



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA**

**INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS
EN UNA SMART GRID.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA EN MECATRÓNICA**

KATHERINE DANIELA HERRERA ARBOLEDA

DIRECTOR: ING. PABLO VELARDE. PhD.

Quito, septiembre 2019

© Universidad UTE 2019

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172520778-9
APELLIDO Y NOMBRES:	KATHERINE DANIELA HERRERA ARBOLEDA
DIRECCIÓN:	Santa Anita, Juan Lagos y Canelo OE6-25
EMAIL:	Dani_1706katy@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	023101757
TELÉFONO MOVIL:	0984483638

DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN UNA SMART GRID.		
AUTOR O AUTORES:	KATHERINE DANIELA HERRERA ARBOLEDA		
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	XX/09/2019		
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	PhD. PABLO VELARDE		
PROGRAMA	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width: 50%; border: none;">POSGRAD <input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/>	POSGRAD <input type="checkbox"/>
PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/>	POSGRAD <input type="checkbox"/>		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO		
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>La generación y suministro de energía eléctrica se ha vuelto indispensable en el desarrollo de la sociedad actual que continúa creciendo de una manera exponencial. La población se encuentra en constante crecimiento y con ello el aumento de la demanda energética dada por la necesidad de los seres humanos en cada momento de su vida. La generación distribuida y las redes eléctricas inteligentes se presentan como una alternativa a las distintas formas convencionales de generación de energía considerando el incremento de las necesidades de energía eléctrica de los seres humanos. El uso de energías renovables no convencionales como la solar, eólica, biomasa entre otras; en conjunto con sistemas de almacenamiento de energía permiten mitigar la creciente demanda eléctrica y disminuir el uso de combustibles con origen fósil que emiten gran contaminación al medio ambiente. El presente trabajo tiene como objetivo implementar la utilización de energía solar fotovoltaica en el campus Occidental de la universidad UTE mediante la realización de un sistema SCADA de una microrred eléctrica que permita la comunicación y adquisición de datos de las nuevas fuentes de energía lo cual permite modelar el comportamiento eléctrico de los diferentes subsistemas presentes en la microrred de generación eléctrica en distintas condiciones y sus resultados con la finalidad de conocer su dinámica, su aporte y su uso como una forma óptima e inteligente de gestión de la energía eléctrica permitiendo de esta manera también analizar la factibilidad de la implementación y uso de este tipo de energías alternativas en la universidad UTE.</p>		

PALABRAS CLAVES:	Energía renovable, microrred, gestión de energía, electricidad.
ABSTRACT:	<p>The generation and supply of electricity has become indispensable in the development of today's society that continues to grow exponentially. The population is constantly growing and with it the increase in energy demand given by the need of human beings at every moment of their lives. Distributed generation and intelligent power grids are presented as an alternative to the different conventional forms of power generation considering the increased power needs of humans. The use of unconventional renewable energies such as solar, wind, biomass among others; in conjunction with energy storage systems, they can mitigate the growing electricity demand and reduce the use of fossil fuels that emit high pollution to the environment. This work aims to implement the use of photovoltaic solar energy on the Western campus of the UTE university by carrying out a SCADA system of an electric microgrid that allows the communication and acquisition of data from the new energy sources which allows to model the electrical behavior of the different subsystems present in the microgrid of electricity generation under different conditions and their results in order to know their dynamics, their contribution and their use as an optimal and intelligent form of electricity management allowing also to analyze the feasibility of the implementation and use of this type of electricity alternative energies at UTE university.</p>
KEYWORDS	Renewable energy, energy management, electricity, micro grid.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



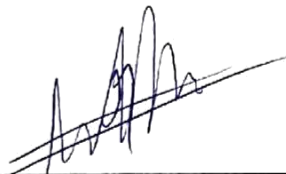
Katherine Daniela Herrera Arboleda
172520778-9

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **KATHERINE DANIELA HERRERA ARBOLEDA**, CI 172520778-9 autora del proyecto titulado: **INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN UNA SMART GRID** previo a la obtención del título de **INGENIERA EN MECATRÓNICA** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 18 de septiembre de 2019.



Katherine Daniela Herrera Arboleda
172520778-9

DECLARACIÓN

Yo, **Katherine Daniela Herrera Arboleda**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en éste documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

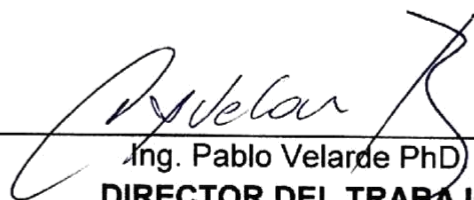


Katherine Daniela Herrera Arboleda

C.I. 172520778-9

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN UNA SMART GRID.**", que, para aspirar al título de **Ingeniera en Mecatrónica** fue desarrollado por **Katherine Daniela Herrera Arboleda**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Pablo Velarde PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1718907478

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Juan y Sandra que siempre han estado apoyándome durante todo el trayecto de mi vida y mis estudios. A mi hermana Vanessa, quien ha sido un apoyo incondicional en todos los momentos.

Dedico este trabajo a mi familia y amigos que me ayudaron a crecer con sus consejos y ánimos para poder culminar esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermana, a mi familia y seres queridos por ser un apoyo incondicional y parte sustancial para mi desarrollo y crecimiento.

Agradezco también a mis profesores, quienes me impartieron conocimientos y me ayudaron a desarrollar el gusto por mi carrera para poder desarrollarme profesionalmente.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis, Pablo Velarde, quien ha estado pendiente y ha sido un excelente docente durante todo el desarrollo de este trabajo de titulación. A mi profesor Marcelo Moya, por ser una guía de varios temas incluidos este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	8
2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA SMART GRID	9
2.1.1. Simulador Solar.....	10
2.1.2. Panel solar	10
2.1.3. Caja de conexiones del panel solar	10
2.1.4. Medidores	11
2.1.5. Disyuntores	12
2.1.6. Módulo de bloqueo y etiquetado	12
2.1.7. Resistencia de descarga	13
2.1.8. Inversor.....	14
2.1.9. Banco de baterías.....	14
2.1.10. Caja de conexiones del banco de baterías	15
2.1.11. Caja de disyuntores del circuito AC	15
2.1.12. Controlador de carga por derivación	16
2.1.13. Controlador de carga solar.....	17
2.1.14. Chasis	17
2.1.15. Cargas	18
2.1.16. Barra de distribución de energía	18
2.1.17. Interruptor de desconexión.....	18
2.2. ConFiguración del sistema didáctico de energía solar	19
2.3. desarrollo de la interfaz gráfica.	20
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. Banco de baterías.....	26
3.2. Resistencia de descarga	27
3.3. Interacción fuente de alimentación y cargas en DC	27
3.4. Interacción fuente de alimentación y cargas en AC	28
3.5. Factibilidad y consumo energético.....	30

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
-----------	---	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Esquema de la planta de intercambio térmico a escala piloto.....	3
Figura 2. Esquema de la planta para el control de nivel en un reservorio.....	4
Figura 3. Esquema de la planta didáctica de control de presión.	4
Figura 4. Esquema de la planta de destilación por membrana	5
Figura 5. Esquema del horno solar para secado de plantas y vegetales	5
Figura 6. Esquema de la red de almacenamiento de Hylab.....	6
Figura 7. Esquema del sistema con red neuronal	6
Figura 8. Diagrama de requerimientos de la interfaz	4
Figura 9. Diagrama de bloques de la interfaz de adquisición de datos	4
Figura 10. Sistema didáctico Lab-Volt.....	9
Figura 11. Conformación de un panel solar	10
Figura 12. Amperímetro análogo Lab-Volt	11
Figura 13. Medidor de kW/h.....	12
Figura 14. Disyuntor Lab-Volt.....	12
Figura 15. Módulo de bloqueo y etiquetado	13
Figura 16. Resistencia de descarga.....	13
Figura 17. Inversor	14
Figura 18. Banco de baterías	14
Figura 19. Caja de conexiones del banco de baterías	15
Figura 20. Conexión interna de la caja de disyuntores	15
Figura 21. Caja de disyuntores del circuito AC	16
Figura 22. Controlador de carga por derivación	16
Figura 23. Controlador de carga solar.....	17
Figura 24. Chasis de la microrred	18
Figura 25. Barra de distribución de energía	18
Figura 26. Interruptor de desconexión.....	19
Figura 27. Conexiones en la microrred	20
Figura 28. Interfaz gráfica en Simulink.....	21
Figura 29. Diagrama de bloques en Simulink parte 1.....	22
Figura 30. Diagrama de bloques en Simulink parte 2.....	23
Figura 31. Funcionamiento de la interfaz de la microrred	24
Figura 32. Corriente entregada a la batería por el panel solar	26
Figura 33. Voltaje entregado a la batería por el panel solar.....	27
Figura 34. Corriente consumida por las lámparas en CC.....	27
Figura 35. Potencia absorbida por las lámparas en CC.....	28
Figura 36. Voltaje consumido por las cargas en AC	28
Figura 37. Corriente consumido por las cargas en AC.....	28
Figura 38. Sistema de la empresa RENOVA	33

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Especificaciones del panel solar.....	10
Tabla 2. Indicador led del controlador de carga.....	17
Tabla 3. Distribución de sensores	20
Tabla 4. Ubicación del equipo de medición y características	24
Tabla 5. Valores de irradiancia del 26/07/2019	24
Tabla 6. Estado climatológico del lugar de prueba 26/07/2019	25
Tabla 7. Potencia entregada por el panel solar	25
Tabla 8. Tabla comparativa entre potencia medida e irradiación	26
Tabla 9. Mediciones de las cargas en CC	27
Tabla 10. Consumo de las cargas en AC	29
Tabla 11. Consumo de las lámparas incandescentes en AC	29
Tabla 12. Consumo diario de una lámpara fluorescente del bloque G	30
Tabla 13. Consumo energético y económico de las cargas en el bloque G	31
Tabla 14. Comparación lámpara fluorescente versus lámpara LED.....	31
Tabla 15. Comparación de uso de lámpara fluorescente y lámpara LED.....	32
Tabla 16. Comparación de precio real y precio subsidiado	33
Tabla 17. Cálculo de rentabilidad y viabilidad en la empresa RENOVA	34

RESUMEN

La generación y suministro de energía eléctrica se ha vuelto indispensable en el desarrollo de la sociedad. La población se encuentra en constante crecimiento y con esto el aumento de la demanda energética la cual conlleva a la necesidad de encontrar distintas formas de generar electricidad. La generación distribuida y las redes eléctricas inteligentes se presentan como una alternativa a las formas convencionales de generación energética considerando el incremento de las necesidades de energía eléctrica del ser humano. El uso de energías renovables no convencionales como la solar, eólica, biomasa entre otras; en conjunto con sistemas de almacenamiento de energía permiten mitigar la creciente demanda eléctrica y disminuir el uso de combustibles con origen fósil. El presente trabajo tuvo como objetivo implementar la utilización de energía fotovoltaica en el campus UTE Occidental en el bloque G mediante la realización de un sistema SCADA de una microrred que permita la comunicación y adquisición de datos de las nuevas fuentes de energía, con ello se permite modelar el comportamiento eléctrico de los diferentes subsistemas de la microrred de generación eléctrica en diferentes condiciones y sus resultados con la finalidad de conocer su dinámica, aporte y uso como una forma óptima de gestión de la energía eléctrica.

Palabras claves: Energía renovable, microrred, gestión de energía, electricidad.

ABSTRACT

The generation and supply of electricity have become indispensable in the development of society. The population is constantly growing and with this the increase in energy demand which leads to the need to find different ways to generate electricity. Distributed generation and intelligent power grids are presented as an alternative to conventional forms of energy generation considering the increase in human electricity needs. The use of renewable energies such as solar, wind, biomass, among others in conjunction with energy storage systems, they can mitigate the growing electricity demand and reduce the use of fossil fuels. This work addressed the use of photovoltaic energy in the Western UTE campus block G by realizing a SCADA system of a microgrid. It allowed the communication and acquisition of data from new energy sources. It allows to model the electrical behavior of the different subsystems of the microgrid of electricity generation under different conditions, and results to know their dynamics, contribution, and use as an optimal kind of electricity management.

Keywords: Renewable energy, energy management, electricity, micro grid.

1. INTRODUCCIÓN

Una planta didáctica es un sistema que emula diferentes procesos a una escala reducida referente a la industria para cumplir con un fin específico. Estas estaciones son utilizadas para la preparación de estudiantes y personal de entrenamiento ya que cuentan con instrumentación y protecciones que aseguran su correcto funcionamiento y las hace totalmente confiables para las personas que las manipularán.

Las estaciones didácticas son utilizadas en la actualidad como una forma más efectiva de aprendizaje, pues los conocimientos impartidos, en su mayoría teóricos, no cumplen con los requerimientos reales dentro de la industria creciente y competitiva (Españeira, 2016). Con el uso de estas plantas, se logra crear un acercamiento completo y real a las diferentes áreas industriales generando, de esta manera, las habilidades necesarias para el desarrollo de actividades dentro del campo laboral.

Varias estaciones didácticas han sido desarrolladas de acuerdo con las necesidades que han surgido en la industria. Algunas plantas didácticas desarrolladas en los últimos años se mencionan a continuación.

Planta didáctica de intercambio térmico a escala piloto (García Sánchez & Fernando, 2015). Esta es una planta desarrollada en Cali, Colombia; el objetivo que persigue la misma es el control de temperatura dada la necesidad de saber controlar esta variable ya que la misma es una de las más utilizadas en los procesos industriales. Esta planta consiste en un circuito cerrado de agua fría y caliente como se muestra en la Figura 1. El agua usada en el proceso se toma de la red de acueducto de agua potable pasando por un filtro para retirar los sólidos suspendidos que se encuentran en la misma, luego pasa por una resina de intercambio catiónico donde se retiran los iones de calcio y magnesio para evitar el incrustamiento de estos en los equipos. El agua se utiliza para alimentar el circuito de agua caliente y fría de la planta. El agua fría inicia el ciclo en un tanque de almacenamiento, el fluido energético se toma de otro tanque de almacenamiento, seguidamente pasa por un calentador de agua a gas, en donde aumenta su temperatura, sin alcanzar el punto de ebullición. Posteriormente pasa al intercambiador de calor, en donde interactúa con el fluido frío haciendo que se incremente la temperatura de este último, finalmente se almacena en el tanque de agua caliente.

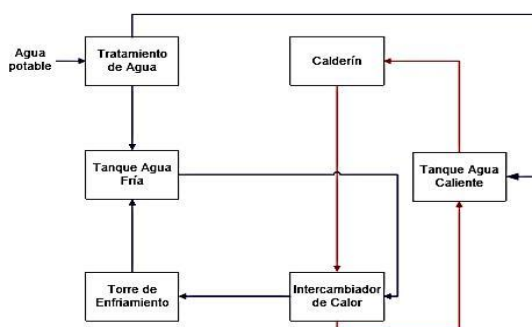


Figura 1. Esquema de la planta de intercambio térmico a escala piloto (García Sánchez & Fernando, 2015)

Otra planta didáctica industrial, es aquella con aplicación para el control de nivel en un reservorio (Tumbaco & Viña, 2015). Esta planta posee sensores de nivel tipo ultrasonico, boya, capacitivos y elementos de salida como electroválvula, variador de velocidad, bomba, complementos con tuberías de conexión rápida. Estos elementos son manipulados mediante un módulo de control PLC. Esta planta, como se indica en la Figura 2, posee un panel de botoneras y puertos hembra para el envío y recepción de señales digitales y analógicas de los equipos. Dependiendo del uso dado se determinará el nivel de acuerdo a la programación.

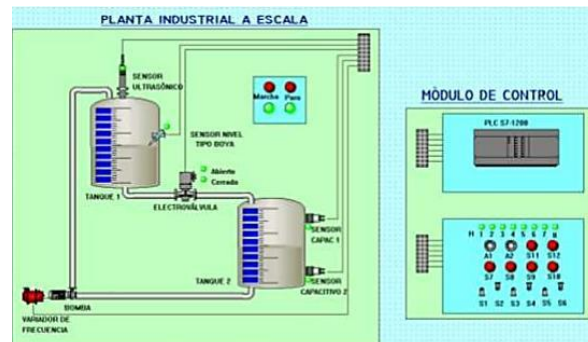


Figura 2. Esquema de la planta para el control de nivel en un reservorio (Tumbaco & Viña, 2015)

También se puede anotar la planta didáctica de control de presión (Charre, Alcalá, López, & Durán, 2014). Es un sistema de arquitectura abierta donde posee un controlador digital configurable con señales estándar de instrumentación. Consta de un tablero de conexiones, transmisores y válvulas, con protecciones e instrumentación adecuada como se puede observar en la Figura 3.

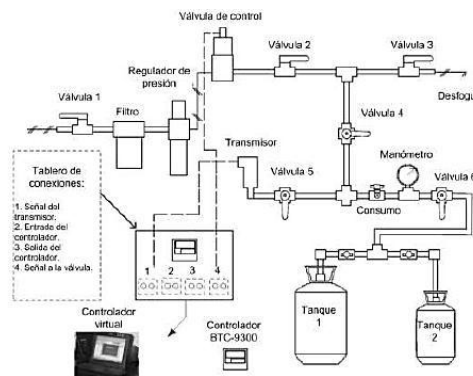


Figura 3. Esquema de la planta didáctica de control de presión. (Charre, Alcalá, López, & Durán, 2014)

Como se puede observar, varios son los sistemas que se han adaptado como un módulo didáctico. Las energías renovables no son la excepción. Algunas de las plantas didácticas para la experimentación de este tipo de sistemas se pueden mencionar. Por ejemplo, planta de destilación por membrana con apoyo de energía solar (Juan D. Gil1, Roca, Zaragoza, Berenguel, & Guzmán, 2015). Este

trabajo se centra en el estudio e implementación de una arquitectura básica de control de la temperatura de entrada de un módulo MD¹ ubicado en la plataforma solar de Almería que incluye el control de temperatura del campo solar, de un bloque de enfriamiento aerostermo y de un sistema de mezcla a la entrada de la unidad MD logrando reducir el uso de energía no procedente de fuentes renovables como se puede observar en la Figura 4.

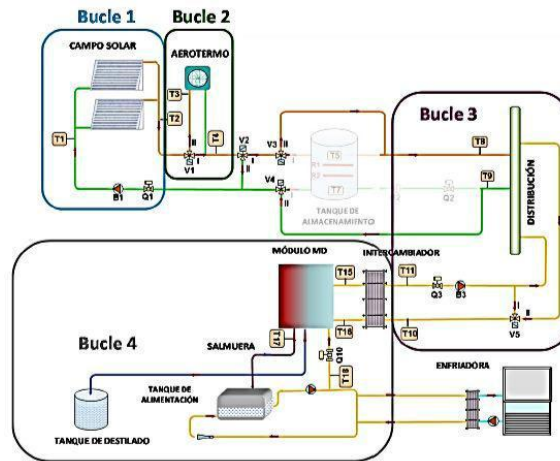


Figura 4. Esquema de la planta de destilación por membrana
(Juan D. Gil¹, Roca, Zaragoza, Berenguel, & Guzmán, 2015)

Por otro lado, existe un horno solar para secado de plantas y vegetales (Miranda, Gonzáles, Guzmán, & Ibarra, 2012). Este horno fue realizado por la necesidad de implementar un proceso eficiente de secado de plantas y vegetales para asegurar su conservación y reducir los tiempos de deshidratación de los mismos. Además, este método de secado asegura entregar productos sin contaminantes a diferencia de otros métodos de secado. El horno que se muestra en la Figura 5, funciona con un colector solar que calienta el aire de alimentación de manera continua y entra en contacto directo con el producto a ser deshidratado. Este sistema posee también un sistema de transmisión por medio de una banda transportadora y un recipiente contenedor de aceite.

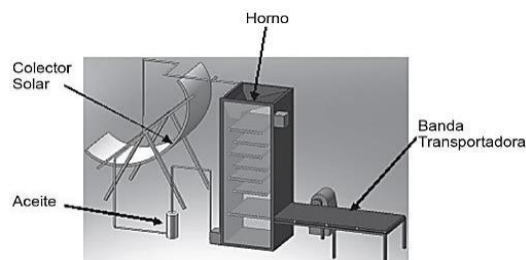


Figura 5. Esquema del horno solar para secado de plantas y vegetales
(Miranda, Gonzáles, Guzmán, & Ibarra, 2012)

¹ MD es un proceso de separación impulsado térmicamente producido por una membrana porosa hidrofóbica

Una microrred con energía renovable y almacenamiento basado en hidrógeno HyLab fue desarrollada por Valverde (2013). Esta planta tiene una instalación experimental con una estructura modular con el objetivo de alcanzar un alto grado de flexibilidad con relación a las topologías de sistemas y componentes que pueden ser investigados.

El sistema incluye una fuente electrónica programable para emular diversas fuentes de energía renovable como se muestra en la Figura 6. Un electrolizador tipo PEM (Membrana de intercambio de protones) para la producción de hidrogeno basado en hidruros metálicos. Un banco de baterías plomo-ácido, una pila de combustible tipo PEM y finalmente una carga electrónica programable para emular diferentes condiciones de demanda.

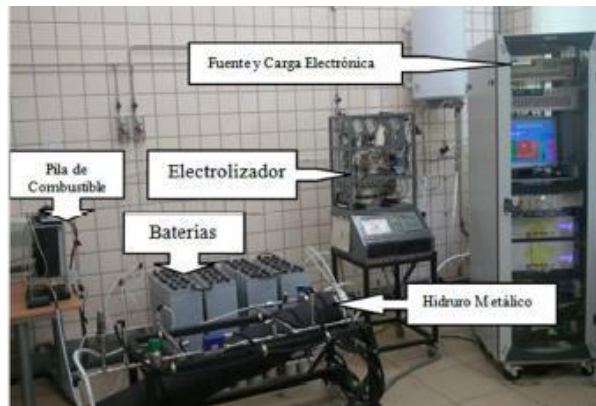


Figura 6. Esquema de la red de almacenamiento de Hylab (Valverde, 2013).

Finalmente, el sistema con red neuronal artificial que funciona con energía solar consiste de una instalación de un sistema inteligente de uso residencial. Este sistema consta de tres partes principales como se presenta en la Figura 7, Un panel solar que genera electricidad con la radiación del sol y un convertidor electrónico de potencia para la extracción de energía e integración de la red. Un sistema fotovoltaico solar residencial por lo general incluye cinco partes: una matriz de paneles fotovoltaicos, un convertidor DC-DC para la captura de energía de la matriz fotovoltaica, un inversor monofásico para la integración de la red, un condensador de DC-Link entre el inversor y el convertidor DC-DC, y una unidad de control integrada (Sun, y otros, 2016).

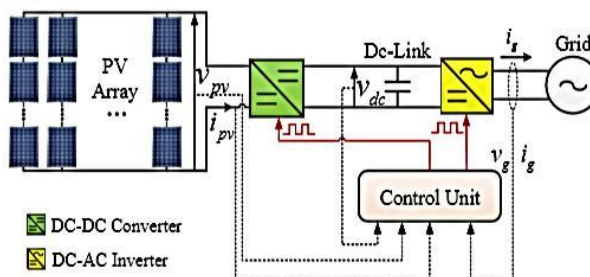


Figura 7. Esquema del sistema con red neuronal (Sun, y otros, 2016)

Una *Smart grid* es una forma de gestión inteligente y eficiente de la electricidad que permite analizar el comportamiento y acciones de los generadores de energía eléctrica y los usuarios que la consumen. (Vázquez, 2016).

En España, se implementaron diferentes *Smart grids* como parte del proyecto de desarrollo “STAR” manejado por el grupo Iberdrola en 2018 en Castellón, el proyecto “PRICE” en la en la comunidad de Madrid y la provincia de Guadalajara, en el Corredor de Henares en 2014, el proyecto “MONICA” en Málaga en 2016, los cuales tenían como objetivo la transformación tecnológica e implementación de sensores inteligentes en la red de suministro. (Vázquez, 2016).

En Sevilla, España en 2013 se realizó la implementación de una *Smart Grid* cuyo objetivo es “desarrollar y validar experimentalmente un sistema de control autónomo y óptimo para plantas de potencia de energía renovable con almacenamiento energético basado en hidrógeno” (Valverde, 2013).

Como se ha anotado, existen varias *Smart grids* y plantas dinámicas implementadas que cumplen los distintos intereses de las personas o grupos que las han realizado. En este trabajo se busca hacer una descripción completa de la microrred LAB VOLT 46801-J2 con alimentación solar y eólica; la misma que es ampliamente utilizada en la elaboración de pruebas y obtención de resultados en la gestión de energía eléctrica para satisfacer la demanda con ayuda de fuentes renovables alternativas (Inga, 2014). Luego de una rigurosa revisión del estado del arte, no existen trabajos donde se exponga una descripción detallada del funcionamiento de la misma ni un sistema de adquisición de datos que permita conocer el comportamiento de la planta. Por lo tanto, el aporte de este trabajo consiste en describir en forma pormenorizada cada uno de los componentes de la esta microrred, así como las pruebas y resultados que han sido llevados a cabo, implementar un sistema SCADA que permita la adquisición, almacenamiento y visualización de los datos de la microrred y determinar la viabilidad de implementar soluciones con energías renovables aplicadas al bloque G del campus occidental UTE para la reducción de consumo energético y económico desde la red eléctrica. Con esto se pretende lograr una ayuda a los investigadores que vayan a desarrollar pruebas en esta planta didáctica. Las pruebas y su funcionamiento han sido detalladas, así como un análisis de los resultados obtenidos. Además, se plantean futuras investigaciones que se realizarán en esta microrred de cara a una gestión óptima en el uso de la energía eléctrica.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

La metodología utilizada en el presente proyecto consistió en plantear los requerimientos de la microrred tomando en consideración perfiles de demanda eléctrica, condiciones climáticas y acceso a la red eléctrica en la zona de interés (Bloque “G” del Campus Occidental UTE), como se puede observar en la Figura 8. De esta manera, la estructura del sistema, la relación entre los componentes, variables involucradas y la lógica del funcionamiento del proceso quedaron definidas. Se comprobó también el funcionamiento de los dispositivos para captar energía renovable antes de su ingreso a la red, con la creación de la HMI.

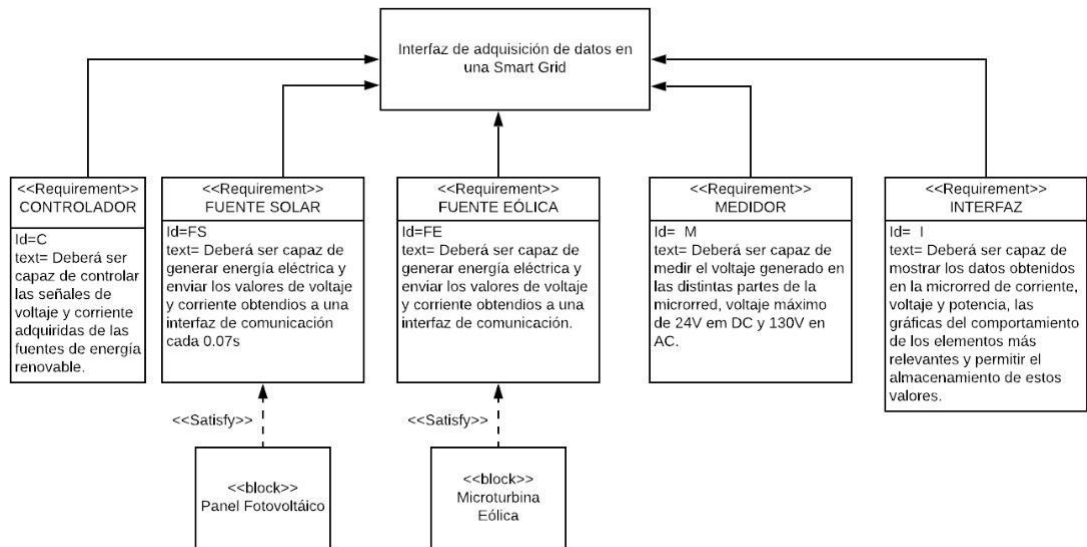


Figura 8. Diagrama de requerimientos de la interfaz

Una vez planteados los requerimientos se procedió a realizar un reconocimiento de todos los componentes de *la Smart Grid*.

En la Figura 9 se representan los elementos que componen la microrred para posteriormente cumplir con la función del sistema.

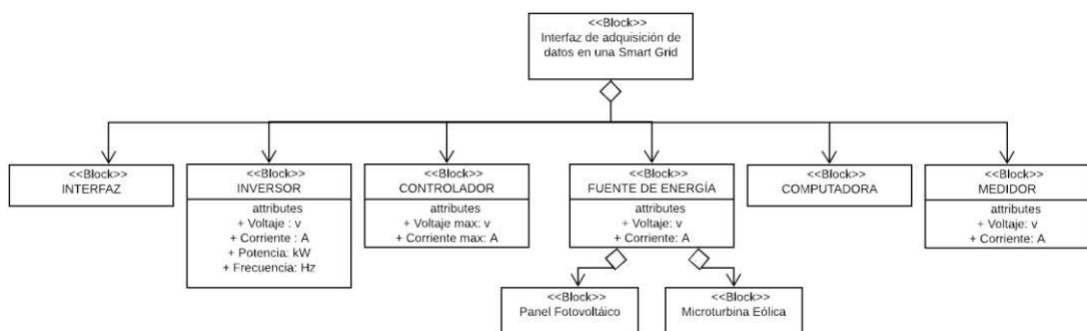


Figura 9. Elementos de la interfaz de adquisición de datos

La interfaz gráfica se realizó tomando en cuenta los elementos disponibles en la microrred y su consumo energético. Es por eso que los sensores utilizados tienen un rango de medida adecuado para cada parte de la estación, tomando en cuenta su sensibilidad, tipo de medida y rangos de funcionamiento. Este rango

de medida se toma en cuenta de tal manera que el valor sea un 150% más que los valores máximos generados en la planta.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA SMART GRID

La *Smartgrid* LAB VOLT 46801-J2 es una microrred que está conformada por un panel solar, un simulador solar que funciona con 110V AC, un controlador de carga solar, un banco de baterías, un controlador por derivación, una resistencia de descarga, un módulo de bloqueo y etiquetado y un inversor DC - AC 110V. Cada uno de estos componentes se encuentran protegidos por módulos de seguridad llamados disyuntores e interruptores que bloquean o permiten el paso de la corriente por toda la microrred. Además, este sistema tiene una capacidad para funcionar con cargas (lámparas) AC y DC. Las cargas utilizadas son dos lámparas DC de 12V cada una y tres lámparas AC. Todos los componentes se encuentran en un chasis el cual permite realizar todas las conexiones necesarias.

Esta planta, al tratarse de una planta de uso didáctico, posee normativa e instrumentación para garantizar la seguridad de las personas que la manipularán haciendo de esta manera un sistema modular lúdico e intuitivo. La composición de la microrred se puede observar en la Figura 10.

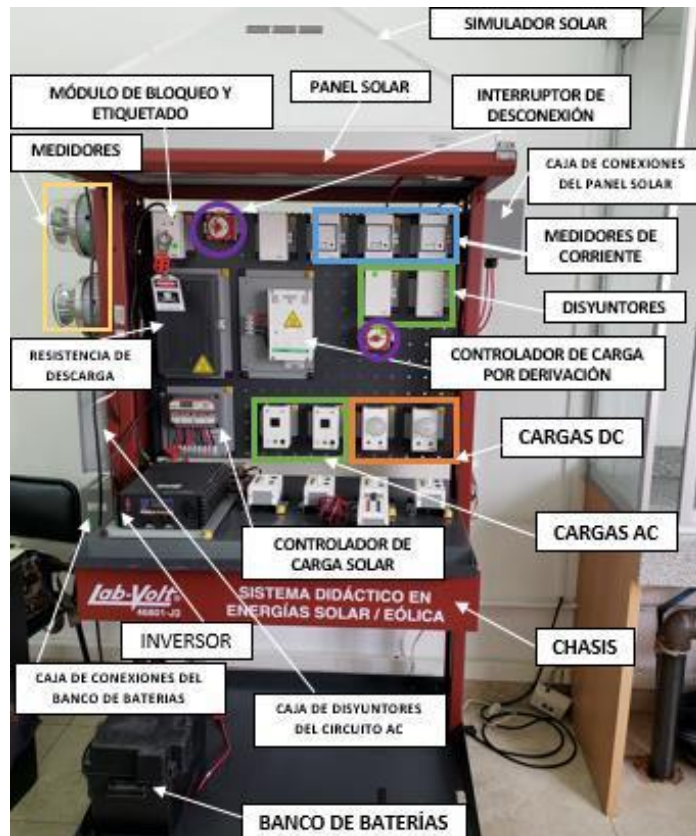


Figura 10. Sistema didáctico Lab-Volt.

2.1.1. Simulador Solar

Consta de una campana metálica, la cual posee una boquilla para la lámpara reflectora de 600w, 120V AC, la misma que simula la luz solar.

2.1.2. Panel solar

Es un dispositivo constituido por células solares, las cuales se encuentran conectadas entre sí. Estas células generan energía eléctrica a partir de energía la energía lumínica generada por el sol. El panel solar utilizado consta de 36 celdas solares conectadas en serie (Lab-Volt, 2012).

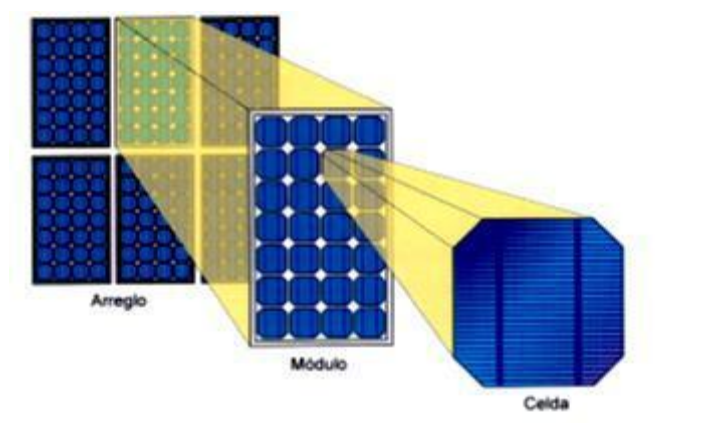


Figura 11. Conformación de un panel solar (Lab-Volt, 2012)

El voltaje máximo que se puede obtener de un panel solar se conoce como voltaje de circuito abierto, pues este se mide sin tener ninguna carga conectada a la salida del sistema. La potencia generada por el panel solar va a depender del nivel de irradiancia, el cual depende de cada situación específica (día, año, ubicación y clima).

Las especificaciones del panel solar utilizado en la microrred tienen las características que se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del panel solar

Parámetro	KC85T	SPM085P
Potencia máxima de salida	87 W	87 W
Voltaje máximo de salida	17,4 V	17,9 V
Corriente máxima de salida	5,02 A	4,84 A
Voltaje de circuito abierto	21,7 V	21,9 V
Corriente de cortocircuito	5,34 A	5,17

2.1.3. Caja de conexiones del panel solar

Es una caja eléctrica que contiene un disyuntor de 8A DC y funciona como un interruptor de desconexión (Lab-Volt, 2012). Este dispositivo proporciona protección en caso de niveles de corriente muy altos.

2.1.4. Medidores

Amperímetros

Son dispositivos que permiten medir la corriente que circula por el sistema. En este caso, la estación cuenta con medidores de corriente análogos de una medida máxima de 30A.

Amperímetro MS

Es el amperímetro utilizado para medir la corriente de la fuente de energía solar.

Amperímetro TE

Es el amperímetro utilizado para medir la corriente de la fuente de energía eólica.

Amperímetro RD

Es el amperímetro utilizado para medir la corriente de la resistencia de descarga.



Figura 12. Amperímetro análogo Lab-Volt
(Lab-Volt, 2012)

Medidores de Vatios-hora

Son medidores de potencia en kWh utilizados para el monitoreo del uso de energía.

Medidor RSE

Es aquel que sirve para monitorear el uso de energía hacia/desde la red de suministro eléctrico (Lab-Volt, 2012).

Medidor ER

Es aquel que sirve para monitorear el uso de la energía renovable.



Figura 13. Medidor de kW/h
(Lab-Volt, 2012)

2.1.5. Disyuntores

Son dispositivos de corriente continua que sirven para la protección del sistema de 12V en DC. Este dispositivo soporta hasta 50A.



Figura 14. Disyuntor Lab-Volt
(Lab-Volt, 2012)

2.1.6. Módulo de bloqueo y etiquetado

Consiste en un interruptor de tipo DPDT (doble polo doble tiro) para la implementación de las normas de seguridad. Este módulo posee una etiqueta de seguridad que permite advertir del peligro del mal uso del mismo. Este módulo tiene una conexión con corriente alterna.



Figura 15. Módulo de bloqueo y etiquetado
(Lab-Volt, 2012)

2.1.7. Resistencia de descarga

Es un elemento resistivo de 600W que sirve para aprovechar el exceso de energía renovable una vez que el banco de baterías se encuentre lleno. Este sirve para calentar el aire o el agua (Lab-Volt, 2012).



Figura 16. Resistencia de descarga
(Lab-Volt, 2012)

2.1.8. Inversor

Es un dispositivo que convierte el voltaje de 12V DC a 120V AC. El inversor de la microrred tiene una capacidad de 1000W en funcionamiento continuo y 2000W para picos repentinos (Lab-Volt, 2012).



Figura 17. Inversor
(Lab-Volt, 2012)

2.1.9. Banco de baterías

Es un dispositivo que permite almacenar energía en su interior. El banco de baterías de la microrred consiste en una batería de almacenamiento de plomo-ácido sellada en fibra de vidrio absorbente, de ciclo profundo de 12V DC 110A. En la estación se utiliza para alimentar al sistema y almacenar la energía generada por el panel solar. El banco de baterías se encuentra protegido por una carcasa plástica.

La batería tiene diferentes modos de carga los cuales son:

Carga en bruto

En este estado de carga la batería necesita una carga rápida hasta que alcanza el 80%-90% de su capacidad

Carga por absorción

En este estado la carga de la batería alcanza el 5%-10% faltante para completar su carga.

Carga flotante:

En este tipo de carga la batería alcanza el 100% de su capacidad por lo cual el voltaje y la corriente de carga necesaria disminuyen para evitar una posible sobrecarga. El banco de baterías se puede observar en la Figura 18



Figura 18. Banco de baterías
(Lab-Volt, 2012)

2.1.10. Caja de conexiones del banco de baterías

Esta caja eléctrica posee un disyuntor de 30A DC y cuenta con un dispositivo de protección a tierra DPFT (dispositivos de protección de falla a tierra) de 0.5 A DC. El DPFT consiste en un disyuntor de 63A DC y un disyuntor de 0.5A DC que se encuentran conectados mecánicamente por una barra (Lab-Volt, 2012). La caja de conexiones del banco de baterías se puede observar en la Figura 19. En la Figura 20 se puede observar el sistema DPFT.



Figura 19. Caja de conexiones del banco de baterías (Lab-Volt, 2012)

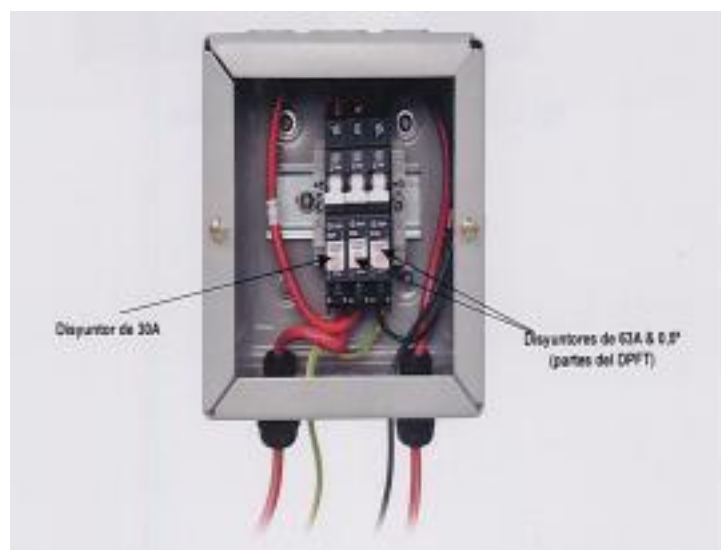


Figura 20. Conexión interna de la caja de disyuntores (Lab-Volt, 2012)

2.1.11. Caja de disyuntores del circuito AC

Consiste en un dispositivo que tiene en su interior disyuntores de corriente alterna, el cual es utilizado para la protección del sistema en corriente alterna de 120V AC. Está conformado por dos disyuntores son de 30A cada uno para el circuito principal y dos de 15A para el circuito secundario. La caja de disyuntores para corriente alterna se puede observar en la Figura 21.



Figura 21. Caja de disyuntores del circuito AC
(Lab-Volt, 2012)

2.1.12. Controlador de carga por derivación

Es un dispositivo controlador de 35A que se encuentra modulado por ancho de pulso PWM, opera en modo de derivación para controlar la energía renovable que se encuentra disponible en el sistema. Este indica cuando el banco de baterías se encuentra totalmente cargado y se conecta con la resistencia de descarga para mandar el sobrante de energía renovable. Este controlador tiene seis estados de funcionamiento, que indican el nivel de carga de la batería y el modo de carga que la misma requiere. El controlador de carga por derivación se puede observar en la Figura 22. Los modos de carga de la batería son representados por parpadeos en un indicador LED. Estos parpadeos indican lo mostrado en la tabla 2.



Figura 22. Controlador de carga por derivación
(Lab-Volt, 2012)

Tabla 2. Indicador led del controlador de carga

Voltaje de la Batería	Estado del LED Verde
Igual al nivel de carga FLOTANTE	Encendido
Igual al nivel de carga EN BRUTO	5 Parpadeos
0,25 V por debajo del nivel de carga EN BRUTO	4 Parpadeos
0,5 V por debajo del nivel de carga EN BRUTO	3 Parpadeos
0,75 V por debajo del nivel de carga EN BRUTO	2 Parpadeos
>0,75 V por debajo del nivel de carga EN BRUTO	1 Parpadeo

2.1.13. Controlador de carga solar

Este dispositivo es un controlador modulado por ancho de pulso PWM de 30A. Es el encargado de controlar y enviar la energía solar captada para que cargue el banco de baterías de manera correcta evitando así su mal funcionamiento o daño por los picos de corriente generados por el panel solar (Lab-Volt, 2012). El controlador de carga solar de la microrred se puede observar en Figura 23.



Figura 23. Controlador de carga solar (Lab-Volt, 2012)

2.1.14. Chasis

Es la estación principal donde se realizan las conexiones de todo el sistema, instalación de componentes y almacenamiento. Este consta de una superficie de trabajo horizontal y una estación de trabajo vertical de tipo modular lo que permite la fácil instalación de componentes. El chasis se encuentra ensamblado como se puede observar en la Figura 24.



Figura 24. Chasis de la microrred
(Lab-Volt, 2012)

2.1.15. Cargas

Son dispositivos resistivos que absorben o utilizan la energía generada y existente en la microrred.

En la microrred se utilizaron tres cargas AC y dos cargas DC. Estas cargas están conectadas a dispositivos eléctricos como tomacorrientes y poseen también módulos con interruptores para su control y funcionamiento.

2.1.16. Barra de distribución de energía

Esta barra permite realizar conexiones dentro de todo el sistema tomando en cuenta las conexiones de neutro y línea. La barra de distribución de energía que se encuentra en la microrred se puede observar en la Figura 25.



Figura 25. Barra de distribución de energía
(Lab-Volt, 2012)

2.1.17. Interruptor de desconexión

Es un dispositivo utilizado para interrumpir la conexión entre la fuente de energía y el bando de baterías o la fuente de energía renovable. El interruptor de desconexión que se encuentra en la microrred se puede observar en la Figura 26.



Figura 26. Interruptor de desconexión
(Lab-Volt, 2012)

2.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DIDÁCTICO DE ENERGÍA SOLAR La microrred está compuesta de manera modular. Estos módulos interactúan entre sí a través de conexiones físicas. Dependiendo de la conexión realizada, se utilizan los recursos energéticos deseados, ya sea de la fuente de energía renovable o del banco de baterías.

Si realiza la conexión de todos los componentes del sistema, entonces, la interacción de todos los módulos empieza con la conexión de la simulación. Esta consiste en encender el simulador solar el cual ilumina el panel solar mediante una lámpara incandescente reflectora. Esta lámpara hace que el panel solar genere energía y conjunto con una conexión que va desde el panel solar, pasa a la caja de disyuntores del panel solar, se conecta con el controlador de carga solar y empieza el proceso de carga del banco de baterías. Este proceso es controlado manualmente por un interruptor de desconexión. Estos elementos se conectan con todo el sistema en la barra de distribución de energía.

En caso de querer utilizar la configuración en corriente continua del sistema, se conectan las cargas directamente con el panel de distribución de energía en DC, el cual se encuentra conectado a la barra de distribución de energía.

Para realizar la configuración de las cargas en AC es necesario conectar el módulo de bloqueo y etiquetado al inversor, el cual está conectado a la barra de distribución de energía. Las cargas en AC se conectan al panel de disyuntores de AC.

Las conexiones siempre tienen que realizarse junto con un medidor y una protección presente en el sistema, en este caso los disyuntores presentes en la microrred. Las conexiones del sistema se pueden observar en la Figura 27.

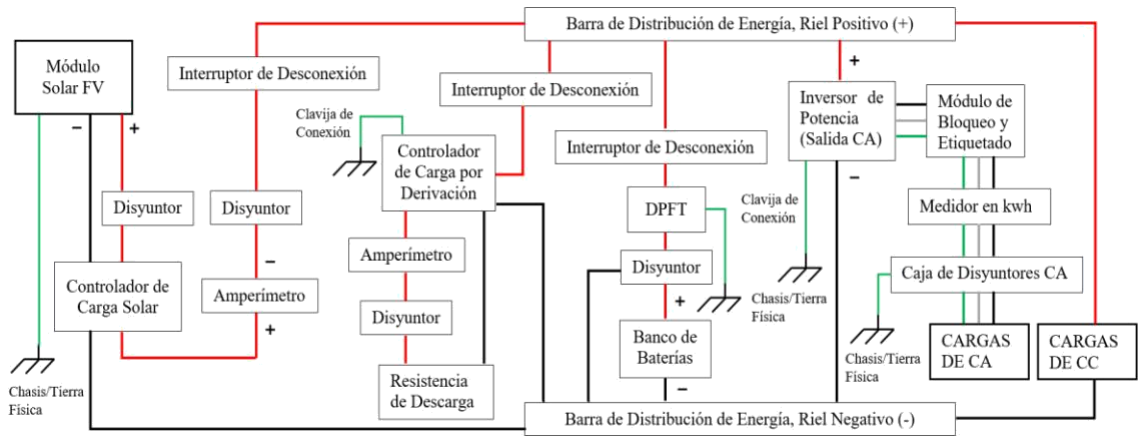


Figura 27. Conexiones en la microrred

2.3. DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA.

Para una mejor visualización de los resultados obtenidos en el sistema se implementó una interfaz gráfica desarrollada en Matlab-Simulink. Se utilizó la herramienta Dashboard de simulink para poder realizar la interfaz gráfica de usuario. Una vez implementada la interfaz gráfica como se puede observar en la Figura 28, se procedió a realizar la programación en bloques en Simulink para la obtención de los datos. Se utilizó un Arduino MEGA como tarjeta de adquisición de datos. La herramienta utilizada para la lectura de datos de la tarjeta arduino en simulink es un paquete de soporte de Arduino instalado en la librería de Simulink.

Se hizo una identificación de los elementos donde se realizaron las mediciones de voltaje y corriente como se indica en la Tabla 3, tomando en cuenta los datos más relevantes en la microrred. Para realizar la adquisición de los datos se implementó cuatro sensores de voltaje fz0430 de 25V DC, 4 sensores de corriente ACS712 de 30A DC, un sensor de voltaje AC-ZMPT101B de 110/220 V AC y un sensor de corriente SCT 013 30A AC no invasivo.

Tabla 3. Distribución de sensores

Variable	Medición	
	Voltaje	Corriente
Resistencia de descarga	Sensor FZ0430	Sensor ACS712
Salida de la batería	Sensor FZ0430	Sensor ACS712
Salida del panel solar	Sensor FZ0430	Sensor ACS712
Cargas Dc	Sensor FZ0430	Sensor ACS712
Cargas AC	Sensor AC-ZMPT101B	Sensor SCT 013

Las señales adquiridas fueron tratadas con un filtro pasa-bajo presente en los bloques de SIMULINK. La programación en bloques de Simulink se puede observar en la Figura 29 en la cual se muestra la primera parte del diagrama de bloques y en la Figura 30 se muestra la segunda parte de la programación por bloques.

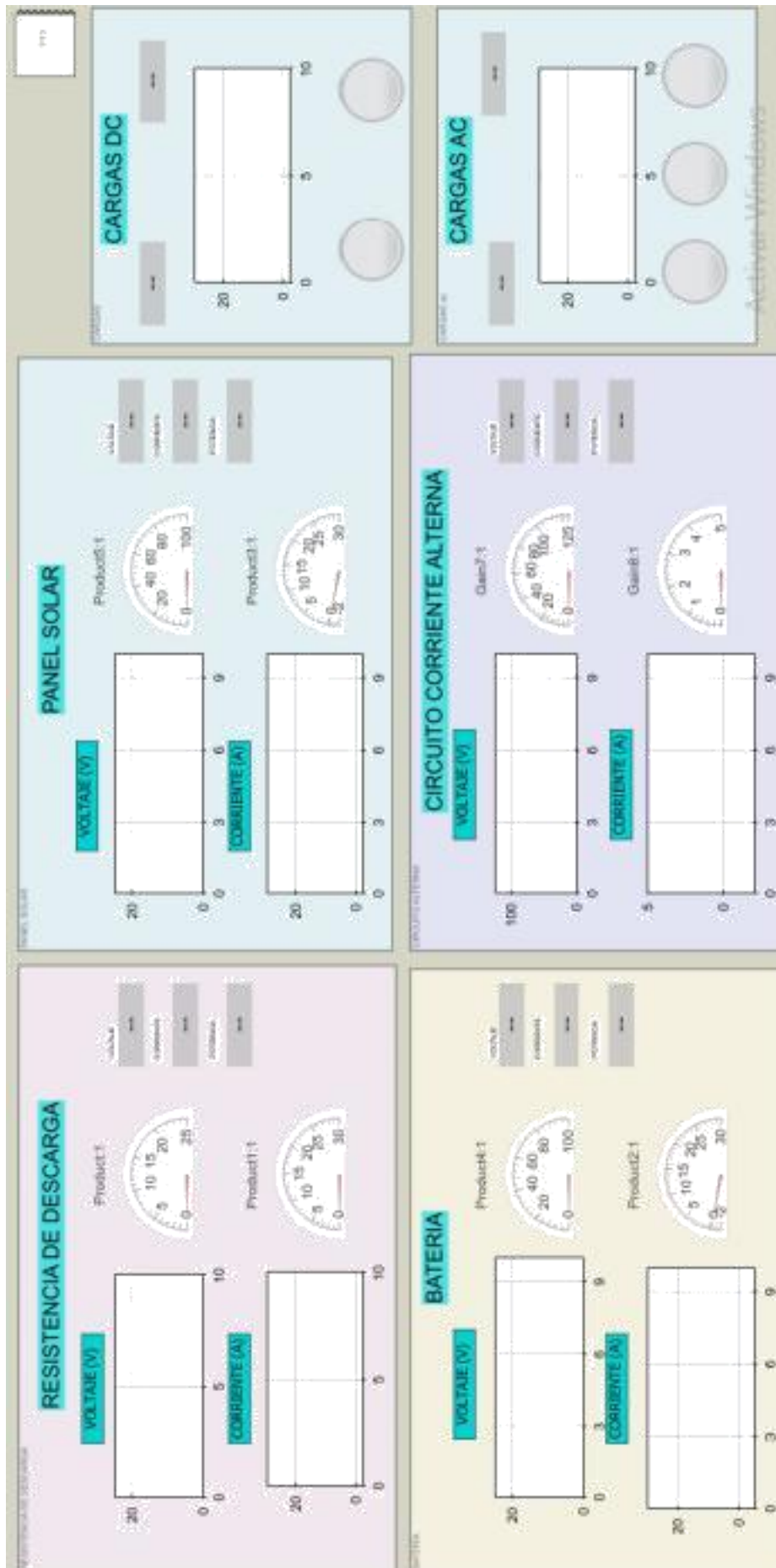
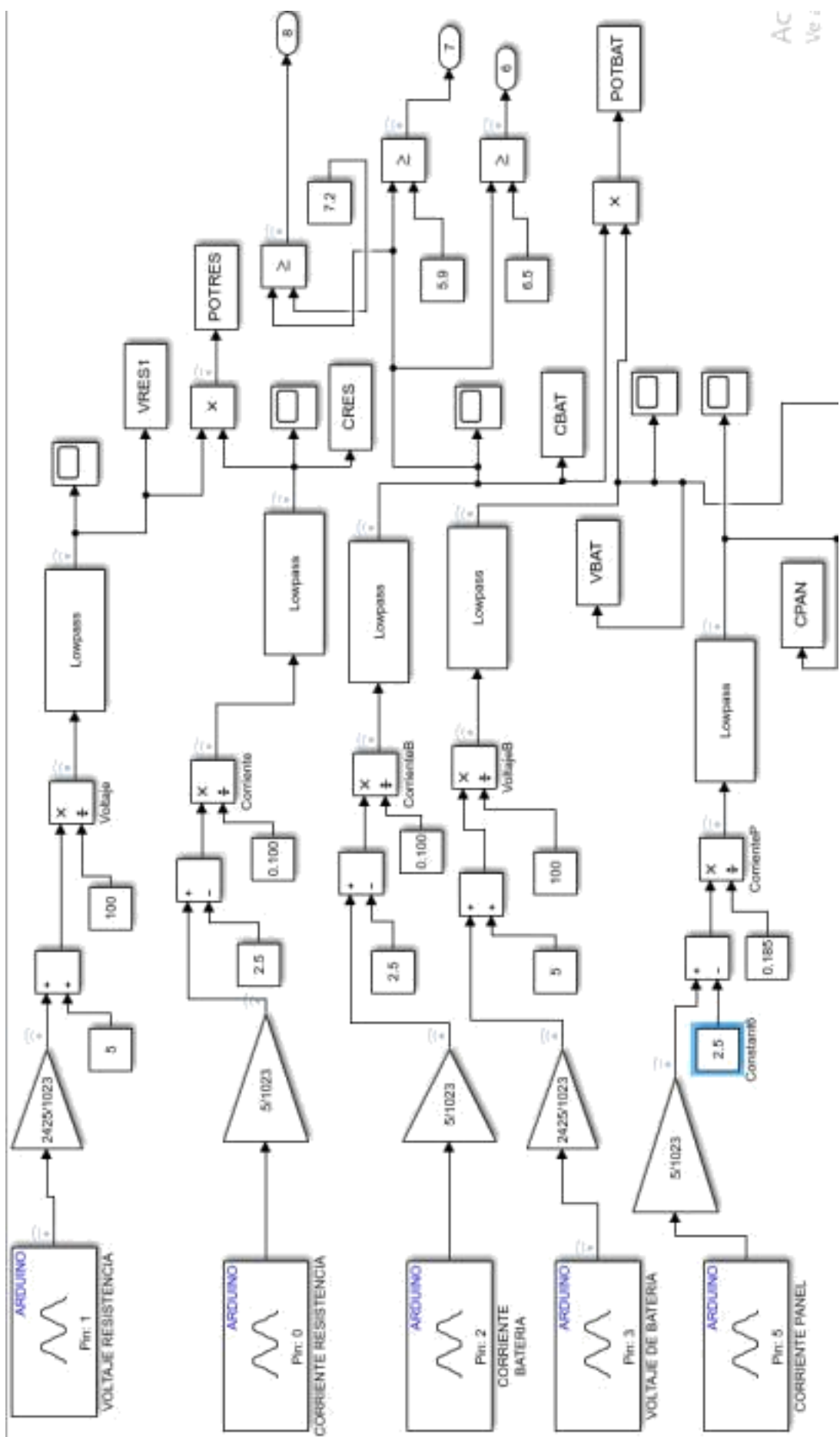


Figura 28. Interfaz gráfica en Simulink



AC
Vc :

Figura 29. Diagrama de bloques en Simulink parte 1

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizadas las conexiones entre el diagrama de bloques y la interfaz gráfica se realizaron varias pruebas para comprobar su funcionamiento.

Se probó la interfaz realizada en Matlab-Simulink como se puede observar en la Figura 31, esta HMI es intuitiva por lo cual se utilizó sin ningún inconveniente durante las pruebas realizadas para la obtención de datos.

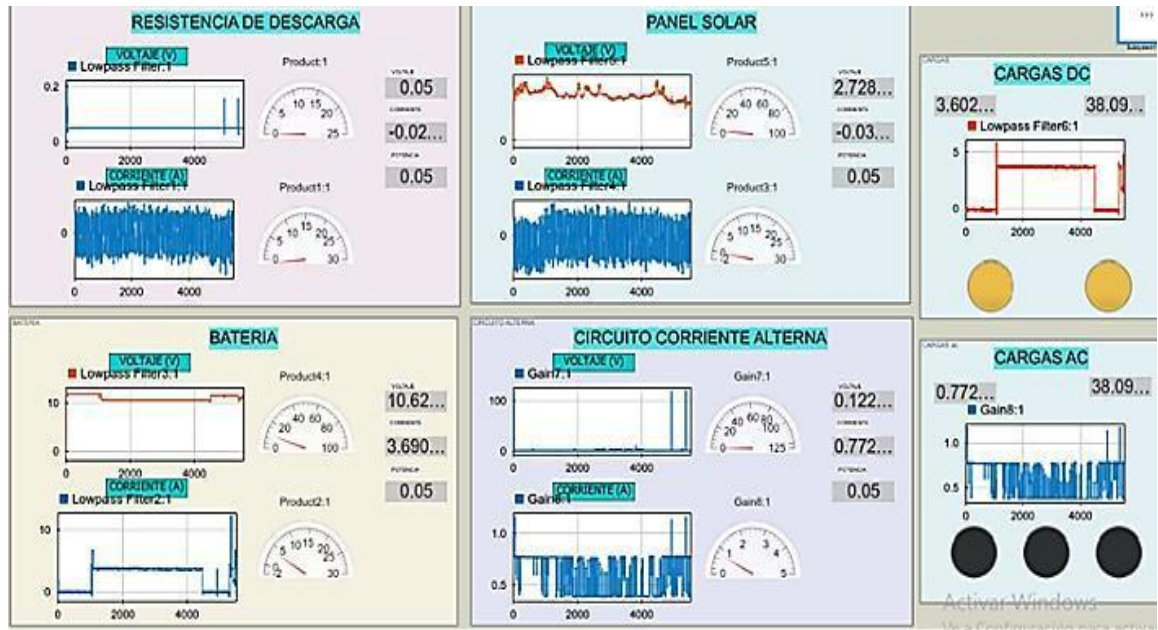


Figura 31. Funcionamiento de la interfaz de la microrred

Se realizó una prueba de funcionamiento real del sistema con el panel solar durante 9 horas en un horario desde las 7h00 hasta las 16h00 del día 26/07/2019 en la terraza del campus occidental UTE, los valores de radiación solar en el día fueron obtenidos por medio de datos tomados de la secretaría del ambiente en la estación “Belisario” con los sensores correspondientes como se muestra en la Tabla 4. Estos valores obtenidos se muestran en la Tabla 5, donde se puede observar que la radiación más alta en el día tuvo un valor de $685,56 \text{ W/m}^2$ de 10:00 a 11:00.

Tabla 4. Ubicación del equipo de medición y características

COD	BEL
Nombre	Belisario
Coordenadas Geográficas	78°29'24" W, 0°10'48" S
Altitud	H=2835
Dirección	Terraza del Edificio Administrativo del Colegio San Gabriel (Av. América 3541)
Equipamiento	SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , PM _{2.5} , PM ₁₀ , MET

Tabla 5. Valores de irradiancia del 26/07/2019

Tiempo inicial (h)	Tiempo final (h)	Rad/Solar (W/m ²)
7h00	8h00	277,1
8h00	9h00	508,74
9h00	10h00	681,56

10h00	11h00	685,43
11h00	12h00	654,82
12h00	13h00	681
13h00	14h00	674,83
14h00	15h00	472,13
15h00	16h00	232,99

Al momento de realizar una prueba es de suma importancia conocer las condiciones climáticas ya que estas influyen directamente en las mediciones obtenidas. El porcentaje de nubosidad, porcentaje de humedad y temperatura presentes durante la prueba se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6. Estado climatológico del lugar de prueba 26/07/2019

Tiempo inicial (h)	Tiempo final (h)	Porcentaje de nubosidad %	Porcentaje de humedad	Temperatura
7h00	8h00	67%	87%	9°
8h00	9h00	38%	64%	13°
9h00	10h00	35%	59%	14°
10h00	11h00	33%	54%	15°
11h00	12h00	31%	50%	16°
12h00	13h00	29%	46%	18°
13h00	14h00	25%	43%	19°
14h00	15h00	37%	44%	19°
15h00	16h00	50%	47%	18°

Los valores obtenidos promedio de potencia entregada por el panel solar a la batería del sistema son los mostrados en la Tabla 7 donde se puede notar que el intervalo de potencia entregado por hora más alto fue de 9h00 a 10h00.

Tabla 7. Potencia entregada por el panel solar

Tiempo inicial (h)	Tiempo final (h)	Potencia (W)
7h00	8h00	15,3401
8h00	9h00	35,2727
9h00	10h00	55,1726
10h00	11h00	43,8376
11h00	12h00	34,2694
12h00	13h00	49,9459
13h00	14h00	27,9752
14h00	15h00	20,5053
15h00	16h00	17,6969

Con los datos obtenidos se pudo realizar una comparativa para comprobar la eficiencia real del panel solar. En la Tabla 8, se puede observar el valor de la potencia entregada por el panel solar comparada con la irradiancia en W/m^2 . El

panel solar tiene un área fotosensible de $0,586\text{m}^2$ por lo que se muestran los valores reales que debería entregar el panel solar de manera ideal.

Tabla 8. Tabla comparativa entre potencia medida e irradiación

Potencia medida (W)	hora inicial	hora final	Irradiancia W/m2 Secretaria del ambiente	Irradiancia W/m2 panel solar
15,3401	7:00	8:00	277,1	162,3806
35,2727	8:00	9:00	508,74	298,12164
55,1726	9:00	10:00	681,56	399,39416
43,8376	10:00	11:00	685,43	401,66198
34,2694	11:00	12:00	654,82	383,72452
49,9459	12:00	13:00	681	399,066
27,9752	13:00	14:00	674,83	395,45038
20,5053	14:00	15:00	472,13	276,66818
17,6969	15:00	16:00	232,99	136,53214

Con los datos obtenidos se pudo determinar el comportamiento del sistema en condiciones reales en un día soleado. El panel solar tiene una eficiencia máxima del 14%. Esta eficiencia fue calculada con el valor de potencia máxima entregada durante la prueba y el valor de la irradiancia.

3.1. Banco de baterías

Se confirma que el banco de baterías está siendo cargado, porque el voltaje de salida del controlador de carga es superior al voltaje inicial en el banco, y este valor va creciendo, de acuerdo con el estado de carga de las baterías. Además, existe un flujo de corriente entre el controlador de carga y el banco de baterías.

En la Figura 32 se puede observar el proceso de carga de la batería con energía solar, los picos o variantes bruscos en la corriente entregada por el panel solar a la batería se debe al efecto sombra, por el paso de nubes. En la Figura 33 se observa el incremento del voltaje en la batería al pasar el tiempo gracias a la carga proporcionada por el módulo fotovoltaico.

Durante las horas realizadas en pruebas, la batería se cargó de 12V a 13V con una potencia promedio entregada de 33.33 W/h.

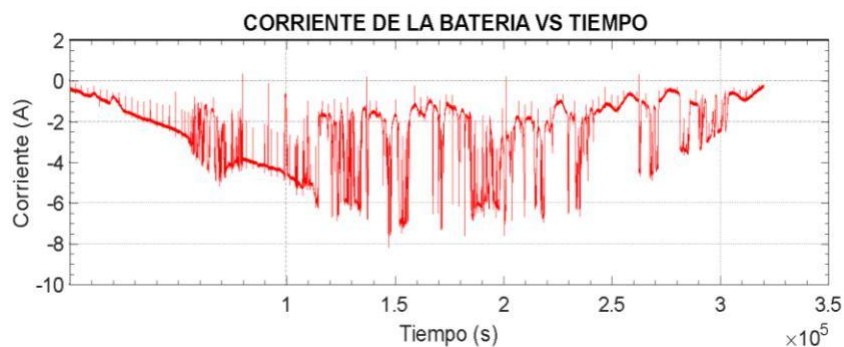


Figura 32. Corriente entregada a la batería por el panel solar

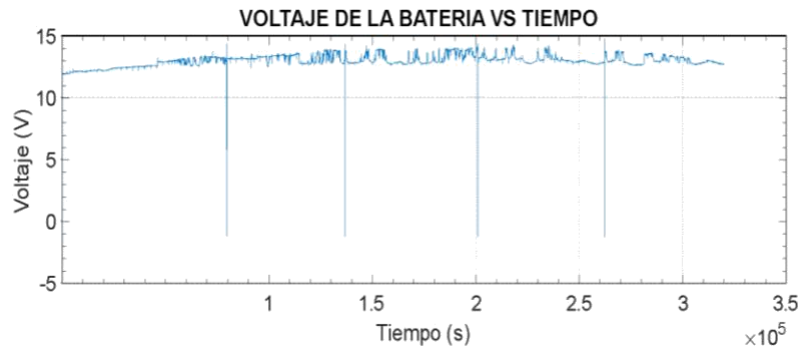


Figura 33. Voltaje entregado a la batería por el panel solar

3.2. Resistencia de descarga

La resistencia de descarga de la estación, generalmente se utiliza para el aerogenerador por que el exceso de energía renovable es superior. En el caso de la energía solar, el sobrante generado por la energía solar es una corriente de 1A. El controlador de carga manda a la batería hasta 0.6V y 1.5A. La potencia absorbida por la resistencia de descarga es de 0.9 W.

3.3. Interacción fuente de alimentación y cargas en DC

Como dispositivos de consumo energético se utilizaron dos lámparas incandescentes de 12V y 25W, cada una. La fuente de alimentación entrega inicialmente 12.6V. Se realizó un arreglo de conexión de cargas en DC, conectándolas en paralelo.

En la prueba se encendió primero una lámpara durante un tiempo de 300s, la corriente que pasó por esta carga fue de 2.1A, como se presenta en la Figura 34. Seguidamente se encendió la segunda, consiguiendo así, un consumo de corriente total es de 4.2A como se muestra en la Tabla 9, se puede observar que existen pérdidas de voltaje con respecto a la energía entregada inicialmente por la batería.

Tabla 9. Mediciones de las cargas en CC

# de cargas	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	11.74 V	2.1 A	24.654 W
2	11.73 V	4.2 A	49.266 W



Figura 34. Corriente consumida por las lámparas en DC

La potencia consumida por los elementos es el producto del el voltaje en cada elemento y la corriente que fluye a través de él, y es presentada en la Figura 35. La potencia absorbida por cada carga en paralelo es de 24.654 W.



Figura 35. Potencia absorbida por las lámparas en DC

3.4. Interacción fuente de alimentación y cargas en AC

Como dispositivos de consumo energético se utilizaron tres lámparas LED de 130V y 8,5 W cada una.

El inversor toma la energía necesaria para convertir de 12V DC a 130V AC de la batería. Como se puede observar en la Figura 36, el voltaje se mantiene constante en el tiempo mientras que en la Figura 37 la corriente varía en función de las cargas encendidas.



Figura 36. Voltaje consumido por las cargas en AC

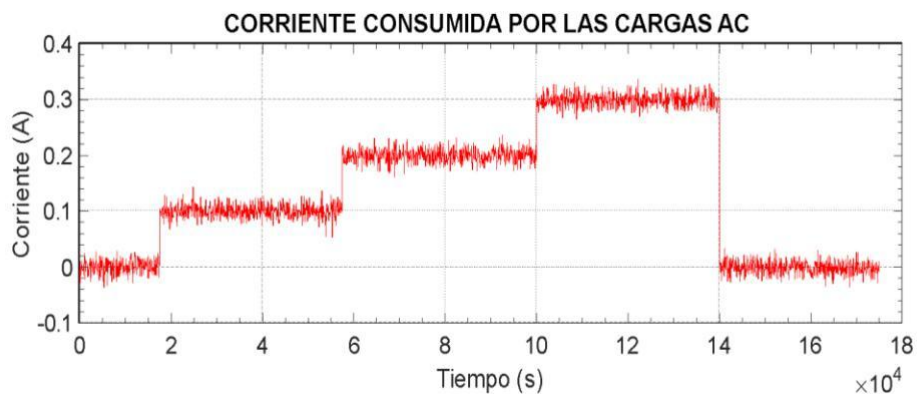


Figura 37. Corriente consumido por las cargas en AC

El arreglo de conexión de cargas de AC es paralelo. Las lámparas de AC fueron conectadas directamente al panel de disyuntores del circuito AC, el cual se conecta con un módulo de bloqueo y etiquetado. El módulo de bloqueo y etiquetado está conectado a un inversor el cual permite que los focos se enciendan. Cada foco tiene un consumo de corriente de 0.1A y 120V. El total de consumo de corriente es 0.3 A, esto se debe a que en un circuito en paralelo la corriente aumenta y el voltaje permanece constante; sin embargo, existen pérdidas de tensión ocasionadas por la disipación de calor presente en las lámparas como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10. Consumo de las cargas en AC

medida	# de cargas	Voltaje (Ac)	Corriente (Ac)	Potencia
#	Inversor	122 V	1.8 A	207.4 watts
1	1	121 V	0.1A	12.1 watts
	2	119 V	0.2 A	23.8 watts
	3	119 V	0.3 A	35.7 watts
2	1	119 V	0.08 A	9.52 watts
	2	119 V	0.2 A	23.8 watts
	3	117 V	0.27 A	31.59 watts
media	1	120 V	0.09 A	10.8 watts
	2	119 V	0.2 A	23.8 watts
	3	118 V	0.285 A	33.63watts

Por motivo de prueba se realizó una medición con las lámparas incandescentes que consumen 60W cada una donde se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Consumo de las lámparas incandescentes en AC

medida	# de cargas	Voltaje (Ac)	Corriente (Ac)	Potencia
#	Inversor	122 V	1.8 A	207.4 watts
1	1	121 V	0.4 A	48.4 watts
	2	119 V	0.9 A	107.1 watts
	3	119 V	1.4 A	166.6 watts
2	1	119 V	0.4 A	47.6 watts
	2	119 V	0.9 A	107.1 watts
	3	117 V	1.5 A	175.5 watts
media	1	120 V	0.4 A	48 watts
	2	119 V	0.9 A	107.1 watts
	3	118 V	1.35 A	171.05 watts

Al realizar una comparación, se puede observar que las lámparas incandescentes tienen un consumo energético muy elevado comparado con las lámparas LED utilizadas

El equipo cuenta con normas de seguridad y norma eléctrica NEMA/ANSI que define la simbología y color de cableado que debe ser utilizado en las conexiones de la microrred. Adicionalmente el cableado es “*plug & play*” y tiene las normas

de seguridad AWG que definen el calibre del cable dependiendo el uso y corrientes máximas que serán utilizadas.

Antes de encender el sistema, se deben revisar que todas las conexiones estén correctamente realizadas y de tener el equipo de protección personal necesario. La microrred cuenta con sistemas de protección de sobrecargas que deben ser conectados en todas las pruebas que se realicen (Lab-Volt, 2012).

Los valores obtenidos en las pruebas realizadas pueden variar dependiendo de la ubicación de la microrred.

3.5. Factibilidad y consumo energético

La luminaria del bloque “G” del campus occidental UTE cuenta con lámparas fluorescentes que consumen 20W.h. El panel solar es capaz de producir en promedio 33.33 W.h en un día soleado, valores medidos por 9 horas seguidas desde las 7h00 hasta las 16h00.

Tomando en cuenta que el kW.h en Quito tiene un costo de \$0.09kW.h (Agencia de regulación y control tarifario, 2019), se realizó un cálculo del ahorro económico y energético dado por el panel solar de la microrred.

Energía generada promedio por el panel solar: 0.03333kW.h

Consumo energético de una luminaria del bloque G: 0.02kW.h

Se podría suplir el consumo de una lámpara fluorescente del bloque G del campus occidental con la energía generada por el panel durante 9h. Suponiendo que la luminaria se encienda a las 7h00 y se apague a las 22h00 el consumo energético se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12. Consumo diario de una lámpara fluorescente del bloque G

Energía generada	Consumo energético	Tiempo de uso de energía renovable	Tiempo de uso de la red energética
0.03333kW.h	0.02kW.h	9h	6h

Con estos datos se puede calcular el aporte de la energía renovable en el consumo energético de una luminaria.

Consumo energético de la red eléctrica sin uso de energía renovable

$$(1) 0.02kWh*15h*1día=0.3kWh/día$$

Energía generada por el panel solar en un día

$$(2) 0.03333kWh*9h*1día=0.29997kWh/día.$$

Como se puede observar, se puede cubrir el consumo energético de una luminaria en su totalidad.

Para realizar un análisis económico del consumo energético se procedió a realizar el siguiente cálculo tomando en cuenta los valores actuales del costo energético en Ecuador.

Consumo económico de la red eléctrica sin uso de energía renovable

$$(3) 0.02kW.*\$0.09*15h= 0.027ctvs/día$$

Al suplir el consumo energético de la luminaria, la Universidad UTE tendría un ahorro en su factura eléctrica de \$0.027 diario lo que representa un ahorro

mensual de \$0.70 con el panel solar de la microrred. Este valor es gracias al subsidio dado en Ecuador a la energía eléctrica.

En caso de aumentar el número de paneles solares con las mismas características del panel actual en la microrred, se puede suplir una mayor cantidad de luminarias en el bloque “G” del campus occidental UTE. Se presenta una comparativa de los valores y el número de los paneles como se muestra en la Tabla 13, donde el ahorro económico está basado en un sistema con subsidio económico. Estos datos son tomados con lámparas fluorescentes

Tabla 13. Consumo energético y económico de las cargas en el bloque G

# Luminarias	Consumo energético	# de paneles solares	Generación energética	Ahorro económico
1	0.3kWh/día	1	0.3kWh/día	0.027ctvs diarios
2	0.6kWh/día	2	0.6kWh/día	0.054ctvs diarios
3	0.9kWh/día	3	0.9kWh/día	0.081 ctvs diarios

Una oficina en el tercer piso del bloque “G” del campus occidental UTE cuenta con 3 luminarias, lo que significa que el ahorro económico mensual sería de \$2,11. Estos valores no toman en cuenta el costo de instalación del sistema de energía renovable.

Algunos laboratorios poseen lámparas LED de consumo energético de 9,5w. Tomando en cuenta este dato entonces se puede realizar una comparación con el consumo energético de las lámparas fluorescentes como se puede observar en la Tabla 14.

Tabla 14. Comparación lámpara fluorescente versus lámpara LED

Energía generada	Consumo energético	Tiempo de uso de energía renovable	Tiempo de uso de la red energética
0.03333kW.h	0.0095kW.h	9h	6h

El consumo de las lámparas LED es apenas un 4,75% de una lámpara fluorescente.

Con lámparas LED se puede aumentar el número de cargas reemplazadas por consumo en energía renovable.

Energía generada por el panel solar en un día

$$(4) 0.03333kW \cdot 9h = 0.29997kWh/día.$$

Consumo energético de la red eléctrica sin uso de energía renovable con lámparas LED

$$(5) 0.0095kW \cdot 15h = 0.1425kWh/día$$

Cantidad de lámparas que pueden ser encendidas con energía renovable

(6) $0.02997 \cdot 1425 = 2.11$

Esto quiere decir que se pueden reemplazar dos lámparas iluminarias en el bloque G con la energía generada con el panel solar de la microrred.

Consumo económico de la red eléctrica sin uso de energía renovable

$$(7) 0.0095\text{kW/h} \cdot \$0.09 \cdot 15\text{h} = 0.013\text{ctvs/día}$$

Usando lámparas LED el consumo energético disminuye notablemente como se puede observar en la Tabla 15 donde se indica la cantidad de luminarias reemplazadas por consumo de energía renovable es el doble que usando lámparas fluorescentes. Estos valores no toman en cuenta el costo de instalación del sistema de energía renovable.

El ahorro económico sería similar al calculado anteriormente pero el consumo energético disminuye notablemente pudiendo de esta manera encender más luminarias y en este caso poder sustituir las luminarias de un laboratorio completo que posee 6 lámparas iluminarias.

Tabla 15. Comparación de uso de lámpara fluorescente y lámpara LED

# Luminarias fluorescentes	Consumo energético	# de paneles solares	Generación energética	Ahorro económico
1	0.3kWh/día	1	0.3kWh/día	0.027ctvs diarios
2	0.6kWh/día	2	0.6kWh/día	0.054ctvs diarios
3	0.9kWh/día	3	0.9kWh/día	0.081 ctvs diarios
# Luminarias LED	Consumo energético	# de paneles solares	Generación energética	Ahorro económico
2	0.31kWh/día	1	0.3kWh/día	0.028ctvs diarios
4	0.62kWh/día	2	0.6kWh/día	0.056ctvs diarios
6	0.93kWh/día	3	0.9kWh/día	0.083 ctvs diarios

Costo de generación energética con el sistema RENOVA.

Es necesario tomar en cuenta el costo de instalación del sistema necesario para trabajar con energía renovable. En el caso de la utilización de 3 lámparas fluorescentes ubicadas en el bloque G del campus occidental UTE en una oficina, el consumo reemplazado para utilizar con energía renovable será de 23,4kWh/mes. Esta cantidad de energía es proporcionada por 3 paneles solares de 87W cada uno.

Con estos datos se puede utilizar una hoja de cálculo de la empresa RENOVA para realizar una estimación de rendimiento en autoconsumo con sistemas μ SFV conectado a red y calcular el costo ya con su sistema implantado.

El sistema de la empresa RENOVA utiliza la regulación ARCONEL-003-18 en el cual se debe ingresar los datos que se indican en la Figura 38 de acuerdo con el consumo estimado, en este caso el consumo de la luminaria de la oficina.

Se asume que el costo de instalación será financiado con un crédito de financiamiento que tiene como tasa de interés 8,5% y será financiado a 5 años. El costo de instalación es de \$783,00 sin IVA. El ahorro mensual al implementar el sistema es de \$2,11 en la planilla de luz con el subsidio proporcionado por el estado.

Figura 38. Sistema de la empresa RENOVA

Considerando el financiamiento, el costo de por vatio pico generado es de \$3,00 con base en experiencias y estimaciones en instalaciones de sistemas fotovoltaicos estandarizados según la empresa RENOVA. Este costo incluye el sistema conectado a red, costo de paneles solares, inversor, cables, mano de obra y permisos.

Comparación de costos reales de generación de energía eléctrica, viabilidad y rentabilidad.

Ecuador subsidia la energía eléctrica, el costo de la energía eléctrica en el país sin este subsidio es de \$0,933 kW.h (Agencia de regulación y control tarifario, 2019).

En la Tabla 16 se puede observar el valor real *versus* el valor subsidiado del consumo energético de una luminaria fluorescente.

Una instalación eléctrica para una sola luminaria sería un costo excesivo por lo que se realizó la consideración de reemplazar tres luminarias.

Se considera una planta implementada que consta de 3 paneles solares necesarios para reemplazar el consumo eléctrico de 3 luminarias ubicadas en el bloque G de la Universidad UTE.

Tabla 16. Comparación de precio real y precio subsidiado

Costo Energético con valor real	Costo energético con valor subsidiado
\$0.28 diarios	\$0.027 diarios
\$7.28 mensuales	\$0.702 mensuales

El sistema necesario para la iluminación de una oficina es de 0.261kWp el cual genera un promedio de 34,91kWh al mes. La luminaria de la oficina consume 23,40kWh en promedio mensualmente lo que produce un sobrante energético de 11,51kWh el cual se podría vender.

Para comprobar la rentabilidad de este sistema, es necesario tomar en cuenta los valores reales del costo de la energía eléctrica en el país ya que el sistema de energía renovable no cuenta con ningún tipo de subsidio estatal.

Utilizando 3 paneles solares el sistema es viable con una tasa interna de retorno de 32,63% lo que quiere decir que se recupera la inversión en 3,01 años como se puede observar en la Tabla 17, el sistema ahorra a la Universidad UTE un valor de \$25,27 anual en la factura de luz eléctrica con el subsidio del estado y \$261,99 sin este subsidio.

Tabla 17. Cálculo de rentabilidad y viabilidad en la empresa RENOVA

Financiamiento	783,00 USD (SIN IVA)
Inversión	- USD
TIR (25 años)	32,63%
VAN (25 años)	\$2116,24
Tiempo de retorno del proyecto	3,01

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La microrred utilizada genera una potencia inferior a la necesaria para las cargas aplicadas por lo tanto necesita siempre de la batería para su funcionamiento. Además, el tiempo que demora en cargar el banco de baterías con el panel solar es muy extenso por la escasa energía entregada por el mismo.

La HMI es intuitiva y muestra el comportamiento del sistema en conjunto y en cada uno de los elementos de relevancia. En esta se pueden observar los valores y guardarlos gracias a Matlab. Además, esta interfaz fue desarrollada en Simulink debido a trabajos futuros con la microrred.

Las mediciones dependen de factores tales como la ubicación, clima, nubosidad del día, temperatura, entre otros, ya que las celdas del módulo solar son muy sensibles a estos cambios. Las mediciones pueden tener variaciones también dependiendo del efecto sombra que pueden producir objetos alrededor.

El panel solar utilizado en la microrred tiene una eficiencia del 14%, esta eficiencia fue calculada con condiciones climáticas reales específicas. El valor obtenido de la eficiencia es un valor obtenido tomando en cuenta los valores máximos y sus condiciones al momento de realizar la prueba. El uso de energías renovables en el campus occidental UTE es factible ya que permiten generar un pequeño aporte al consumo energético y económico de la universidad. La microrred actual en la universidad UTE produce un ahorro económico de \$0.702 y 0.78kWh mensualmente sin embargo no es factible implantar el sistema para una cantidad tan pequeña de energía. Si el sistema para una oficina es implantado, es decir, un sistema que consta de tres paneles solares, el ahorro mensual es de \$2.11 con un ahorro energético de 23.40kW.h lo que lo hace factible y viable ya que la inversión realizada en este sistema se recupera a los 3 años.

La prueba de energía eólica no se pudo realizar debido a la falta de la turbina en la microrred.

Para implementar un sistema de energía renovable en la universidad UTE, es necesario la instalación de un sistema grande que sea capaz de generar un verdadero ahorro a la universidad, disminuyendo notablemente el consumo y de esta manera lograr la rentabilidad de la instalación inyectando energía a la red.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de cargas de bajo consumo energético como lámparas led para la mejora del rendimiento de la microrred y la duración de la carga del banco de baterías.

Además, se recomienda conectar todas las protecciones antes de realizar cualquier prueba para evitar el daño por sobrecargas en la electrónica y el banco de baterías del sistema. Cuando se realicen las pruebas, se debe asegurar un lugar fijo para la microrred con las condiciones adecuadas para evitar lecturas de valores erróneos.

Se recomienda cambiar el panel solar por uno de más potencia. Existen paneles solares con dimensiones similares disponibles en el mercado que generan una mayor potencia ya que tienen una mayor eficiencia que el panel presente en la microrred.

Se recomienda adquirir la turbina para realizar pruebas de energía eólica y reforzar conocimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de regulación y control tarifario. (2019). *PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS*.
- Charre, S., Alcalá, J., López, N., & Durán, M. (2014). *SciELO*. Obtenido de Sistema didáctico de control de presión:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50062014000500005&script=sci_arttext
- Empresa Eléctrica Quito. (2019). *Empresa eléctrica Quito*. Obtenido de <https://www.eeq.com.ec:8443/>
- Enriquez, G. (2011). *Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos*, . México: Limusa.
- Espiñeira, S. (Julio de 2016). *Una aplicación de la enseñanza efectiva: Las estaciones de aprendizaje*. Obtenido de https://cvc.cervantes.es/ensenanza/biblioteca_ele/asele/pdf/16/16_0731.pdf
- Esteban, I. (17 de Mayo de 2014). Estrategias de negocio para la medición inteligente acoplando energías renovables.
- García Sánchez, L., & Fernando, V. W. (12 de Febrero de 2015). *Universidad del Valle*. Obtenido de Biblioteca Digital: <http://hdl.handle.net/10893/8021>
- I, D. V. (2004). *Design methodology for mechatronic systems*. Düsseldorf: VDI-RICHTLINIEN.
- Juan D. Gil1, A. R.-A., Roca, L., Zaragoza, G., Berenguel, M., & Guzmán, J. L. (2015). CONTROL DE PLANTAS DE DESTILACIÓN POR MEMBRANAS. *Actas de las XXXVI Jornadas de Automática*, 937-943.
- Lab-Volt. (2012). *Sistema Didáctico de Energía Solar y Eólica "Sistemas Solares y Eólicos"*. Canadá: Lab-Volt.
- Lab-Volt. (2012). *Sistema Didáctico de Energía Solar y Eólica "Modulo Solar"*. Canadá: Lab-Volt.
- Miranda, A., Gonzáles, A., Guzmán, R., & Ibarra, O. (2012). Desarrollo de un horno solar para el secado de plantas y vegetales usando control difuso. *Acta universitaria*, 14-19.
- Real Academia Española. (2011). *Diccionario de la lengua castellana*. Madrid: D. Joachin Ibarra.
- Sun, Y., Li, S., Lin, B., Fu, X., Ramenzani, M., & Jaithwa, I. (2016). Artificial Neural Network for Control and Grid Integration of Residential Solar Photovoltaic Systems . *IEEE*.
- Tumbaco, A., & Viña, R. (2015). *Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de Diseño e implementación de una planta didáctica industrial con aplicaciones para el control de nivel en un reservorio, para el laboratorio de automatización industrial:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13455>
- Valverde, L. (2013). Gestión de Energía en Sistemas con Fuentes renovables y Almacenamiento de energía basado en Hidrogeno Mediante control predictivo. *Tesis doctoral*.

Vázquez, J. C. (2016). *Estudio de la situación actual de las smart grids*. Cantabria.