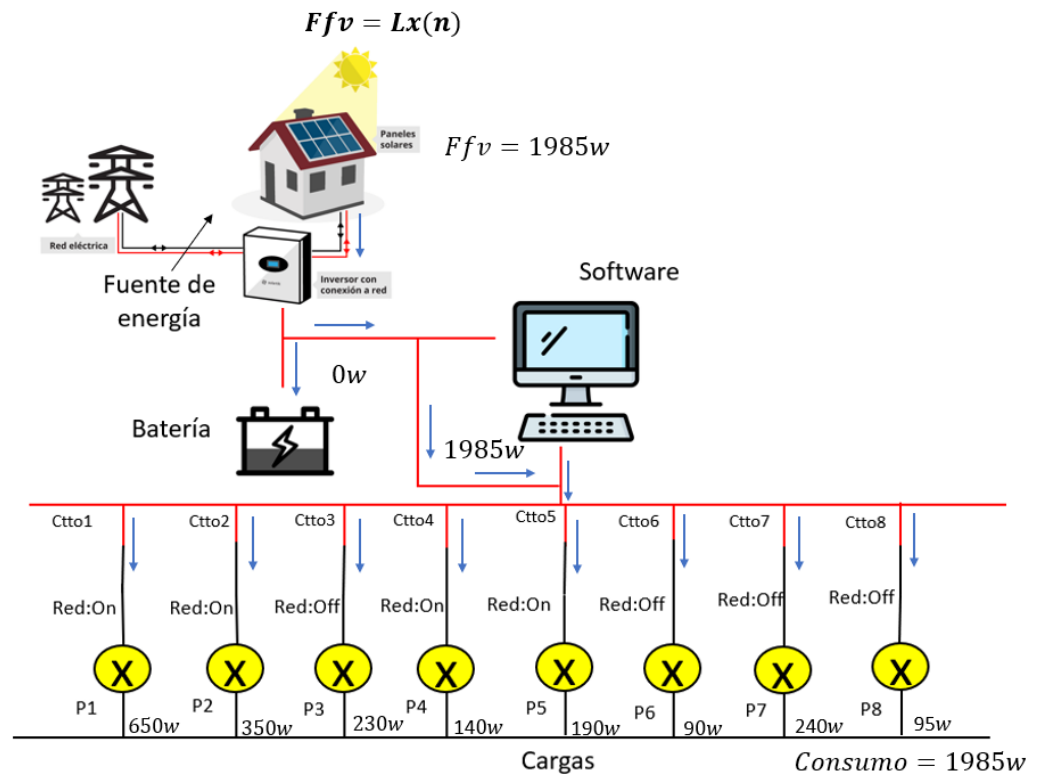
En la Figura 6 se puede observar el proceso, en donde, están activos los ocho circuitos, la energía usada es fotovoltaica ya que esta es superior a la demanda y abastece todos los circuitos que se quieren activar y la sobrante se guarda directamente en las baterías.

Figura 6. Sistema de priorización cuando la energía fotovoltaica es mayor que el consumo



- Caso dos:** Si la energía producida por el sistema fotovoltaico es igual a la demanda, entonces se les suministrara a las cargas seleccionadas por el usuario. La Figura 7 indica que todos los circuitos están encendidos gracias a la energía fotovoltaica, sin embargo, en este caso no se podrá almacenar energía en las baterías debido a que únicamente abastecerá el consumo de los circuitos asociados al sistema y su prioridad van a ser los circuitos.

Figura 7. Sistema de priorización cuando la energía es igual a la demanda



- **Caso tres:** Si la energía producida por el sistema fotovoltaico es menor a la demanda, entonces se ajustará a un parámetro que el usuario decida, por lo que tendrá condiciones:
 - Por ponderación se va realizando un comparativo de la energía para ver si la generación fotovoltaica satisface la carga.
 - Verificar si el usuario al ingresar las cargas decidió activar la red eléctrica, decisión que se toma para cada una de las cargas.
 - Si dado el caso que el uso de la red eléctrica para la carga n según la ponderación de las cargas es afirmativa, entonces como la fuente fotovoltaica no satisface la demanda se activara inmediatamente la red eléctrica.

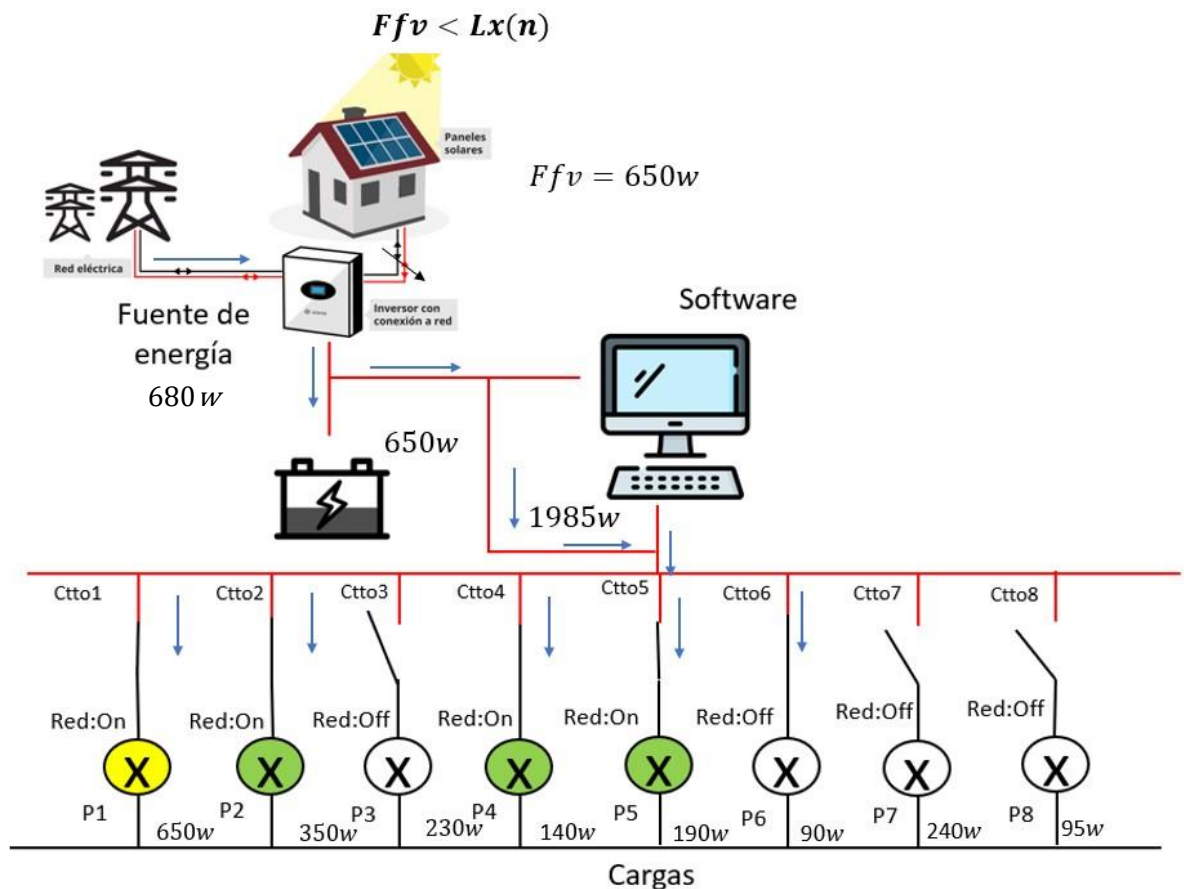
La Tabla 2 muestra la secuencia de conexión y desconexión de los circuitos, considerando las condiciones mencionadas previamente, en las cuales la energía generada por la fuente fotovoltaica es insuficiente para cubrir toda la demanda eléctrica. En esta situación, se prioriza la carga uno según el orden de prioridad establecido. Para las demás cargas, se sigue la decisión tomada por el usuario respecto a la activación de la red eléctrica. Como resultado, la tabla refleja que, al final, se han energizado cuatro de los ocho circuitos disponibles.

Tabla 2. Ejemplificación del uso de las fuentes en el caso 3

| Prioridad | Carga w | Fuente Ffv 650w | Red Eléctrica | Red w | Cttos On/Off |
|-----------|---------|--------------------|---------------|-------|-----------------|
| 1 | 650 | 650 | On | 0 | On |
| 2 | 350 | 0 | On | 350 | On |
| 3 | 230 | 0 | Off | 0 | Off |
| 4 | 140 | 0 | On | 140 | On |
| 5 | 190 | 0 | On | 190 | On |
| 6 | 90 | 0 | Off | 0 | Off |
| 7 | 240 | 0 | Off | 0 | Off |
| 8 | 95 | 0 | Off | 0 | Off |
| | 1985 | 650 | | 680 | 1330 |

De esta manera, en la Figura 8 se observa como en el circuito uno se energizó con energía fotovoltaica, sin embargo, dado que, para los otros circuitos, la cantidad de energía fotovoltaica es insuficiente, el sistema solo habilita a aquellos circuitos que el usuario previamente autorizó para conectarse a la red como lo son el circuito dos, cuatro, y cinco, los circuitos restantes permanecerán apagados hasta que haya suficiente energía de la fuente renovable.

Figura 8. Sistema de priorización cuando la energía fotovoltaica es menor a la demanda



4.2 Desarrollo del software en Python

4.2.1 Sistema de visualización de variables

El sistema de visualización de variables es el encargado de administrar de manera eficiente la comunicación con los sensores usados en el hardware del sistema, programado y ejecutado mediante Arduino. El hardware del sistema está compuesto por once sensores de corriente SCT-03 ubicados a salida de la fuente fotovoltaica (1), en la red eléctrica (2), en la salida de las baterías (3), y en cada uno de los ocho circuitos (11). También se cuenta con tres sensores de voltaje ZMPT101B que registrarán el voltaje del inversor, batería y la red eléctrica, con la ayuda de los sensores de corriente y voltaje, se calcula la potencia consumida por cada carga, la potencia que está generando la fuente fotovoltaica y potencia que hay en las baterías.

El sistema de visualización de variables incorpora mediciones de irradiancia y temperatura, gracias al uso de sensores específicos como el piranómetro SP-214-SS para la

irradiancia y el sensor de temperatura DS18B20. Estos sensores entregan la información necesaria para la generación de gráficas que permiten visualizar el comportamiento de dichas variables en el tiempo. Los datos capturados se almacenan en una base de datos que se encuentra directamente conectada al sistema, además de contar con un respaldo mediante un módulo de tarjeta SD, que entra en juego en caso de desconexión para evitar la pérdida de información. Las gráficas resultantes ofrecen una representación visual de los datos adquiridos en intervalos de cinco minutos, y este lapso de tiempo se determina mediante el módulo RTC DS1307, el cual garantiza la sincronización con la zona horaria y coordina el control a lo largo de las veinticuatro horas del día. Esta correlación temporal se emplea para establecer la relación entre las horas del día y los datos de irradiancia y temperatura, los cuales se plasman en gráficas individuales (como se muestra en las Figura 9 y Figura 10).

Figura 9. Gráfica de irradiancia datos tomados en la Universidad Cesmag el 2023-08-15

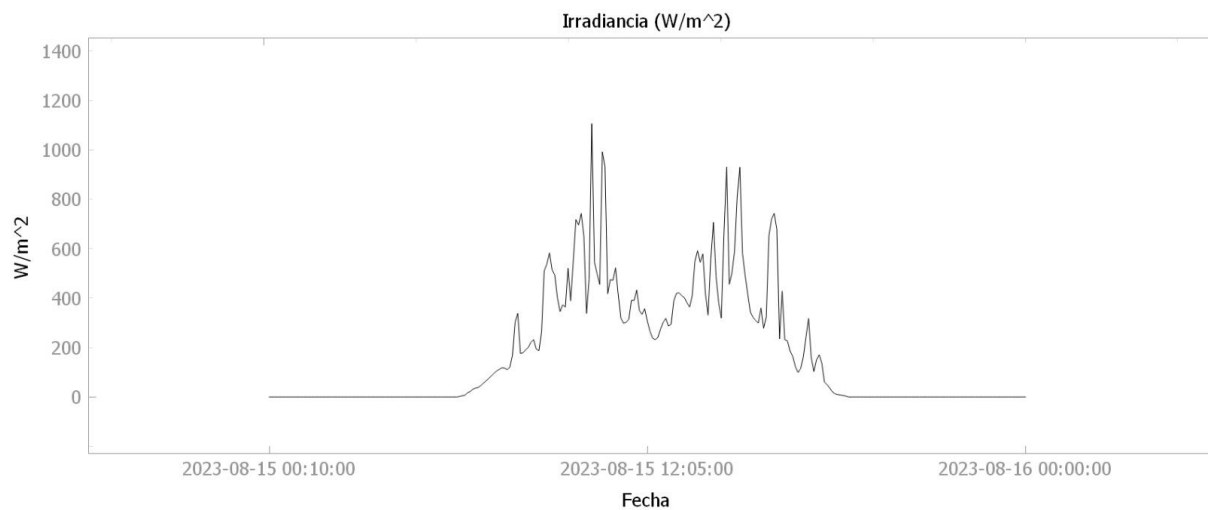
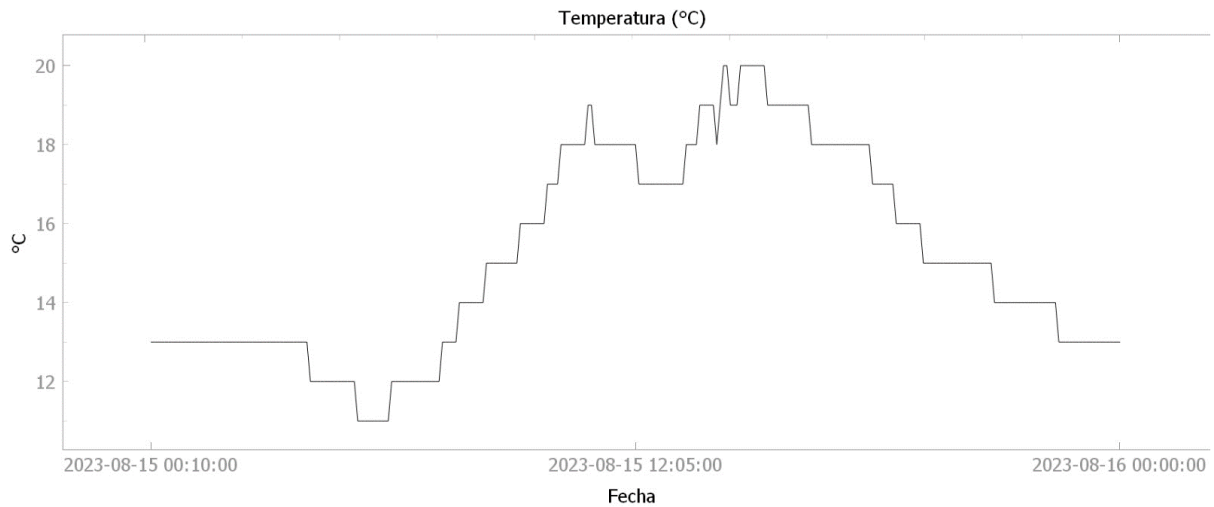


Figura 10. Gráfica de temperatura datos tomados en la Universidad Cesmag el día 2023-08-15



4.2.2 Desarrollo de base de datos

Para la implementación y construcción de la base de datos se optó por emplear la plataforma HeidiSQL, la cual se encuentra integrada dentro de la aplicación Laragon. Esta elección se basa en su capacidad para gestionar eficientemente bases de datos y su compatibilidad con el lenguaje estructurado de consultas SQL. HeidiSQL provee una interfaz de usuario amigable que facilita la administración y manipulación de datos, permitiendo la creación y mantenimiento de tablas, la definición de relaciones entre datos, y la ejecución de consultas SQL para la recuperación y manipulación de la información almacenada en la base de datos. Al estar incorporado en la suite Laragon, esta combinación proporciona un entorno unificado para el desarrollo y despliegue de la aplicación, permitiendo una gestión integral desde la base de datos hasta la interfaz de usuario.

En el diseño de la base de datos, se llevaron a cabo la creación y configuración de cuatro tablas distintas, cada una desempeñando un papel específico en el almacenamiento y organización de los datos:

- Tabla 1 "datos_sensores", juega un papel central al contener un conjunto de treinta y ocho columnas. En su estructura, las primeras diecisiete columnas se dedican a guardar los datos capturados por los sensores enlazados al Arduino. Por otro lado, las columnas restantes tienen la función de conservar los datos resultantes de los cálculos realizados en la fase de procesamiento mediante Python. Este conjunto de datos, obtenido por el Arduino y procesado en Python, se actualiza en intervalos de cinco minutos, reflejando la frecuencia de las mediciones. Además de estas medidas específicas, la tabla incorpora dos columnas

adicionales: una destinada a la asignación de un identificador único (ID) para cada conjunto de datos y otra para almacenar la información correspondiente a la zona horaria, registrando la fecha y hora exacta de cada medición. Estas dos columnas auxiliares tienen la finalidad de facilitar un seguimiento preciso y una organización ordenada de los datos, contribuyendo así a la funcionalidad y eficacia general del sistema de almacenamiento.

- Tabla 2 “priorización”, desempeña un papel fundamental en la presentación de información visualizada por el usuario a través de la interfaz gráfica. Dentro de esta tabla se almacenan datos cruciales para la interacción del usuario con el sistema. Entre estos datos se incluye información relevante acerca del uso asignado a cada carga eléctrica, junto con los nombres identificativos correspondientes a cada una de ellas. Abarca la implementación de decisiones esenciales que el usuario debe tomar. Estas decisiones, que se refieren a la elección entre utilizar la red eléctrica convencional o aprovechar la energía proporcionada por el sistema fotovoltaico, se encuentran registradas en esta tabla. De esta manera, la tabla "priorización" actúa como una plataforma interactiva a través de la cual el usuario puede participar activamente en la operación del sistema. Esta interacción se lleva a cabo mediante la interfaz gráfica, lo que permite al usuario modificar y ajustar las condiciones y prioridades según sus necesidades y preferencias. En resumen, esta tabla es el vínculo principal entre el usuario y el sistema, proporcionando una forma intuitiva y accesible para la administración de la asignación de cargas y la toma de decisiones sobre la fuente de energía a utilizar.

- Tabla 3 “relés”, esta tabla contiene los datos necesarios para gestionar el encendido y apagado de los actuadores, también conocidos como relés, los cuales constituyen los elementos responsables de suministrar energía a las cargas seleccionadas previamente por el usuario. Por lo tanto, esta tabla sirve como una interfaz virtual de control entre el usuario y los componentes físicos del sistema.

-Tabla 4 “users”, contiene los datos del usuario y la contraseña para cada persona.

4.2.3 Modelo de Entidad-Relación de la base de datos

Entidad: Objeto aquél que suministra información al sistema; principalmente usuario y cargas.

Entidades del sistema:

- Usuario: Contiene la información de los administradores.
- Priorización: Tiene como función almacenar los datos visibles y modificables por el usuario.

- Datos Sensores: Trabaja conteniendo la mayor parte de los datos obtenidos, para poder tratarlos y visualizarlos.

Atributos: Describen a las entidades y sus atributos

- Usuario:

Identificación

Usuario

Contraseña

- Priorización:

Identificación

Circuito

Nombre Circuito

Activación Red

Uso energía

Uso energía fotovoltaica

Uso energía Red eléctrica

Energía no suministrada

Encendido y apagado de relés

Id usuario

- Datos Sensores:

Identificación

Fecha

Corriente carga 1

Corriente carga 2

Corriente carga 3

Corriente carga 4

Corriente carga 5

Corriente carga 6

Corriente carga 7

Corriente carga 8

Irradiancia
 Temperatura
 Voltaje de Red
 Voltaje de Inversor
 Voltaje de Baterías
 Voltaje Fuente Fotovoltaica
 Corriente Red
 Corriente Inversor
 Corriente Fuente Fotovoltaica
 Potencia carga 1
 Potencia carga 2
 Potencia carga 3
 Potencia carga 4
 Potencia carga 5
 Potencia carga 6
 Potencia carga 7
 Potencia carga 8
 Potencia Red
 Potencia Inversor
 Potencia Baterías
 Potencia Fuente Fotovoltaica
 Energía no suministrada
 Identificación Prioridad

Tabla 3 Modelo de Entidad-Relación usuario priorización

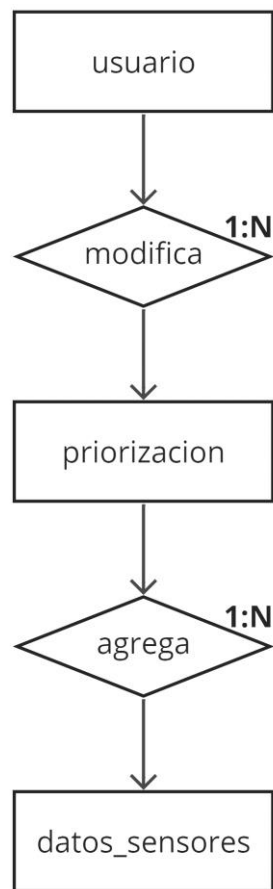
| ENTIDAD | RELACIÓN |
|---------|--------------|
| Usuario | Priorización |

Tabla 4 Modelo Entidad-Relación Priorización-Sensores

| ENTIDAD | RELACIÓN |
|--------------|----------------|
| Priorización | Datos Sensores |

Tabla 5 Cardinal Sistema de priorización

| ENTIDAD | C | RELACIÓN | C | ENTIDAD |
|-----------|-----|-----------------|-----|-------------------|
| Usuario | 1:N | N:1 Agrega | 1:1 | Prioridad |
| Prioridad | 1:N | N:1 Modifica | 1:1 | Datos Sensores |

Figura 11 Gráfico de Entidad-Relación del sistema de priorización

Campos sistemas de priorización

- usuario (id, usuario, contraseña)
- priorización (id, circuito, nombre, activRed, uso, usoFv, usoRed, noSum, rele, userid)
- datos_sensores (id, I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, G, T, VR, VI, VB, VF, IR, II, IF, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, PR, PI, PB, PF, noSum, prioid)

Figura 12 Diagrama relacional



4.2.3.1 Diccionario de datos del sistema de priorización

El diccionario de datos proporciona una descripción detallada sobre las tablas que conforman la base de datos del software, cada tabla incluye información sobre el tipo de dato que se almacena en cada campo, la longitud máxima, las llaves primarias y foráneas y una descripción breve sobre la aplicación respectiva dentro del sistema.

En la tabla 6 se registran datos de identificación, como la identificación del usuario, su nombre y contraseña. La tabla 7 almacena información sobre circuitos físicos, sus nombres, permisos de activación de red, uso de energía y otras métricas relacionadas, vinculando cada entrada al usuario correspondiente. La tabla 8 recopila datos de sensores, como corrientes, voltajes, temperaturas y potencias, junto con marcas de tiempo que permiten un seguimiento detallado del rendimiento eléctrico.

Tabla 6. Tabla de usuario

| CAMPO | TIPO | LONGITUD | VALIDACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---------|----------|------------------------------------------------------|----------------------------|
| id | INT | 10 | Llave primaria Auto incremental Obligatoria | Identificación del usuario |
| usuario | VARCHAR | 75 | Obligatoria | Nombre del usuario |
| contraseña | VARCHAR | 75 | Obligatoria | Contraseña del usuario |

Tabla 7. Tabla de priorización

| CAMPO | TIPO | LONGITUD | VALIDACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|----------|------|----------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| id | INT | 10 | Llave primaria Auto incremental Obligatoria | Identificación de la prioridad |
| circuito | INT | 10 | Obligatoria | Circuito físico (n) |
| nombre | CHAR | 50 | Obligatoria | Nombre del circuito |
| activRed | BIT | 1 | Obligatoria | Permiso de activación de la red |
| uso | INT | 10 | Obligatoria | Uso de la red ingresado por el usuario |
| usoFv | INT | 10 | Obligatoria | Uso real de la fuente fotovoltaica por parte de la carga |

| | | | | |
|--------|-----|----|------------------------------|----------------------------------------------------|
| usoRed | INT | 10 | Obligatoria | Uso real de la red eléctrica por parte de la carga |
| noSum | INT | 10 | Obligatoria | Energía no suministrada a la carga |
| rele | BIT | 1 | Obligatoria | Encendido o apagado real de los relés |
| userid | INT | 10 | Obligatoria Llave foranea | Id del usuario al que corresponde el cambio |

Tabla 8. Tabla datos sensores

| CAMPO | TIPO | LONGITUD | VALIDACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|--------------|-------------|-----------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|
| Id | INT | 10 | Llave primaria Auto incremental Obligatoria | Identificación de dato |
| fecha | DATETIME | | | Fecha de los datos |
| I1 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 1 |
| I2 | FLOAT | 8,4 | Obligatoria | Consumo de corriente de la carga 2 |
| I3 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 3 |
| I4 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 4 |
| I5 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 5 |
| I6 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 6 |
| I7 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 7 |
| I8 | FLOAT | 8,4 | | Consumo de corriente de la carga 8 |
| G | INT | 10 | | Irradiancia recibida |

| | | | |
|----|-------|-----|-------------------------------------|
| R | INT | 10 | Temperatura recibida |
| VR | INT | 10 | Voltaje de la red |
| VI | INT | 10 | Voltaje del inversor |
| VB | INT | 10 | Voltaje de baterías |
| VF | INT | 10 | Voltaje de la fuente fotovoltaica |
| IR | FLOAT | 8,4 | Corriente de la red |
| II | FLOAT | 8,4 | Corriente del inversor |
| IF | FLOAT | 8,4 | Corriente de la fuente fotovoltaica |
| P1 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 1 |
| P2 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 2 |
| P3 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 3 |
| P4 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 4 |
| P5 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 5 |
| P6 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 6 |
| P7 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 7 |
| P8 | INT | 10 | Consumo de potencia de la carga 8 |
| PR | INT | 10 | Potencia de la red |
| PI | INT | 10 | Potencia del inversor |
| PB | INT | 10 | Potencia de la batería |
| PF | INT | 10 | Potencia de la fuente fotovoltaica |

| | | | | |
|--------|-----|----|----------------------------|-------------------------|
| noSum | INT | 10 | | Energía no suministrada |
| prioid | INT | 10 | Sin signo Llave foranea | id de la prioridad |

4.2.4 Conexión base de datos con Python

La conexión de Python con la base de datos MySQL se realizó utilizando la librería "mysql-connector". Gracias a esta librería, se estableció una comunicación efectiva con la base de datos y realizar las operaciones esenciales CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar). Estas operaciones son fundamentales para administrar la base de datos de manera eficiente y garantizar un manejo adecuado de la información.

La integración de Python con la base de datos MySQL mediante la librería "mysql-connector" garantiza que los datos estén organizados, actualizados y disponibles según las necesidades del usuario. En términos generales, esta integración se gestiona a través de un código principal llamado "main.py," que se encarga de manejar diversas operaciones, como el envío, recepción, almacenamiento y manipulación de datos. Para lograr esta funcionalidad, se utiliza una organización de códigos secundarios.

El flujo de trabajo comienza con el "main.py," que se conecta a la base de datos, luego, hace un llamado al código "datos.py," que se encarga de recibir los datos enviados por la placa Arduino, procesarlos y almacenarlos en la base de datos. Una vez que esta tarea se completa, el "datos.py" llama al código "reglas.py. Al finalizar su ejecución, "reglas.py" devuelve los datos necesarios para la organización del sistema y la visualización de los datos en la interfaz de usuario.

4.2.5 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario, implementada utilizando la librería PyQt5, proporciona una vista clara y amigable de los circuitos eléctricos disponibles y las opciones para establecer sus prioridades de energización y seleccionar la fuente de energía preferida que el usuario quiera utilizar para cada circuito, es decir, si el usuario desea activar o no la red eléctrica si no hay la energía suficiente de la fuente fotovoltaica.

La interfaz gráfica está dividida por secciones:

- Inicio: se visualiza gráficas en tiempo real de irradiancia, temperatura y la potencia generada, por medio de sensores que van directamente conectados al software para el registro y los datos obtenidos se guardan cada cinco minutos en la base de datos del sistema.

- **Priorización:** en la sección de priorización se encuentra las cargas a las cuales el sistema va a priorizar, se podrá observar que circuitos se encuentran con la prioridad seleccionada por el usuario, si se les asigna la red eléctrica y se visualizan en tiempo real que circuito está en funcionamiento ya sea con la fuente fotovoltaica o con la red eléctrica, y los circuitos que se encuentran apagados. También se observa el consumo de cada circuito.

- **Consumo:** en esta sección se encuentra gráficamente la representación de la fuente de energía que está siendo utilizada para cada circuito, es decir cómo se observa en la figura X, en el intervalo de las veinticuatro horas del día se lleva el registro del uso de energía fotovoltaica o red eléctrica según la hora en que se encuentre.

4.2.6 Interfaz gráfica del sistema de priorización de cargas

El sistema de visualización de datos fue meticulosamente desarrollado utilizando la aplicación Qt Designer, una herramienta sumamente versátil que brinda la capacidad de crear interfaces de usuario de manera altamente interactiva. Esta aplicación no solamente permite la confección visual de la interfaz, sino que además automatiza la generación de código en el formato .ui, el cual encapsula de manera precisa y estructurada los diversos elementos que componen la interfaz, tales como botones, ventanas, marcos y una amplia gama de herramientas adicionales.

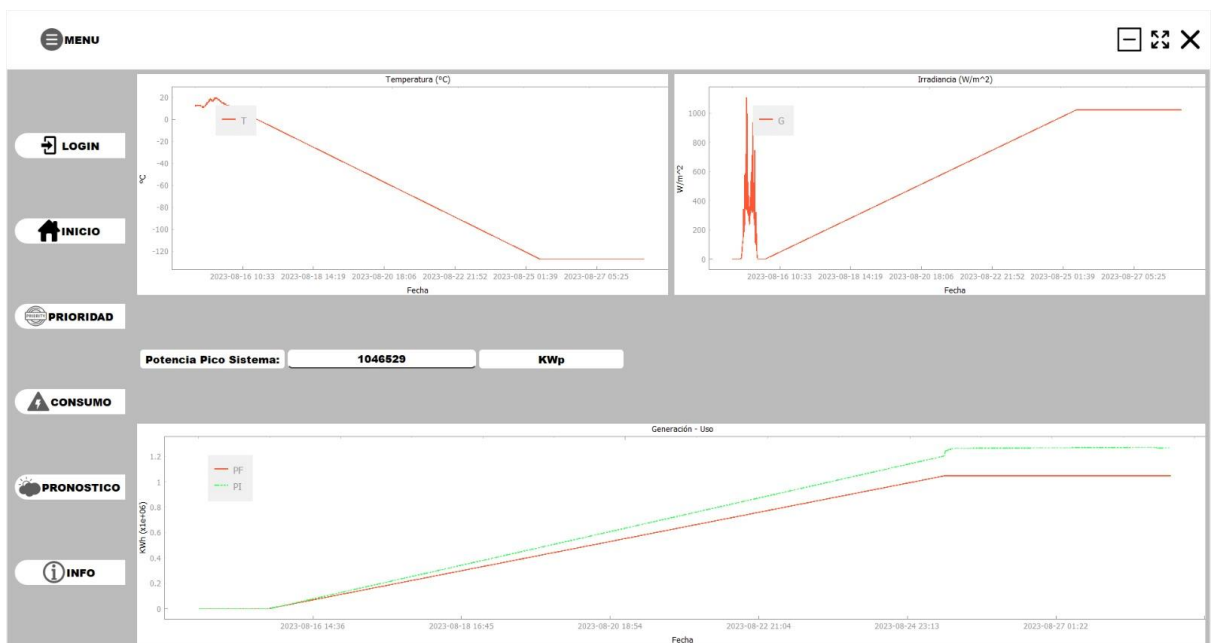
Una vez que se ha generado el código .ui, este es convertido en código de formato .py (Python), lo cual permite su integración en el esqueleto principal del proyecto, representado por el archivo main.py. A partir de este punto, entra en juego el lenguaje de programación Python, permitiendo llevar a cabo una manipulación y organización hábil de los elementos de la interfaz. El resultado es una interfaz de usuario cuidadosamente organizada, donde los objetos se disponen y gestionan de manera estratégica para lograr una experiencia intuitiva y amigable para cualquier tipo de usuario, independientemente de su nivel de destreza tecnológica. En última instancia, esta meticulosa sinergia entre Qt Designer y Python da como resultado un entorno visual que no solo es funcional y eficiente, sino también altamente accesible de utilizar.

La comunicación entre Python y el hardware de toma de datos de sensores mediante Arduino fue establecida gracias al uso librería Pyserial. Esta librería posibilita que Python se conecte con el puerto serial "COM(n)" que Arduino utiliza para transmitir información. Con la ayuda de Pyserial, Python puede observar los mensajes enviados por Arduino a través de sus sensores, por medio de un formato tipo JSON que convierte los datos en un tipo de

formato conocido como "string" (cadena de caracteres), el cual se encarga de empaquetar la información de manera comprensible. Estas cadenas de caracteres son entonces enviadas nuevamente a través del puerto serial, permitiendo la bidireccionalidad en la comunicación: tanto recibir como transmitir datos. Este enlace bidireccional permite que ambos lados, Python y Arduino, participen activamente en la comunicación, partiendo información y colaborando de manera eficiente para lograr tareas específicas.

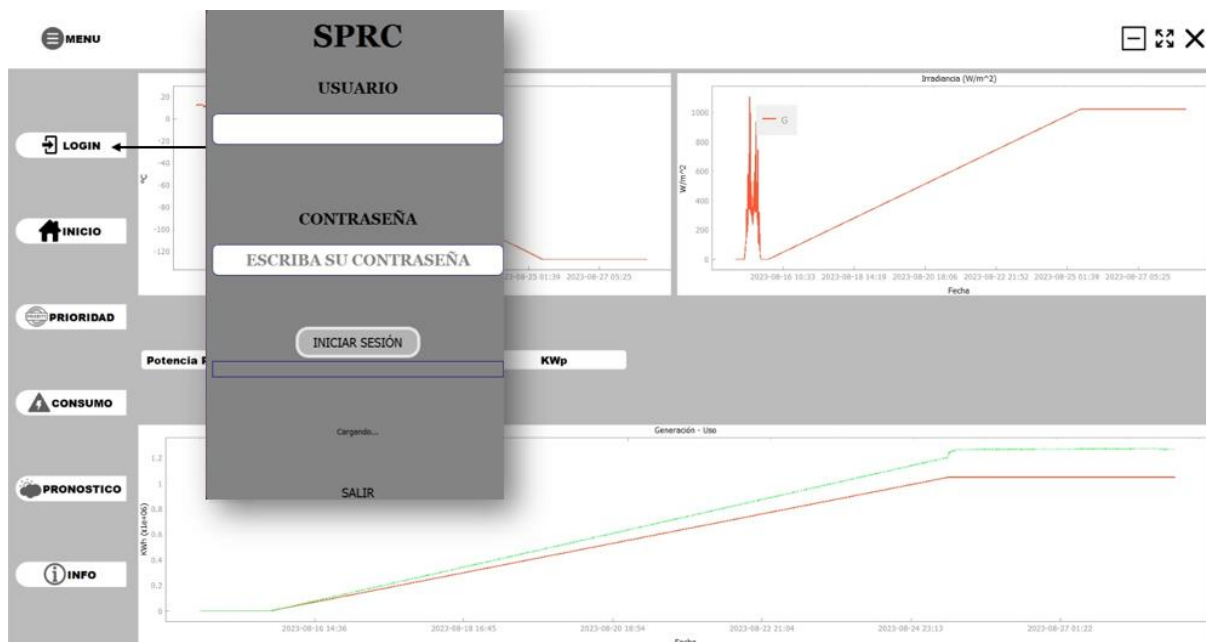
La comunicación entre el usuario y la interfaz se estableció a través de una aplicación ejecutable con extensión .EXE, lo que habilita su instalación en diversos computadores. Una vez concluido el proceso de instalación, el acceso a la interfaz es posible, y al acceder, se visualiza la página de inicio tal y como se detalla en la Figura 13. En esta primera pantalla, se despliega el núcleo central del sistema, presentando información sobre el sistema como lo es la generación por parte de la fuente fotovoltaica y el consumo de energía por parte de las cargas que fue unificado como el consumo total, esto en conjunto a gráficas correspondientes a las variables de irradiancia (G), temperatura (T) y potencia consumida por las cargas (PI - verde) junto a la potencia generada por la fuente fotovoltaica (PF- roja). Además de estas gráficas, se encuentra una serie de pestañas interactivas, cada una con un propósito específico, que los usuarios pueden seleccionar para acceder a diferentes funciones y características del sistema.

Figura 13 *Página principal del sistema de priorización de cargas sin inicio de sesión*



A esta interfaz de inicio tienen acceso tanto usuarios registrados como no registrados, es decir que es de uso general, aunque sin posibilidad de interacción. Para habilitar un acceso más completo y seguro al software, se ha diseñado un sistema de inicio de sesión que requiere la introducción de un nombre de usuario y una contraseña. Este proceso se realiza a través de una ventana designada como "Login", donde se presenta un campo para ingresar estas credenciales. Al completar esta información y proceder, se abre una nueva ventana que gestiona el proceso de inicio de sesión (Figura 14). Una vez autenticado, se desbloquea el acceso a las distintas funciones y capacidades del sistema, permitiendo al usuario explorar y utilizar todas las características disponibles de manera protegida y personalizada.

Figura 14 Login, inicio sesión



Una vez que se ha completado exitosamente el proceso de inicio de sesión del usuario, se regresa a la página de inicio donde las gráficas relacionadas con la irradiancia (G), temperatura (T) y potencia (P) son presentadas nuevamente. En esta etapa, estas gráficas se mantienen en un constante estado de monitoreo, lo que posibilita una interacción más profunda y precisa con los datos. Por ejemplo, es factible llevar a cabo un análisis minucioso al acercarse a las gráficas y visualizar cada punto correspondiente a cada minuto en el cual se tomó una medición. Este nivel de detalle puede resultar crucial en situaciones donde se requiere un examen a profundidad de los datos o cuando surge una falla en el sistema. Además de esta capacidad de acercamiento, es posible buscar y recuperar datos específicos en función de fechas y horas, lo que permite un acceso rápido y eficiente a información

pasada. Asimismo, se ha integrado la funcionalidad de importar y exportar gráficas, facilitando la transferencia de datos y posibilitando un análisis más profundo a través de herramientas externas si es necesario. En conjunto, estas características enriquecen la experiencia del usuario al brindar un mayor control y análisis de los datos recopilados en el sistema.

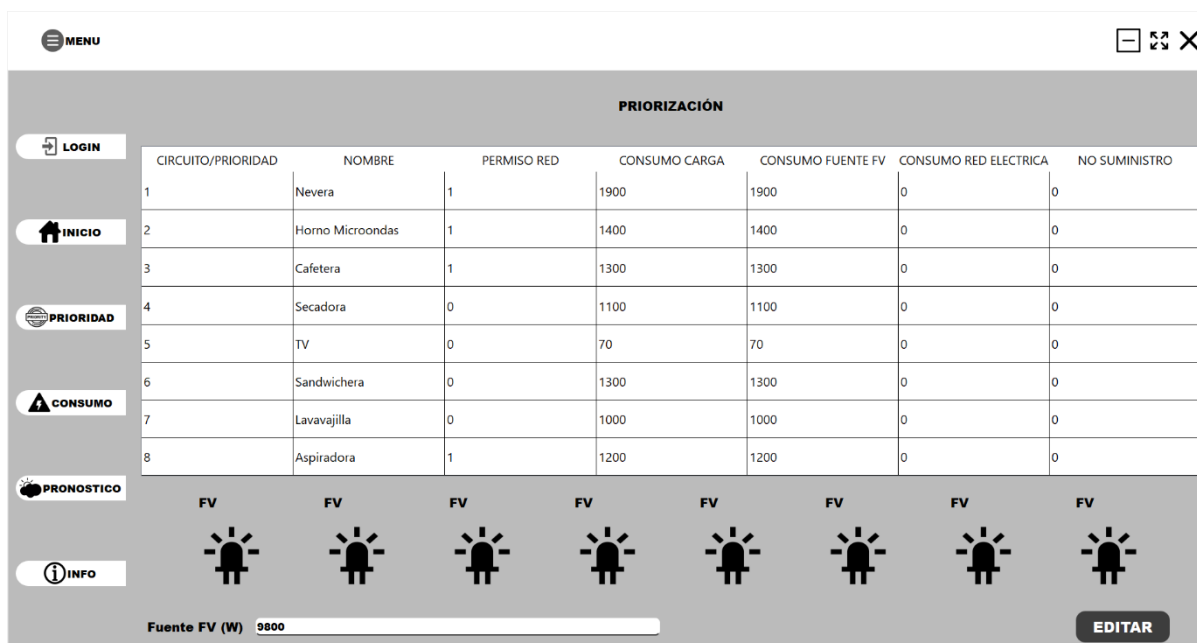
Continuando hacia la pestaña de "Prioridad", se encuentra una tabla específica destinada a gestionar las prioridades en el sistema. En esta sección, los usuarios tienen la capacidad de agregar una carga asignada a una prioridad dada, al igual que modificar el nombre correspondiente a ese circuito en la columna "NOMBRE" y el consumo que debería tener la carga conectada al mismo en la columna "CONSUMO".

El usuario podrá modificar la columna de nombre "PERMISO RED" para aprobar o rechazar el uso de la red eléctrica domestica para su respectivo circuito, esta elección debe ser realizada para cada circuito, esto con la necesidad de calcular e informar al usuario si se está entregando la energía designada o en un caso contrario entregando una energía inferior o superior a la que fue introducida por el usuario.

El proceso se inicia al seleccionar el campo a modificar, tal y como se indica en la Figura 15, y una vez realizado este paso, se permite ajustar los parámetros requeridos directamente dentro de la tabla, cuando los cambios pertinentes se han completado, se debe presionar el botón "EDITAR" que guarda los datos modificados y los envía actualizando la base de datos. Además de esta funcionalidad, esta sección permite un análisis del consumo generado por cada carga en función de su prioridad, ofreciendo una visión ordenada de cómo se está distribuyendo el suministro energético.

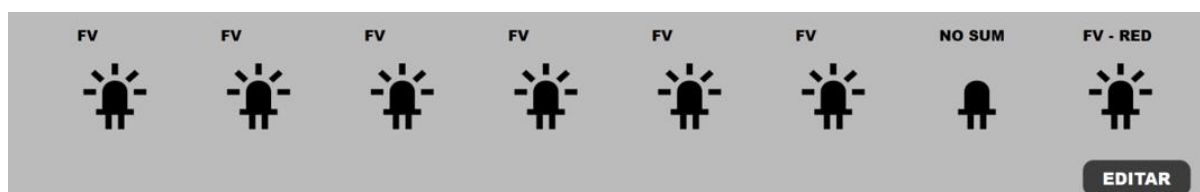
Esto se consigue al mostrar el consumo que tiene la carga (n) sobre la fuente fotovoltaica (USO FV) y sobre la red eléctrica domestica (USO RED), también permite visualizar cuanta energía no se está suministrando en este momento a su circuito correspondiente (SIN SUMINISTRAR).

Figura 15 Prioridad, selección de prioridad y ajustes



Los indicadores visibles en la parte inferior, tal como se muestra en la Figura 16, representan la fuente de energía que está siendo suministrada a cada carga, siguiendo un orden secuencial desde uno hasta ocho. En casos en los que no haya suministro, el indicador correspondiente reflejará dicho estado, señalando que la carga se encuentra apagada. Este conjunto de funcionalidades en la pestaña de prioridad proporciona a los usuarios un control detallado sobre la asignación de energía y la gestión de las cargas, contribuyendo a una administración más eficiente y personalizada de los recursos energéticos disponibles.

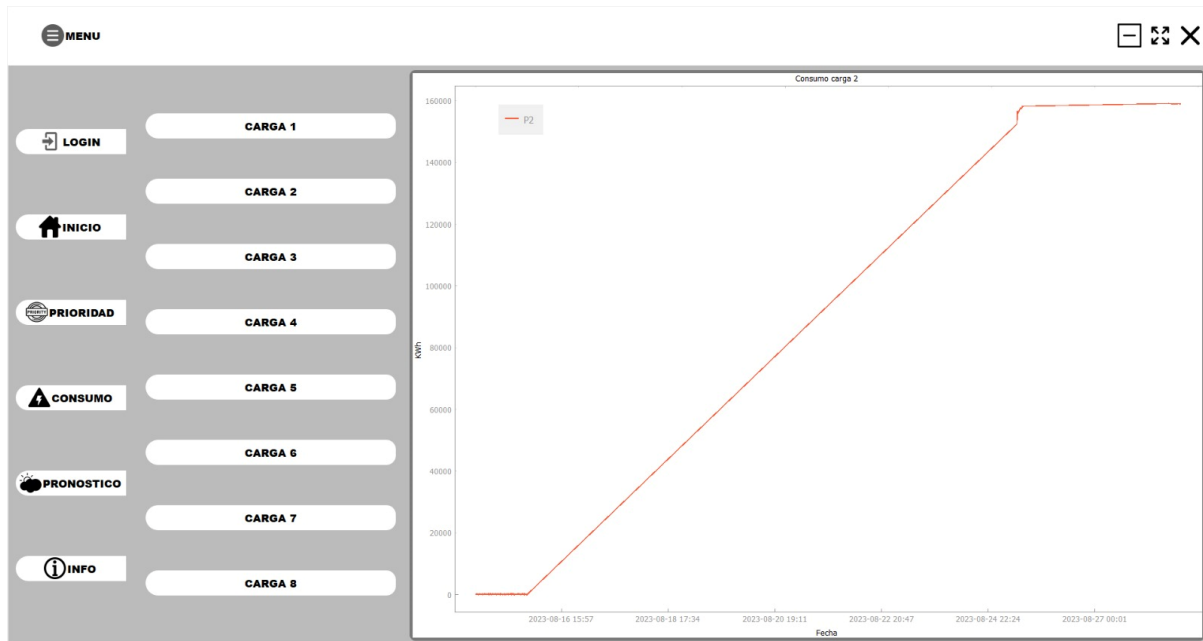
Figura 16 Indicadores de fuente de energía



En la sección de "consumo," se proporciona información sobre el consumo de energía de cada una de las cargas a través de una gráfica, como se ilustra en la Figura 17. En esta gráfica, se presenta el consumo de energía registrado en intervalos de cinco minutos, actualizado de acuerdo con la zona horaria. Esta visualización está disponible para cada una de las ocho cargas y sirve como una herramienta eficaz para el seguimiento y control detallado de las cargas eléctricas.

Además, se ofrece la opción de acercar y ampliar cada gráfica individualmente, lo que permite examinar con mayor detalle cualquier aspecto específico de la información presentada en la gráfica. Asimismo, se brinda la capacidad de exportar estas gráficas en formatos PDF o JPG, lo que facilita su almacenamiento y posterior referencia.

Figura 17 Consumo, representación por cada carga



En la pestaña de "pronóstico," se realiza un seguimiento de datos históricos obtenidos a través de los sensores, así como la disponibilidad de las fuentes de energía. Estos datos históricos se utilizan para generar un pronóstico que permite visualizar el comportamiento futuro de las fuentes de energía y la priorización de las cargas. Esto brinda a los usuarios la capacidad de anticipar cuándo habrá una mayor disponibilidad de energía y cuándo podrían surgir déficits en el suministro.

El pronóstico se representa en la Figura 18 mediante dos gráficas que se generan en función de los datos recopilados en la base de datos. Estas gráficas se actualizan cada vez que entra un dato a la base de datos, lo que permite mantener un registro histórico con el gráfico "Histórico" que proporciona los datos de potencia de la red (PR), potencia de la fuente fotovoltaica (PF) y la energía no suministrada al sistema, y con ello ofrecer una vista hacia el futuro del comportamiento de las fuentes de energía en el gráfico "Pronóstico" que contiene los mismos datos del gráfico de datos históricos también permite la visualización de datos futuros, (en vista de que el sistema es un prototipo, dicha funcionalidad será agregada en una futura versión del proyecto). Esta información es valiosa para que los usuarios tomen

decisiones informadas y se ajusten a los cambios previstos, siempre respetando el orden de prioridad establecido para las cargas eléctricas.

Figura 18 Pronostico del sistema



En la sección de "información," los usuarios pueden acceder a detalles relacionados con los creadores del sistema, así como información relevante sobre la investigación y el desarrollo del software. También se proporcionan datos de contacto para facilitar la comunicación con el equipo detrás del sistema. Esta sección brinda transparencia y la oportunidad de obtener información adicional sobre el origen y el soporte del sistema, lo que puede ser útil para los usuarios que deseen conocer más acerca de la plataforma y sus creadores Figura 19.

Figura 19 Información del software



5. Análisis de resultados

En el sistema de priorización de cargas de un sistema fotovoltaico, se llevó a cabo una experimentación directa con el objetivo de evaluar su eficacia. La investigación tenía como objetivo principal lograr una tasa de respuesta del cien por ciento en la entrega de la priorización de las cargas, cumpliendo de manera satisfactoria con el algoritmo previamente diseñado conforme a reglas predefinidas.

De esta manera, se realizaron pruebas específicas que permitieron analizar minuciosamente el desempeño del sistema. Estas pruebas tenían como finalidad determinar si el sistema estaba operando de manera eficaz en la asignación de prioridades a las cargas conectadas al sistema fotovoltaico. Cada prueba se llevó a cabo de acuerdo con el algoritmo establecido y las reglas previamente definidas, con el fin de verificar si se alcanzaba la respuesta deseada del cien por ciento en la priorización de las cargas.

5.1 Evaluación del sistema

Con el propósito de evaluar la eficacia del sistema, se llevaron a cabo pruebas prácticas que involucraron únicamente la utilización del software desarrollado sin hacer uso de hardware. Estas pruebas consistieron en proporcionar el software a un grupo de cuatro individuos con el fin de que llevaran a cabo su utilización y realizaran modificaciones en la plataforma. A los participantes se les solicitó que ingresaran las cargas eléctricas que deseaban beneficiar a través del software, otorgándoles la libertad de definir las prioridades correspondientes.

Para facilitar este proceso, se suministró a los participantes una lista de electrodomésticos, junto con sus respectivos consumos en vatios. Esto permitió a los usuarios organizar las cargas eléctricas en un orden jerárquico de acuerdo a sus preferencias y necesidades específicas. De esta manera, tenían la capacidad de asignar prioridades a las cargas eléctricas según su criterio y considerando sus requerimientos individuales.

Con los cambios generados por el usuario se hizo correr el programa utilizando los datos ingresados por el usuario, con esos datos el software calculó los consumos y las necesidades de potencia para cada carga y arrojó un resultado en el que se encendían y apagaban los indicadores dentro del software asignados a cada carga

Como resultado cada uno de los individuos ingresaron los datos, y se realizó el análisis en base a la energía que se generó de la fuente fotovoltaica. Se evaluaron los tres casos posibles cuando la energía es mayor, igual y menor.

5.1.1 Sujeto uno

5.1.1.1 Prueba uno

Para el sujeto uno, el proceso de ingreso de las cargas se basa en sus prioridades, tal como se ilustra en la Tabla 9. También se puede observar cómo decide qué circuito activar en la red eléctrica.

Tabla 9 Prioridad y uso de la red del sujeto uno

| Circuito | Nombre | Consumo(W) | Permiso de la red |
|----------|------------|------------|-------------------|
| 1 | Cafetera | 800 | Si |
| 2 | Microondas | 1200 | No |
| 3 | Lavadora | 2000 | Si |
| 4 | Secadora | 1800 | No |
| 5 | Nevera | 140 | Si |
| 6 | Lavaplatos | 1150 | Si |
| 7 | Tv | 170 | No |
| 8 | Computador | 400 | Si |

Para la prueba número uno la generación de la energía solar alcanza los 3000W, y se nota que el consumo total de energía de todas las cargas asciende a 7.660W. Esto indica que el panel fotovoltaico no es capaz de abastecer todas las cargas por sí solo. En consecuencia, el sistema de priorización de cargas actúa como se indica en la Figura 20, en donde primero se procede a alimentar las dos primeras cargas con energía fotovoltaica, mientras que la tercera carga comparte el suministro con la red comercial, dividiendo la carga de 1000W entre la fuente fotovoltaica y la red comercial. La cuarta carga, al no contar con la opción de suministro desde la red comercial, se mantiene apagada. Las cargas subsiguientes funcionarán de acuerdo a la elección del usuario en cuanto a utilizar o no la red comercial.

Figura 20 Sujeto 1: prueba del software con 3000W

| CIRCUITO | NOMBRE | PERMISO RED | CONSUMO CARGA | CONSUMO FUENTE FV | CONSUMO RED ELECTRICA | NO SUMINISTRO |
|----------|------------------|-------------|---------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | Cafetera | 1 | 800 | 800 | 0 | 0 |
| 2 | Horno Microondas | 0 | 1200 | 1200 | 0 | 0 |
| 3 | Lavadora | 1 | 2000 | 1000 | 1000 | 0 |
| 4 | Secadora | 0 | 1800 | 0 | 0 | 1800 |
| 5 | Nevera | 1 | 140 | 0 | 140 | 0 |
| 6 | Lavavajillas | 1 | 1150 | 0 | 1150 | 0 |
| 7 | Televisión | 0 | 170 | 0 | 0 | 170 |
| 8 | Computador | 1 | 400 | 0 | 400 | 0 |

FV FV FV - RED NO SUM RED RED NO SUM RED

Fuente FV (W) 3000

EDITAR

5.1.1.2 Prueba dos

La prueba dos del sistema se llevó a cabo utilizando una potencia de 6000 vatios, como se puede apreciar en la Figura 21. A diferencia de la prueba anterior, en la que la carga número seis se alimentó únicamente desde la red eléctrica, en esta ocasión se utilizó tanto la energía fotovoltaica como la red eléctrica para dicha carga. En cuanto a la carga número siete, al no disponer de acceso a la red eléctrica, no se suministró energía para esta carga en particular. Es importante destacar que la energía fotovoltaica se entregó de manera efectiva a la mayoría de las cargas, lo que demuestra la eficacia del sistema en esta prueba.

Figura 21 Prueba dos: 6000W

| CIRCUITO | NOMBRE | PERMISO RED | CONSUMO CARGA | CONSUMO FUENTE FV | CONSUMO RED ELECTRICA | NO SUMINISTRO |
|----------|------------------|-------------|---------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | Cafetera | 1 | 800 | 800 | 0 | 0 |
| 2 | Horno Microondas | 0 | 1200 | 1200 | 0 | 0 |
| 3 | Lavadora | 1 | 2000 | 2000 | 0 | 0 |
| 4 | Secadora | 0 | 1800 | 1800 | 0 | 1800 |
| 5 | Nevera | 1 | 140 | 140 | 0 | 0 |
| 6 | Lavavajillas | 1 | 1150 | 60 | 1090 | 0 |
| 7 | Televisión | 0 | 170 | 0 | 0 | 170 |
| 8 | Computador | 1 | 400 | 0 | 400 | 0 |

Fuente FV (W) **6000**

5.1.1.3 Prueba tres

En la tercera prueba, se utilizó una potencia de 8000W. En la Figura 22, se observa que, al disponer de más de 7600W de energía fotovoltaica, todas las cargas se alimentaron exclusivamente con esta fuente de energía, prescindiendo de la red eléctrica comercial. Además, en esta situación se registró un excedente de 400W de energía, que se almacenó en la batería del sistema para su posterior uso o respaldo. Esta prueba demuestra la capacidad del sistema para proporcionar energía de manera autónoma y eficiente en condiciones de alta disponibilidad de energía solar.

Figura 22 Prueba tres: 8000W

| CIRCUITO | NOMBRE | PERMISO RED | CONSUMO CARGA | CONSUMO FUENTE FV | CONSUMO RED ELECTRICA | NO SUMINISTRO |
|----------|------------------|-------------|---------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | Cafetera | 1 | 800 | 800 | 0 | 0 |
| 2 | Horno Microondas | 0 | 1200 | 1200 | 0 | 0 |
| 3 | Lavadora | 1 | 2000 | 2000 | 0 | 0 |
| 4 | Secadora | 0 | 1800 | 1800 | 0 | 0 |
| 5 | Nevera | 1 | 140 | 140 | 0 | 0 |
| 6 | Lavavajillas | 1 | 1150 | 1150 | 0 | 0 |
| 7 | Televisión | 0 | 170 | 170 | 0 | 0 |
| 8 | Computador | 1 | 400 | 400 | 0 | 0 |

5.1.2 Sujeto dos

5.1.2.1 Prueba uno

Para el sujeto dos, se realizó el mismo procedimiento, el ingreso sus cargas y prioridades como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10 Prioridad y uso de red para el sujeto 2

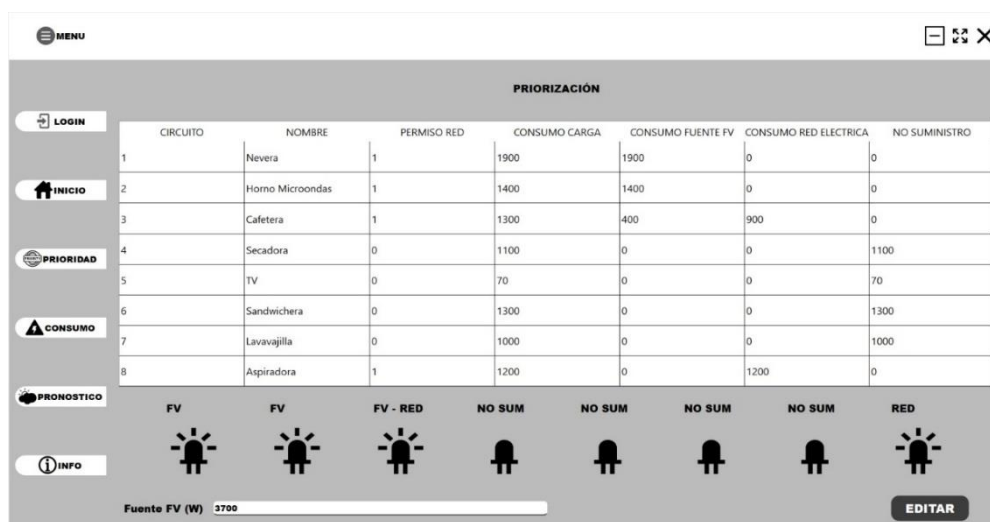
| Circuito | Nombre | Consumo(W) | Permiso de la red |
|----------|-------------|------------|-------------------|
| 1 | Nevera | 1900 | Si |
| 2 | Microondas | 1400 | Si |
| 3 | Cafetera | 1300 | Si |
| 4 | Secadora | 1100 | No |
| 5 | Tv | 70 | No |
| 6 | Sandwichera | 1300 | No |
| 7 | Lavavajilla | 1000 | No |
| 8 | Aspiradora | 1200 | Si |

En la Figura 23, se puede observar cómo la generación de la fuente fotovoltaica alcanza los 3700W, lo cual representa menos del 50% de la generación total necesaria para abastecer las cargas, que asciende a 9270W. Debido a esta insuficiencia, se recurre al uso de la red eléctrica comercial para suplir la demanda energética, siempre y cuando el usuario

haya tomado previamente la decisión de hacerlo. En caso contrario, las cargas permanecerán apagadas.

En la representación gráfica, se puede notar que solo cuatro de las ocho cargas están encendidas, lo que refleja la incapacidad del sistema fotovoltaico para satisfacer por completo las necesidades energéticas. No obstante, se debe destacar que el sistema sigue funcionando de acuerdo a las reglas de priorización, las cuales incluyen el respeto a la decisión del usuario en la administración de la energía. Por lo tanto, se puede concluir que, aunque no se alcance la plena capacidad de abastecimiento de las cargas, el sistema opera de manera correcta y en consonancia con las preferencias del usuario.

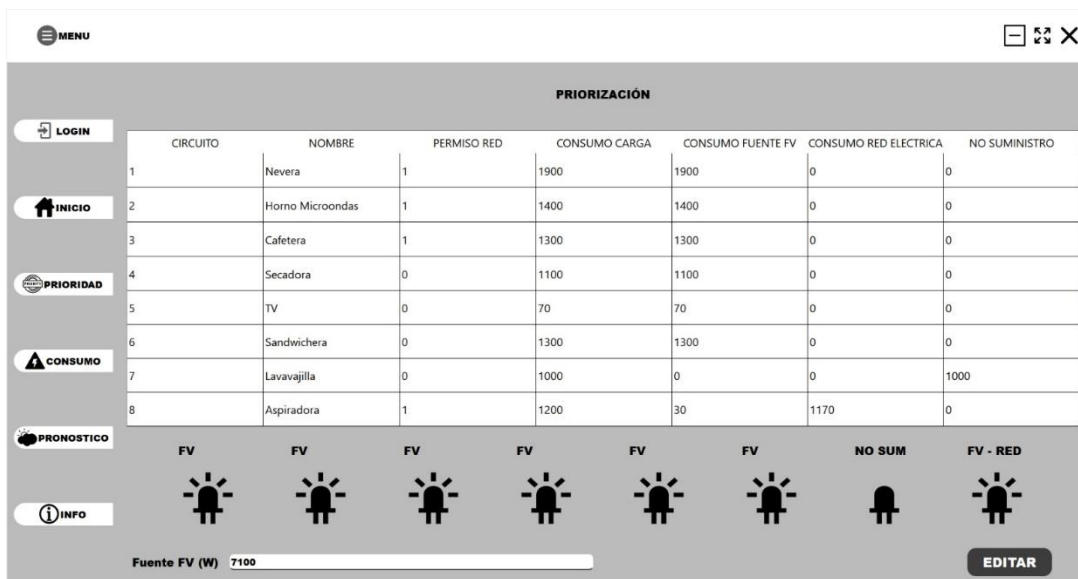
Figura 23 Prueba uno con 3700W



5.1.2.2 Prueba dos

En la prueba número dos, se registra una generación de la fuente fotovoltaica de 7100W. Aunque esta cantidad sigue siendo menor que el consumo total de las ocho cargas, cabe destacar que ahora abastece más del 50% de las cargas. En esta ocasión, solamente una carga se encuentra apagada, lo que indica una mejora significativa en la capacidad de satisfacer las necesidades energéticas de las cargas en comparación con la prueba anterior como se visualiza en la Figura 24. A pesar de que no se alcanza la capacidad total de abastecimiento, el hecho de que la mayoría de las cargas estén encendidas demuestra un progreso en la generación de energía a partir de la fuente fotovoltaica.

Figura 24 Prueba dos: 7100W



5.1.2.3 Prueba tres

En la prueba número tres, se generaron 9800W, marcando un pico máximo de energía, lo cual supera con creces el consumo total de las cargas. Este nivel de generación de energía permite satisfacer exitosamente todas las cargas que el usuario requiere, y además, se destaca que no hay pérdida de energía, ya que el exceso de energía es eficientemente almacenado en la batería, como se aprecia en la representación gráfica en la Figura 25.

En esta situación, el sistema demuestra funcionar de manera altamente eficaz en todos los casos de priorización de cargas, cumpliendo con las reglas previamente programadas de manera precisa. Este rendimiento es equivalente a la entrega del 100% de la capacidad del sistema, logrando así una gestión óptima de la energía y una total satisfacción de las necesidades energéticas del usuario. En resumen, se puede concluir que el sistema opera de manera eficiente y eficaz en esta prueba, proporcionando una solución energética completa y exitosa.

Figura 25 Prueba 3: 9800W

| | CIRCUITO | NOMBRE | PERMISO RED | CONSUMO CARGA | CONSUMO FUENTE FV | CONSUMO RED ELECTRICA | NO SUMINISTRO |
|---|----------|------------------|-------------|---------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | | Nevera | 1 | 1900 | 1900 | 0 | 0 |
| 2 | | Horno Microondas | 1 | 1400 | 1400 | 0 | 0 |
| 3 | | Cafetera | 1 | 1300 | 1300 | 0 | 0 |
| 4 | | Secadora | 0 | 1100 | 1100 | 0 | 0 |
| 5 | | TV | 0 | 70 | 70 | 0 | 0 |
| 6 | | Sandwichera | 0 | 1300 | 1300 | 0 | 0 |
| 7 | | Lavavajilla | 0 | 1000 | 1000 | 0 | 0 |
| 8 | | Aspiradora | 1 | 1200 | 1200 | 0 | 0 |

Fuente FV (W) 9800

5.2 Resultados de las pruebas

A través de la realización de seis pruebas con dos sujetos en diversas condiciones energéticas, se ha constatado que el sistema activa y desactiva los circuitos de manera precisa, cumpliendo rigurosamente con las reglas de priorización de cargas establecidas. Este hecho resalta la eficiencia y confiabilidad del sistema en la gestión de la energía en condiciones variables.

Un logro particularmente notable es que, en las pruebas llevadas a cabo con ocho cargas por sujeto en tres escenarios de energía diferentes, se obtuvo un suministro de energía con una eficacia del 100%. Este resultado pone de manifiesto la capacidad del sistema para mantener un suministro de energía ininterrumpido y efectivo en todas las situaciones, independientemente de las fluctuaciones en las condiciones energéticas.

$$n = \frac{Xo * 100\%}{Xi} \quad (9)$$

Donde:

n = eficacia del sistema

Xi = Condiciones de las cargas del usuario

Xo = Condiciones de las cargas distribuidas.

$$n = \frac{24 * 100\%}{24}$$
$$n = 100\%$$

Estos hallazgos respaldan de manera concluyente la eficacia y la robustez del sistema en su tarea fundamental de gestionar la energía y priorizar cargas de manera precisa. Así, se valida la viabilidad y la utilidad de esta tecnología en aplicaciones prácticas, abriendo la puerta a futuras implementaciones y desarrollos en el campo de la gestión de energía.

6. Conclusiones

Después del análisis y evaluación del software de priorización de cargas en función de las decisiones del usuario, así como de la gestión de la conexión y desconexión de circuitos en respuesta a la disponibilidad de energía de la fuente fotovoltaica, se llegó a las siguientes conclusiones:

Efectiva Priorización de Cargas: El software demostró ser un 100% eficaz en la priorización de cargas, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas sobre qué dispositivos o circuitos deben recibir energía en función de sus necesidades y preferencias. La capacidad de los usuarios para definir prioridades se tradujo en un mejor control sobre el consumo de energía, pues permite administrar eficientemente la energía fotovoltaica generada y en caso de que no sea prioritario el uso de la red comercial, entonces, simplemente el circuito vinculado a la red se desconecta.

Gestión Dinámica de Circuitos: La capacidad del software para gestionar la conexión y desconexión de circuitos en respuesta a la disponibilidad de energía de la fuente fotovoltaica funcionó de manera precisa y confiable. Esto contribuye a la optimización de la energía generada por paneles solares y permite la utilización eficiente de recursos energéticos.

En resumen, las pruebas y evaluaciones indican que el software de priorización de cargas basado en las decisiones del usuario, con capacidad para gestionar la conexión y desconexión de circuitos según la disponibilidad de energía de la fuente fotovoltaica, es una solución eficaz y confiable. Su capacidad para operar independientemente de la red eléctrica y su contribución a la eficiencia energética son ventajas clave que lo hacen valioso en aplicaciones de energía solar. Este software tiene el potencial de mejorar la gestión de energía en hogares y empresas, así como en instalaciones solares más amplias, contribuyendo a un uso más sostenible y eficiente de los recursos energéticos.

7. Recomendaciones

Utilizando el software presentado en este documento, desarrollar un proceso de optimización en el suministro energético basado en una función objetivo relacionado con la minimización en el costo mensual a pagar por consumo energético, teniendo en cuenta restricciones de prioridad de circuitos, disponibilidad de recurso entre otras.

El software planteado se encuentra desarrollado para ocho circuitos, sería importante escalarlo a un sistema sin limitaciones de circuitos, para que se anexen a él cualquier cantidad de cargas con diferentes prioridades.

Referencias

- Abari, E., Anderson, J., Canavero, F., Croda, T., El-Hawary, M., Hammerli, M., Lanzerotti, M., Malik, O., Nahavandi, S., Reeve, W., Samad, T., & Zobrist, G. (2011a). *Electricity*
- Abella, M. A., & Romero, F. C. (2017). Master en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. *Dimensionamiento De Sistemas Fotovoltaicos*, 1(1), 73.
- Cortés, S., & Arango, A. (2017). Energías renovables en Colombia : una aproximación desde la economía Renewable Energy in Colombia. *Revista Ciencias Estrategicas*, 25(38), 375–390.
- Hatziargyriou, N. (2014). *Microgrids: Architectures and Control* (Wiley-IEEE Press (ed.)).
- Hatziargyriou, N., Asano, H., Iravani, R., & Marnay, C. (2007). Microgrids. *IEEE Power and Energy Magazine*, 5(4), 78–94. <https://doi.org/10.1109/MPAE.2007.376583>
- Kim, J. G., Kim, D. H., Yoo, W. S., Lee, J. Y., & Kim, Y. B. (2017). Daily prediction of solar power generation based on weather forecast information in Korea. *IET Renewable Power Generation*, 11(10), 1268–1273. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2016.0698>
- Liu, X., Ivanescu, L., Kang, R., & Maier, M. (2012). Real-time household load priority scheduling algorithm based on prediction of renewable source availability. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(2), 318–326. <https://doi.org/10.1109/TCE.2012.6227429>
- Reyes, H. O., & Tolosa, O. L. (2017). *Algoritmo de Priorizacion de Cargas para un Sistema Residencial Automatizado Basado en una Microred Hibrida*. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6552>
- History - A Review and the Road Ahead*.
- Abari, E., Anderson, J., Canavero, F., Croda, T., El-Hawary, M., Hammerli, M., Lanzerotti, M., Malik, O., Nahavandi, S., Reeve, W., Samad, T., & Zobrist, G. (2011b). *Electricity*
- History - A Review and the Road Ahead*.
- Abella, M. A., & Romero, F. C. (2017). Master en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. *Dimensionamiento De Sistemas Fotovoltaicos*, 1(1), 73.
- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: A definition. *Electric Power Systems Research*, 57(3), 195–204. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00101-8)

- Alvarado Ladron de Guevara, J. (2018). *Diseño y Cálculo de una instalacion fotovoltaica aislada*. 90.
- Awais, M., Javaid, N., Shaheen, N., Iqbal, Z., Rehman, G., Muhammad, K., & Ahmad, I. (2015). An efficient genetic algorithm based demand side management scheme for smart grid. *Proceedings - 2015 18th International Conference on Network-Based Information Systems, NBiS 2015*, 351–356. <https://doi.org/10.1109/NBiS.2015.54>
- Byun, J., Hong, I., & Park, S. (2012). Intelligent cloud home energy management system using household appliance priority based scheduling based on prediction of renewable energy capability. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(4), 1194–1201. <https://doi.org/10.1109/TCE.2012.6414985>
- Cortés, S., & Arango, A. (2017). Energías renovables en Colombia : una aproximación desde la economía Renewable Energy in Colombia. *Revista Ciencias Estrategicas*, 25(38), 375–390.
- Hatziargyriou, N., Asano, H., Iravani, R., & Marnay, C. (2007a). Microgrids. *IEEE Power and Energy Magazine*, 5(4), 78–94. <https://doi.org/10.1109/MPAE.2007.376583>
- Hatziargyriou, N., Asano, H., Iravani, R., & Marnay, C. (2007b). Microgrids. *IEEE Power and Energy Magazine*, 5(4), 78–94. <https://doi.org/10.1109/MPAE.2007.376583>
- IEA. (2019). *Data overview - IEA*. Statistics World. <https://www.iea.org/data-and-statistics>
- Khiatani, D., & Ghose, U. (2018). Weather forecasting using Hidden Markov Model. *2017 International Conference on Computing and Communication Technologies for Smart Nation, IC3TSN 2017, 2017-October*, 220–225. <https://doi.org/10.1109/IC3TSN.2017.8284480>
- Kim, J. G., Kim, D. H., Yoo, W. S., Lee, J. Y., & Kim, Y. B. (2017). Daily prediction of solar power generation based on weather forecast information in Korea. *IET Renewable Power Generation*, 11(10), 1268–1273. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2016.0698>
- Liu, X., Ivanescu, L., Kang, R., & Maier, M. (2012). Real-time household load priority scheduling algorithm based on prediction of renewable source availability. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(2), 318–326. <https://doi.org/10.1109/TCE.2012.6227429>
- 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>
- Pelfini, A., Fulquet, G., & Beling, A. (2012). *La energía de los emergentes: innovación y cooperación para la promoción de energías renovables en el Sur Global*.

- Programa de Ingeniería Electrónica, U. C. (2015). *Líneas y Sublíneas de Investigación Ingeniería Electrónica*.
- Reyes, H. O., & Tolosa, O. L. (2017a). *Algoritmo de Priorización de Cargas para un Sistema Residencial Automatizado Basado en una Microred Híbrida*.
- Vodniza, Q. (2009). *Guía de investigación cuantitativa*.
- Xuan, L., & Bin, S. (2008). Microgrids - An integration of renewable energy technologies. *2008 China International Conference on Electricity Distribution, CICED 2008*.
<https://doi.org/10.1109/CICED.2008.5211651>
- Zhao, Z., Lee, W. C., Shin, Y., & Song, K. Bin. (2013). An optimal power scheduling method for demand response in home energy management system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(3), 1–10. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2251018>

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p> | CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A) | CÓDIGO: AAC-BL-FR-032 |
| | | VERSIÓN: 1 |
| | | FECHA: 09/JUN/2022 |

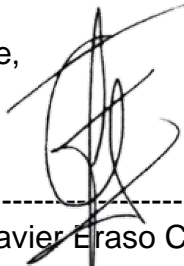
San Juan de Pasto, 21 de noviembre de 2023

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.


Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado Sistema de Priorización de Cargas para un Sistema Fotovoltaico, presentado por los autores Cristian Camilo Bravo Ruano y Gabriela Ponce Guerrero del Programa Académico Ingeniería electrónica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor, que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



Francisco Javier Erasó Checa


Número de documento: 98.397.376
Programa de Ingeniería Electrónica
Teléfono: 3136584666
Correo electrónico: feraso@unicesmag.edu.co

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small> | AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL | CÓDIGO: AAC-BL-FR-031 |
| | | VERSIÓN: 1 |
| | | FECHA: 09/JUN/2022 |

| INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Nombres y apellidos del autor: Cristian Camilo Bravo Ruano | Documento de identidad: 1193475603 |
| Correo electrónico: Cb282001@gmail.com | Número de contacto: 3046558248 |
| Nombres y apellidos del autor: Gabriela Ponce Guerrero | Documento de identidad: 1010081997 |
| Correo electrónico: gabipg99@gmail.com | Número de contacto: 3188667430 |
| Nombres y apellidos del autor: | Documento de identidad: |
| Correo electrónico: | Número de contacto: |
| Nombres y apellidos del autor: | Documento de identidad: |
| Correo electrónico: | Número de contacto: |
| Nombres y apellidos del asesor: | Documento de identidad: |
| Correo electrónico: | Número de contacto: |
| Título del trabajo de grado: Sistema de Priorización de Cargas para un Sistema Fotovoltaico | |
| Facultad y Programa Académico: Ingeniería, Ingeniería electrónica | |

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|  UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small> | AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL | CÓDIGO: AAC-BL-FR-031 |
| | | VERSIÓN: 1 |
| | | FECHA: 09/JUN/2022 |




- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 21 días del mes de noviembre del año 2023

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Nombre del autor: Gabriela Ponce Guerrero | Nombre del autor: Cristian Camilo Bravo Ruano |
| Firma del autor | Firma del autor |
| Nombre del autor: | Nombre del autor: |
|  Nombre del asesor: Francisco Javier Eraso Checa | |



UNIVERSIDAD
CESMAG
NIT: 800.109.387-7
VIGILADA MINEDUCACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CÓDIGO: AAC-BL-FR-031

VERSIÓN: 1

FECHA: 09/JUN/2022