

Descripción y Análisis de la Planta Didáctica Lab Volt 46801-32

Katherine Daniela Herrera Arboleda, Washington Adrián Ludeña Prieto, Pablo Aníbal Velarde Rueda, Gonzalo Efraín Guerrón López

Abstract

The supply of electricity has become indispensable in the development of the current society. The population is constantly growing and thus problem of increasing energy demand. The use of non-polluting alternative energies has been introduced more and more with the aim of contributing with the solution of the problem of the growing energy demand. In this paper, we expose the operation, testing and results of a commercial micro grid with solar and wind power for didactic use in order to know its dynamics, input and use as an optimal way of electrical energy management.

Index terms— Renewable energy, energy management, electricity, micro grid.

Resumen

El suministro de energía eléctrica se ha vuelto indispensable en el desarrollo de la sociedad. La población se encuentra en constante crecimiento y con ello el problema de aumento de la demanda energética. El uso de energías alternativas no contaminantes se ha introducido cada día más con la finalidad de aportar con la solución del problema de la creciente demanda energética. En el presente trabajo se expone el funcionamiento, pruebas y resultados de una microrred comercial con alimentación de energías solar y eólica de uso didáctico con la finalidad de conocer su dinámica, aporte y uso como una forma óptima de gestión de la energía eléctrica.

Palabras clave— Energía renovable, microrred, gestión de energía, electricidad.

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, ya que los conocimientos impartidos, en su mayoría teóricos, no cumplen con los requerimientos reales dentro de la industria creciente y competitiva [1]. 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.

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 [2]. 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 Fig 4.

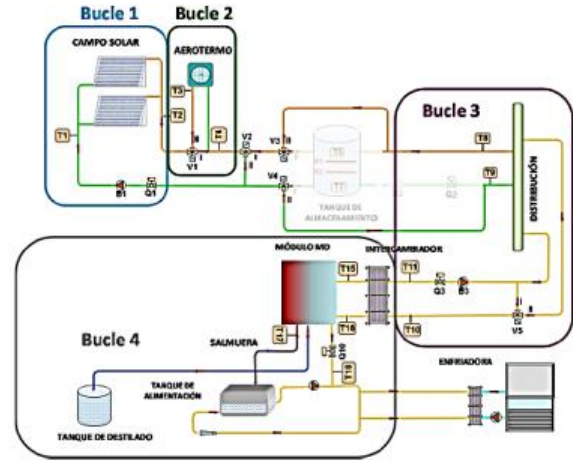


Figura 1: Esquema de la planta de destilación por membrana [2]

En Colombia, el Grupo de Investigación en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la UPB desarrolló el proyecto energético auto-gestionable. Esta microrred está constituida por 10 subsistemas integrados con los que se gestiona energía eléctrica, no en forma de una enorme central eléctrica, “sino en forma de una red, que convierte el entorno en el que funciona, en una ciudad inteligente en miniatura” [3]. Los subsistemas que forman parte de esta red didáctica y de investigación de la UPB son: tres generadores solares; tres estaciones meteorológicas, que evalúan la disponibilidad de los recursos solares y eólicos; medidores de radiación solar, entre otras variables; sistema de control de temperatura e iluminación; un biodigestor; un circuito de alumbrado público; y una estación de carga para vehículos eléctricos.



¹ MD es un proceso de separación impulsado térmicamente producido por

una membrana porosa hidrofóbica

Figura 2: Subsistemas de la microrred de la UPB [3]

Por otro lado, existe un horno solar para secado de plantas y vegetales [4]. 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 Fig 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.

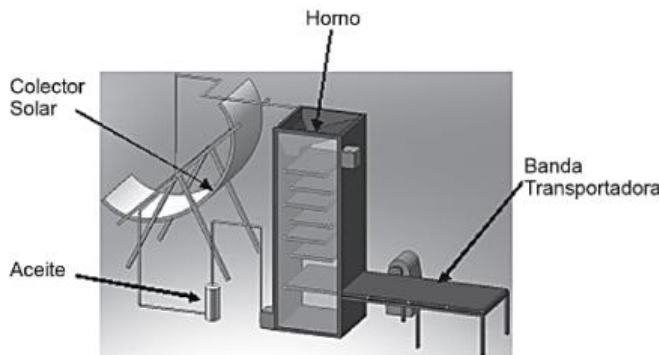


Figura 3: Esquema del horno solar para secado de plantas y vegetales [4]

Una microrred con energía renovable y almacenamiento basado en hidrógeno HyLab fue desarrollada por [5]. Esta planta tiene una instalación experimental con una estructura modular con el objetivo de alcanzar un alto grado de flexibilidad en 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 Fig 6. Un electrolizador tipo PEM 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.

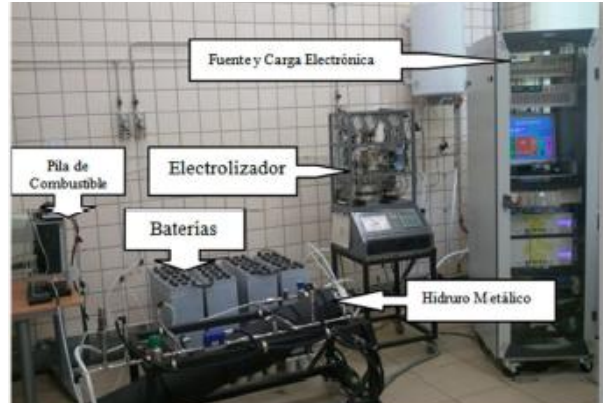


Figura 4: Esquema de la red de almacenamiento de HyLab [5].

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 Fig 7, Un panel solar que genera electricidad con la radiación del sol y un convertidor electrónico de potencia para la tracción de energía e integración de la red. El sistema fotovoltaico solar residencial por lo general incluye cinco partes: una matriz de celdas fotovoltaicas, un convertidor CC-CC 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. [6]

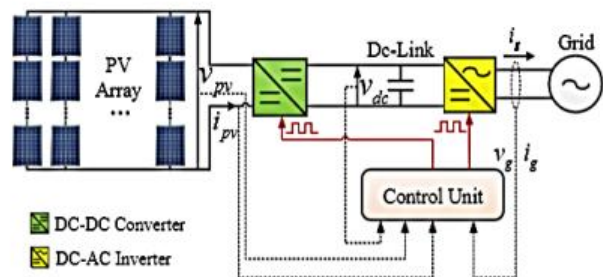


Figura 5: Esquema del sistema con red neuronal [6]

Como se ha anotado, existen varias plantas didácticas que utilizan energía renovable y que permiten encaminarse hacia el refuerzo teórico de los estudiantes y personal técnico que trabaja en procesos industriales. 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 realización de pruebas y obtención de resultados en la gestión de energía eléctrica para satisfacer la demanda con ayuda de fuentes renovables alternativas [7]. Luego de una rigurosa revisión del estado del arte, no existen trabajos donde se exponga una descripción detallada del funcionamiento de la misma. Por lo tanto, el aporte de este artículo 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. Además se presenta la situación económica actual de las energías renovables en Ecuador. 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 y la factibilidad de su utilización. Además, se plantean futuras investigaciones que se realizarán en esta microrred de cara a una gestión óptima en el uso de la energía eléctrica.

El resto del artículo del artículo se halla organizado de la siguiente manera. La Sección 2 presenta una descripción de los componentes del sistema. La configuración de los componentes es presentada en la Sección 3. La Sección 4 trata sobre la obtención y discusión de los resultados. Información adicional es introducida en la Sección 5. Finalmente, la Sección 6 presenta algunas conclusiones y futuros trabajos a ser efectuados.

2. RECOMENDACIONES GENERALES

La microrred en estudio consta de un panel solar, un banco de baterías para la alimentación del sistema, módulos de seguridad para la protección de cada uno de los elementos del sistema, un inversor, una resistencia de descarga y dos controladores. El sistema puede trabajar para cargas en AC y cargas en DC debido a su flexibilidad y a sus componentes. Las cargas utilizadas para esta planta son lámparas incandescentes. El tratarse de una planta didáctica, cuenta con indicadores y sistemas de seguridad. Este sistema didáctico también está compuesto por un chasis donde se

realizan las conexiones ya que se trata de una planta modular.

Para comprender la función general del sistema se aplica la metodología de estructura de la función y elementos solución. Con esto se describen y dividen las subfunciones y el comportamiento a cumplir por parte del sistema. Finalmente se indican los elementos solución, son módulos que cumplen con las funciones específicas del sistema [8].

La metodología se presenta en la Fig 8. Para cumplir con las funciones de sensar potencia y gestionar la energía proveniente de fuentes alternativas renovables se utilizan los módulos controladores, de carga solar y de carga por derivación, en los que están incorporados los sensores necesarios. Al ser un sistema didáctico, cuenta con sistemas de protección, la estructura o chasis que protege a los elementos de impactos, y con protecciones de sobrecargas, como son los disyuntores. La última función a cumplir es el aprovechamiento de la energía renovable, se realiza por medio de cargas en CC, cargas en AC y resistencias de descarga.



Figura 6: Metodología de estructura de la función y elementos solución del sistema [8]

Los elementos que conforman el sistema didáctico de energía solar se describen a continuación:

Módulo Solar Fotovoltaico

Constituido por celdas solares conectadas eléctricamente entre sí, se caracteriza por convertir los fotones provenientes de la luz solar en electricidad por medio del efecto fotovoltaico. La potencia de salida en el módulo depende de la irradiación solar. [6]

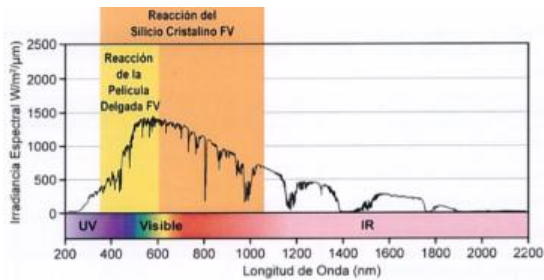


Figura 7: Respuesta de irradiancia del panel solar FV [9]

En la Fig 9 se muestra la respuesta espectral de energía radiante de un panel solar. El módulo solar fotovoltaico (FV) consta de 36 celdas solares, además proporciona una potencia máxima de 85W.

Banco de baterías

Es una fuente de alimentación de CC compuesta por una batería de almacenamiento de plomo-ácido, utilizada para almacenar la energía renovable del sistema. La batería posee una capacidad nominal de 110 Ah con un voltaje de 12Vcc. Con respecto al proceso de carga de las baterías, para que pueda aceptar corriente durante el proceso de carga, el voltaje CC en los terminales de la batería debe ser sustancialmente mayor que el voltaje nominal sin carga, a circuito abierto [9]. Para realizar este proceso se consideran 3 estados para lograr la condición de carga completa, y son: en bruto (estado de carga rápida hasta alcanzar el 80% o 90% de su capacidad máxima), por absorción (estado de carga del 5% o 10% restante) y flotante (la batería se carga hasta el 100% de su capacidad, el voltaje y la corriente de carga disminuyen para evitar una condición de sobrecarga).

Inversor de potencia

El objetivo es transformar un voltaje de entrada en CC a un voltaje de salida en CA. El inversor proporciona el acondicionamiento de energía necesario para proveer potencia en CA monofásica, sinusoidal con una magnitud y frecuencia específica [10]. El inversor del equipo didáctico tiene una capacidad de 1000 W de operación continua, con un máximo de 2000 W en picos repentinos. Para que los electrodomésticos y equipos electrónicos de un hogar típico funcionen, el inversor brinda un

voltaje de CA de 120V.

Controlador de carga solar

Dispositivo electrónico que tiene la finalidad de regular y acondicionar los voltajes y corrientes de un sistema de energía solar. Su objetivo principal es cargar correctamente el banco de baterías, desde una fuente de energía solar, evitando sobrecargar y sobredescargas. Trabaja por modulación de ancho de pulso (PWM), con el que se abre y cierra el circuito de la fuente de energía fotovoltaica a un ritmo acelerado. La regulación es producida emitiendo impulsos intermitentes que conmuta la corriente de carga completa ajustando el ancho del impulso para cambiar la corriente de carga promedio que fluye hacia el banco de baterías [9].

Controlador de carga por derivación

Este dispositivo evita la sobrecarga de las baterías del sistema, desviando el excedente de energía alternativa a otras áreas o cargas de potencia. Trabaja con modulación por ancho de pulso, manejando hasta 35 A. Tiene 6 estados de funcionamiento que son interpretados mediante parpadeos de una lámpara LED. La cantidad de parpadeos indica el valor de carga que posee la batería, expresados respectivamente en la Tabla 1 [10].

Tabla 1: Estados del LED intermitente [10]

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

Resistencia de Descarga

Es un resistor de 600W, con el que se aprovecha el excedente de energía renovable proveniente

del panel fotovoltaico. Su principal función es evitar la sobrecarga de las baterías, consumiendo el excedente de energía renovable, aprovecha esta energía calentando agua o aire. Es necesario trabajar con una resistencia de descarga de valores óptimos, caso contrario, si la resistencia es muy pequeña, se podría sobrecargar el banco de baterías, o si excede el valor nominal del controlador por derivación de 35 A, el controlador podría cerrarse, y no regular, debido a la protección de sobrecarga. [10].

Disyuntores

Son elementos utilizados para protección de circuitos, su principio de funcionamiento se basa en desconectar los circuitos bajo condiciones de corriente nominal, vacío o cortocircuito, es decir, con condiciones normales o anormales [11]. Se utilizan disyuntores específicos para proteger el circuito del sistema de 12Vcc. Asimismo se emplea disyuntores para protección del circuito del sistema de 120Vca.

Cargas resistivas

Son dispositivos que convierten la energía eléctrica en lumínica por el efecto Joule mediante el calentamiento al rojo vivo de un filamento de metal en su interior. El calentamiento de este filamento produce una radiación visible al ojo humano [12].

La Fig 10 muestra la microrred utilizada y sus componentes.

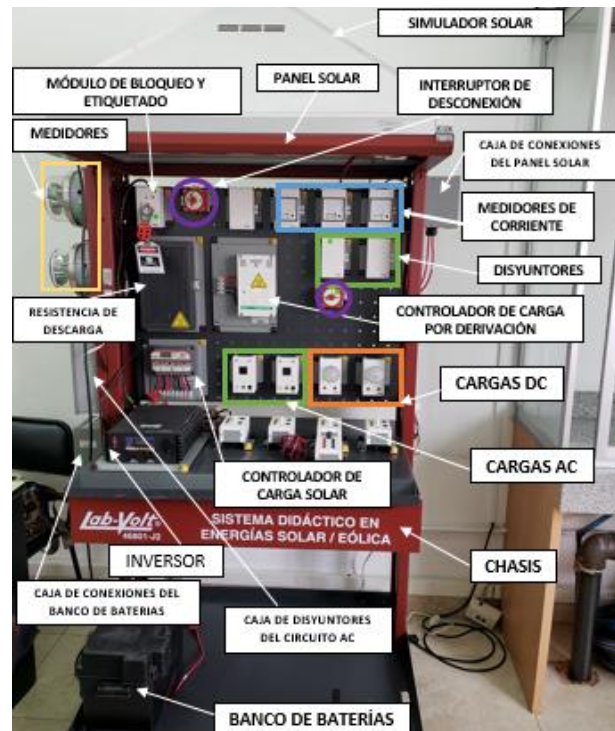


Figura 8: Microrred y sus componentes

3. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DIDÁCTICO DE ENERGÍA SOLAR

El sistema dispone de módulos, que interactúan entre sí con el fin de aprovechar la eléctrica proveniente de la fuente solar. En la Fig 11. Se presenta el diagrama de configuración del sistema.

La interacción entre elementos comienza con el simulador solar que ilumina el panel solar por medio de una lámpara reflectora. En el momento que el panel receipta la luz artificial, se imita el efecto fotovoltaico. El módulo fotovoltaico se encuentra conectado a una caja de conexiones que consiste en un arreglo de disyuntores de 8Acc, que funcionan como elemento de protección, y trabajan como un interruptor de desconexión. A partir de este punto se obtiene toda la energía renovable que alimentará a los demás elementos del sistema.

A continuación de la caja de conexiones del módulo fotovoltaico se encuentra conectado un controlador de carga solar, para que las señales de voltaje y corriente a la salida sean homogéneas. En la salida del controlador se encuentran conectados un elemento de medida de corriente, protecciones (un disyuntor y un interruptor de desconexión) y finalmente una

barra de distribución de energía. La barra de distribución de energía es el medio clave por el cual se puede cargar el banco de baterías y consumir la energía almacenada en esta.

A partir de la barra de distribución se encuentran los siguientes elementos:

- Interruptor de desconexión y una caja de conexiones del banco de baterías, que consiste en un disyuntor de 30Acc y un dispositivo de protección de falla a tierra de 0.5Acc. A la salida se encuentra conectado el banco de baterías.
- Panel de distribución de energía de CC, como elemento de interconectividad para las cargas de CC, además cuenta con un fusible de 10A.
- Inversor, que convierte la energía del banco de baterías de 12Vcc a energía de 120Vca. Seguido de este se encuentra un módulo de bloqueo y etiquetado, para el

cumplimiento de normas de seguridad. A continuación se hallan conectados medidores para monitorear el consumo de energía renovable, y un panel de disyuntores de CA como protección del circuito del sistema de 120Vca.

- Interruptor de desconexión y una caja de conexiones del banco de baterías, que consiste en un disyuntor de 30Acc y un dispositivo de protección de falla a tierra de 0.5Acc. A la salida se encuentra conectado el banco de baterías.
- Inversor, que convierte la energía del banco de baterías de 12Vcc a energía de 120Vca. Póstumo se encuentra un módulo de bloqueo y etiquetado, para el cumplimiento de normas de seguridad. Seguidamente están conectados los medidores y un panel de disyuntores de CA como protección del circuito del sistema de 120Vca.

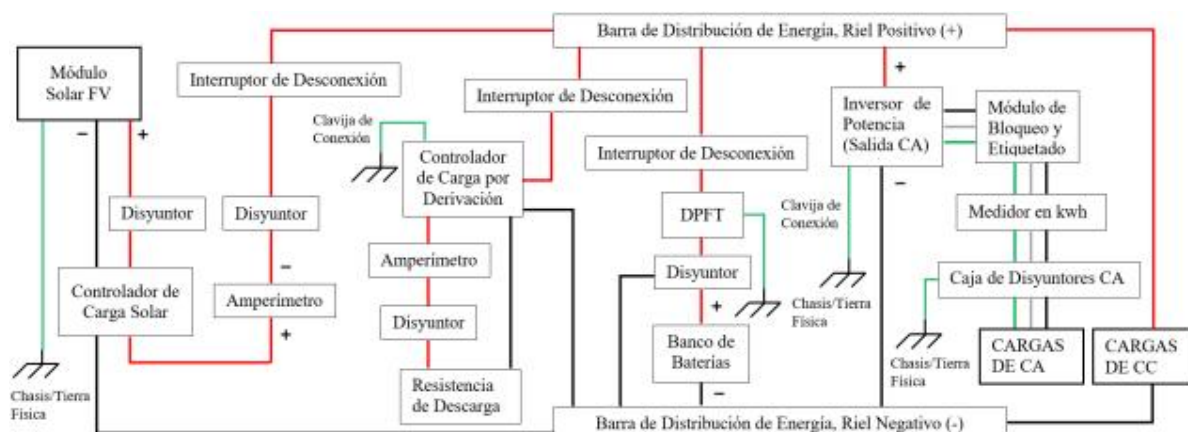


Figura 9: Conexiones entre los componentes de la microrred [12]

Panel de distribución de energía de CC, como elemento de interconectividad para las cargas de CC, y cuenta con un fusible de 10A.

- Controlador de carga por derivación, que desvía el excedente de energía renovable a una resistencia de descarga. Además se encuentra conectado un elemento de medida de corriente (Amperímetro), y elementos de protección (interruptor de desconexión y un disyuntor).

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La sección explica el comportamiento del sistema didáctico de energía solar, en el que se hay realizado pruebas para exponer el funcionamiento de cada uno de sus elementos, hasta contemplar la interacción del sistema en conjunto.

4.1. Verificación de funcionamiento de modulo solar

El desempeño del módulo solar se obtiene por medio del voltaje en circuito abierto (V_c -a) y de la corriente en cortocircuito (I_c -c).

Para obtener el voltaje en circuito abierto, se mide el voltaje en el módulo fotovoltaico, sin que se encuentre ninguna carga conectada a la salida del módulo. Este valor representa el voltaje máximo de salida que se puede obtener.

La corriente en cortocircuito se obtiene al conectar una carga de resistencia cero en la salida del módulo. Este valor indica la corriente máxima de salida que el módulo puede

entregar.

Para el caso en estudio, el módulo fotovoltaico está conectado a un simulador solar, que imita la energía solar. Realizando tres pruebas, se tomaron mediciones para conocer el I_c -c y el V_c -a en condiciones normales e imitando el efecto sombra, para el cuál se cubrieron dos celdas solares juntas, de las treinta y seis que posee el módulo FV, aleatoriamente en cada prueba. Los valores medidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores de V_c -a e I_c -c del módulo FV

Númer o de Prueba	Numero de celdas disponibles	Voltaje en circuit o abierto	Corrient e en corto circuito
1	36	21.01 V	1.1 A
	34	20.34 V	1.1 A
2	36	21.32 V	1 A
	34	20.30 V	1 A
3	36	21.20 V	1 A
	34	20.32 V	1 A
Media	36	21.18 V	1.03 A
	34	20.32 A	1.03 A

*Voltaje expresado en voltios, corriente expresada en amperios.

Los valores máximos de voltaje y corriente que se puede lograr con el módulo son de 21.32 V y de 1.1 A, respectivamente. Al cubrir dos celdas solares del módulo FV, se observa que disminuye el voltaje máximo de salida llegando a tener un promedio de 20.32V. Esto se debe a que las celdas son extremadamente sensibles a sombras generadas por objetos o por partículas que reposan sobre su superficie. Además las celdas se encuentran conectadas en serie, por lo que el voltaje que entregan es la suma del voltaje individual de cada una. Como consecuencia las celdas ocultas no trabajan igual que el resto y limitan la sinergia del módulo FV. La corriente máxima de salida se mantiene porque la corriente en un circuito en serie es la misma.

4.2. Control de carga

Para acondicionar el voltaje y corriente proveniente del módulo solar, y proporcionar un correcto y eficiente proceso de carga en el banco de baterías se utiliza un controlador de carga. El voltaje inicial del banco de baterías es de 12.59V. 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 al estado de carga de las baterías. Además existe un flujo de corriente entre el controlador de carga y el banco de baterías. El voltaje en la salida del controlador de carga es de 12.7V inicialmente, y aumenta conforme avanza el proceso de carga de las baterías. Este controlador proporciona una corriente solar de 1A. Esta potencia es obtenida gracias a la fuente de energía renovable (modulo solar).

Una vez que el controlador de carga marca el valor de 14.15V, el controlador de carga se desconecta para evitar que existe una sobrecarga en la batería.

4.3. Interacción fuente de alimentación y cargas en CC

Como dispositivos de consumo energético se utilizaron dos lámparas incandescentes de 12V

y 25W cada una. La fuente de alimentación entrega 12.6V.

Se realizaron dos arreglos de conexión de cargas en CC, conectándolas en serie y en paralelo. En la conexión en serie, las lámparas se conectaron con el fin de formar un solo lazo entre la barra de distribución de energía y las lámparas, como se muestra en la Fig 12.

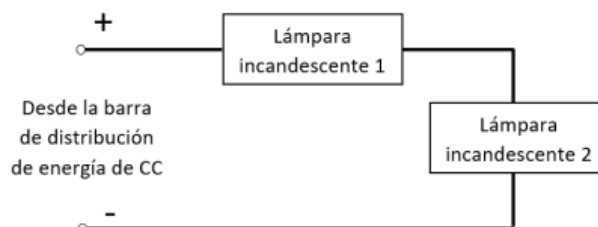


Figura 10: Conexión en serie de lámparas en CC [9].

Para una conexión en paralelo las cargas se colocaron a la salida de la barra de distribución de energía, como se presenta en la Fig 13.

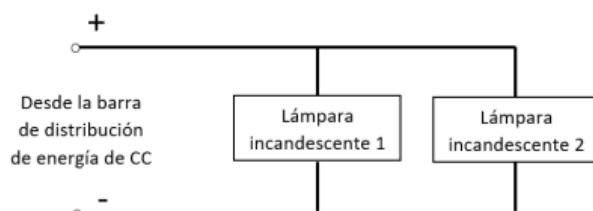


Figura 11: Conexión en paralelo de lámparas en CC [9].

Los valores medidos de voltaje y corriente para cada caso se indican en la Tabla 3.

Tabla 3: Medidas en las cargas CC de las conexiones

Circuito	Elemento	Voltaje	Corriente	Potencia
Serie	Lámpara 1	6.18 V	1.4 A	8.652 W
	Lámpara 2	6.06 V	1.4 A	8.484 W
	Barra dis. energía	12.46 V	----- --	----- ---
Paralelo	Lámpara 1	11.74 V	2 A	23.48 W
	Lámpara 2	11.73 V	2 A	23.46 W
	Barra dis.	12.6 V	----- ---	----- ----

	energía			
--	---------	--	--	--

*Voltaje expresado en voltios, corriente expresada en amperios, potencia expresada en vatios.

Para el circuito en serie, pese a que la barra de distribución entrega un voltaje de 12.46V, las mediciones indican que cae el valor en cada carga, teniendo 6.18V para la primera lámpara y 6.06V en la segunda, además el flujo de corriente fue de 1.4A. Este comportamiento se debe a que si se conectan resistores en serie, existe una división de voltaje para cada elemento, el fenómeno expuesto se conoce como principio de división de tensión. Sin embargo fluye la misma corriente por cada resistor [13].

Para una conexión en paralelo las cargas se colocaron a la salida de la barra de distribución de energía, como se presenta en la Figura 9. La corriente que pasa por cada carga es de 2A, no obstante el consumo de corriente total es de 4 A. Además el voltaje presente en cada carga es de 11.84 V, cuando el voltaje entregado por la barra de distribución fue de 12.6 V. Esto se debe a que cuando se conectan cargas en paralelo se mantiene el voltaje, sin embargo existen pérdidas de potencia que se disipan en forma de calor, asimismo existe una división de corriente en cada una de las lámparas.

La potencia consumida por los elementos es el producto de la tensión en cada elemento y la corriente que fluye a través de él. Como se aprecia en la Tabla 2., la potencia consumida por cada dispositivo fue diferente cuando se hizo la conexión en serie que cuando se hizo la conexión en paralelo. La potencia absorbida por cada carga en paralelo es de 23.5W. La potencia de las lámparas en serie es menor, presentando un valor máximo de 8.6W. Este valor es menor porque hubo una caída de tensión en las lámparas, teniendo un valor de 6V en cada carga. Además la corriente varía directamente proporcional a la variación del voltaje, por ende la corriente consumida también fue menor.

4.4. Control de carga por derivación.

La resistencia de descarga disipa la energía en forma de calor. Con el controlador por derivación se cierra el circuito para conectar la resistencia de descarga al banco de baterías, cuando exista un excedente de energía renovable. También se controla la potencia en la carga, variando el voltaje, si es necesario

Debido a que el tipo de control por derivación se utiliza con más frecuencia con aerogeneradores, en el caso de estudio, su funcionamiento está limitado por la corriente de entrega da 1A del módulo solar. Como consecuencia trabaja por un instante de tiempo de 2 segundos, ya que el excedente de energía renovable es reducido. El controlador de carga entrega hasta 0.6V y 1.5A., La potencia absorbida por la resistencia de descarga es de 0.9 W.

4.5. Interacción fuente de alimentación y cargas AC

Como dispositivos de consumo energético se utilizaron tres lámparas incandescentes de 130V y 60W cada uno.

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 el 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 0.4A y 120V. El total de consumo de corriente es 1.4A, este comportamiento debido 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 4.

El inversor toma la energía necesaria para convertir de 12V CC a 130V AC de la batería.

Tabla 4: Consumo energético de cargas AC

medida	# de cargas	Voltaje (ac)	Corriente (ac)	Potencia
#	Invers	122	1.8 A	207.4

	or	V		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

*Voltaje expresado en voltios, corriente expresada en amperios, potencia expresada en vatios.

Con los resultados de las pruebas aplicadas en esta microrred se realizó un análisis económico sobre de la implementación de la misma para disminuir el consumo eléctrico y económico en una universidad de Quito.

El consumo energético de la luminaria en una oficina es 20w.h. El panel solar utilizado es capaz de producir en promedio 33.33 w.h en un día soleado. Tomando en cuenta que el kW.h en Quito tiene un costo de \$0.09kW.h [14], se realizó un cálculo del ahorro económico y energético dado por el panel solar de la microrred.

Se puede suplir el consumo de la luminaria 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 5.

Tabla 5. Consumo diario de una lámpara fluorescente

Energía generada	Consumo energético	Tiempo de uso de energía renovable	Tiempo de uso de la red

	tico	e	energética
0.03333k W.h	0.02k W.h	9h	6h

Al suplir el consumo energético de la luminaria, se tiene un ahorro en la 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 por Ecuador a la energía eléctrica. El costo real de la energía eléctrica sin subsidio es de \$0,933 kW.h [14]. La implementación de un sistema que sirve para suplir el consumo eléctrico común por el generado por energía solar tiene un costo mínimo de \$783,00 más IVA tomando en cuenta su conexión a la red y los equipos necesarios para el almacenamiento por lo cual se realizó un análisis de factibilidad de la instalación de la misma donde se obtuvo como resultado que la aplicación de este sistema se vuelve rentable al implementar 3 paneles solares que suplen la luminaria de tres oficinas representando un ahorro mensual de \$2,10. La recuperación de la inversión realizada se muestra en la tabla 5.

Tabla 6. Cálculo de rentabilidad y viabilidad

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

5. INFORMACIÓN ADICIONAL

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. [9]

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

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La fuente de energía renovable de la microrred genera una potencia inferior a la necesaria para las cargas aplicadas, por lo tanto esta siempre debe estar conectada a una fuente de alimentación externa (banco de baterías) 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.

Es obsoleto el uso del módulo controlador de carga por derivación para la gestión del excedente de energía renovable en la microrred, ya que su funcionamiento se ve afectado por la reducida corriente de entrega del módulo solar. Además es un tipo de controlador diseñado para fuentes de energía eólica.

El desempeño del módulo solar fotovoltaico se ve afectado por obstáculos periféricos con el potencial de generar sombra sobre este, este efecto se debe a que las celdas solares son extremadamente sensibles a partículas que obstaculicen el paso de luz solar. Además su conexión en serie ocasiona una dependencia entre celdas que pueden limitar la potencia.

La tecnología empleada en la microrred utilizada es de alta calidad y cumple con toda la normativa de seguridad e instrumentación necesaria para su uso. Además, al tratarse de un sistema didáctico, su uso es bastante lúdico y permite un fácil aprendizaje del comportamiento de las energías alternativas.

El uso de energías renovables es factible ya que permiten generar un pequeño aporte al consumo energético y económico de la universidad. La microrred actual 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.

El uso de una microrred contribuye con el aprovechamiento adecuado de energías renovables, ya que contiene módulos aparte de convertir energía, la adecúan, homogenizándola, para una gestión segura de esta, evitando riesgos eléctricos. Además permiten un almacenamiento de esta.

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.

7. TRABAJOS FUTUROS

Se implementará sensores de corriente y voltaje en diferentes puntos del sistema, y conjunto con el entorno Matlab-Simulink se planea diseñar una interfaz gráfica que permita la adquisición, visualización y documentación de mediciones de corriente y voltaje, durante la realización de pruebas en el sistema.

Se proyecta obtener modelos matemáticos que expresen el comportamiento dinámico de los elementos principales del sistema (panel solar, banco de baterías, inversor de potencia y transformadores), y del sistema en conjunto. El

estudio y validación de los modelos se realizará con simulaciones en el software de entorno de diagrama de bloques Simulink®.

Posterior a la obtención del modelo matemático, se planea implementar la técnica de control óptimo (LQR) y diseñar un controlador que gestione el proceso de carga del banco de baterías con la energía proveniente del módulo fotovoltaico; de este modo comparar el comportamiento del sistema con los módulos transformadores, en relación con el controlador a diseñar.

REFERENCIAS

- [1] S. Espiñeira, "Una aplicación de la enseñanza efectiva: Las estaciones de aprendizaje," Julio 2016. [Online]. Available: https://cvc.cervantes.es/ensenanza/bibliotecas_ele/asele/pdf/16/16_0731.pdf.
- [2] A. R.-A. Juan D. Gill, L. Roca, G. Zaragoza, M. Berenguel and J. L. Guzmán, "CONTROL DE PLANTAS DE DESTILACIÓN POR MEMBRANAS," Actas de las XXXVI Jornadas de Automática, pp. 937-943, 2015.
- [3] M. Llano, "La Micro-Red Inteligente: una ciudad eficiente, en miniatura," Universitas Científica, pp. 24-29, 2018.
- [4] A. Miranda, A. Gonzáles, R. Guzmán and O. Ibarra, "Desarrollo de un horno solar para el secado de plantas y vegetales usando control difuso," Actauniversitaria, pp. 14-19, 2012.
- [5] L. V. Isoma, "Gestión de Energía en Sistemas con Fuentes renovables y Almacenamiento de energía basado en Hidrogeno Mediante control predictivo," Tesis doctoral, 2013.
- [6] Y. Sun, S. Li, B. Lin, X. Fu, M. Ramenzani and I. Jaithwa, "Artificial Neural Network for Control and Grid Integration of Residential Solar Photovoltaic Systems," IEEE, 2016.
- [7] I. Esteban, "Estrategias de negocio para la medición inteligente acoplado energías renovables," 17 Mayo 2014.
- [8] D. V. I, *Design methodology for mechatronic systems*, Düsseldorf: VDI-RICHTLINIEN, 2004.
- [9] Lab-Volt, *Sistema Didáctico de Energía Solar y Epolica "Modulo Solar"*, Canadá: Lab-Volt, 2012.
- [10] Lab-Volt, *Sistema Didáctico de Energía Solar y Eólica "Sistemas Solares y Eólicos"*, Canadá: Lab-Volt, 2012.
- [11] G. Enriquez, *Elementos de Protección de Sistemas Eléctricos*, México: Limusa, 2011.
- [12] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid: D. Joachin Ibarra, 2011.
- [13] C. K. S. M. N. O. Alexander, *Fundamentos de circuitos eléctricos*, Tercera Edición ed., México: McGraw-Hill, 2004, p. 44.
- [14] Agencia de regulación y control tarifario, "PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS," 2019.
- [15] L. García Sánchez and V. W. Fernando, "Universidad del Valle," 12 Febrero 2015. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10893/8021>.
- [16] A. Tumbaco and R. Viña, "Universidad Politécnica Salesiana," 2015. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13455>.
- [17] S. Charre, J. Alcalá, N. López and M. Durán, "SciELO," 2014. [Online]. Available:

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50062014000500005&script=sci_arttext.](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-50062014000500005&script=sci_arttext)

[18 M. M. Llano, "La Micro-Red Inteligente: una ciudad eficiente, en miniatura," Universitas Científica, vol. 18, pp. 24-29, 2015.