

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y ANÁLISIS ENERGÉTICO BASADO EN TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS PARA UNA MICRO-RED DE CD

PROPOSAL OF AN ENERGY MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY FOR A CD MICRO-GRID

Jessica Alejandra Araujo Rodríguez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
M1903120@itcelaya.edu.mx

Juan José Martínez Nolasco

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
juan.martinez@itcelaya.edu.mx

Víctor Manuel Sámano Ortega

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
victor.samano@itcelaya.edu.mx

Francisco Gutiérrez Vera

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
francisco.gutierrez@itcelaya.edu.mx

Recepción: 30/octubre/2020

Aceptación: 27/noviembre/2020

Resumen

En el presente artículo se propone un sistema de monitoreo y análisis energético de una Micro-red de CD, el cual consta del proceso de monitoreo mediante un sensor inteligente de las variables de corriente y voltaje de los elementos que conforman a la Micro-red: la red principal de corriente alterna, el arreglo fotovoltaico, las cargas y el banco de baterías. La información se almacenará en una base de datos para su análisis posterior. Para encontrar los valores de factores que impacten mayormente a la eficiencia de generación de energía, considerando las pérdidas y el ahorro energético, se desarrollará una red neuronal que utilizará el algoritmo de BackPropagation y que será entrenada con los parámetros cuantitativos pertenecientes a los factores climáticos y las variables censadas. Los resultados se

visualizarán en una aplicación web interactiva que mostrará gráficos con el histórico de las variables monitoreadas, los factores climáticos y el pronóstico de la red neuronal.

Palabras Clave: Base de datos, Micro-red, Panel fotovoltaico, Red neuronal, Sensor inteligente.

Abstract

In this paper is proposed an energy monitoring and analysis system of a DC Micro-grid, which consists of the monitoring process through an intelligent sensor of the elements that are part of the Micro- grid: the main alternating current network, the photovoltaic arrangement, the loads and the battery bank. The information will be stored in a database for future analysis. To find the values of factors that have a major impact on the efficiency of power generation, considering losses and energy saving, a neural network will be developed will use Backpropagation algorithm and that will be trained with the quantitative parameters belonging to climatic factors and the census variables. The results will be displayed in an interactive web application that will show graphs with the history of the monitored variables, the climatic factors and the forecast of the neural network.

Keywords: Database, Micro-grid, neuronal network, photovoltaic panel, smart sensor.

1. Introducción

En la actualidad se buscan formas más eficientes para reducir el impacto ambiental producido por los combustibles fósiles generando energía a partir de elementos amigables con el medio ambiente [Mirsaeidi, Dong, & Mat Said, 2018], que mejoren el servicio de la red eléctrica en áreas rurales alejadas o bien en áreas urbanas donde la red está saturada. Una Micro-red se considera una solución limpia para aprovechar y gestionar energía eléctrica, mejorar el rendimiento medioambiental, la fiabilidad [Energyst, 2019] y la disminución de pérdidas en el transporte de la energía. Las Micro-redes de corriente directa (CD) son sistemas que integran generadores, almacenamiento (banco de baterías) [Lidula &

Rajapakse, 2011], conexión con la red eléctrica utilitaria (CA) y cargas locales, en un bus de voltaje de CD; por lo tanto, se considera una versión más pequeña de un sistema eléctrico centralizado [Solartía, 2019].

Las Micro-redes se pueden presentar en dos tipos de distribución; corriente alterna (CA) y corriente directa (CD) [Energyst, 2019]. De acuerdo con [Solartía, 2019] las cargas utilizadas en las residencias y oficinas operan en CA pero algunos de los aparatos que se utilizan requieren energía en CD, estos son aquellos que usan baterías o pilas como por ejemplo: teléfonos, computadoras, sistemas de sonidos, etcétera.

Los sistemas de distribución basados en CA requieren diversas etapas de conversión a CD lo que implica una pérdida de energía. La instalación de sistemas de distribución de CD reduce significativamente las etapas de conversión, haciendo que el sistema sea más eficiente, por lo tanto, los sistemas de distribución basados en CD ofrecen ventajas en términos de simplicidad, costo y eficiencia [Rodríguez-Díaz, C. Vasquez, & M. Guerrero, 2016].

Las Micro-redes de CD han tenido un papel importante dentro de la crisis de energía y la contaminación ambiental [Zhaoxia, Zhijun, Guerrero, & Hongwe, 2017] debido a la energía eléctrica generada, lo que permite aprovechar la energía solar para el funcionamiento de diversos componentes como alumbrado público, electrodomésticos, entre otros. Los principales factores que respaldan el uso de sistemas basados en CD son los siguientes [Rodríguez-Díaz, C. Vasquez, & M. Guerrero, 2016]:

- Generación y almacenamiento de CD: Generadores de energía renovable basados en CD, como paneles fotovoltaicos y celdas de combustible, y sistemas de almacenamiento de energía, como las baterías.
- Cargas de CD: La presencia y el consumo de este tipo de cargas aumenta constantemente debido al gran número de dispositivos electrónicos en edificios y hogares.
- Automóviles eléctricos: La integración de la electricidad en los automóviles aumentará el consumo de dispositivos basados en CD (baterías) en edificios y hogares.

- Eficiencia: Los sistemas de distribución de CD son más eficientes que los sistemas de CA, porque en los sistemas de CA existe mayor densidad de corriente en la superficie del material conductor que en el centro.
- Reducción de la etapa de conversión: La distribución de la energía entre los sistemas basados en CD (fuentes, cargas y almacenamiento) a través de un sistema de alimentación de CD evita las conversiones innecesarias de CD-CA y CA-CD, que producen pérdidas de energía.

Las Micro-redes a menudo incluyen tecnologías como la energía solar fotovoltaica (que genera energía de CD) o las microturbinas (energía de CA de alta frecuencia) que requieren interfaces electrónicas de energía como convertidores CD / CA o CD / CA / CD [Planas, Andreu, Gárate, Martínez de Alegría, & Ibarra, 2015].

El monitoreo de los elementos que conforman a la Micro-red consiste en la adquisición de la información relacionada con las variables de corriente y voltaje obtenidos de la red eléctrica principal, los paneles fotovoltaicos, el banco de baterías y las cargas, mediante algún elemento que obtenga los valores de lectura de los sensores. Estos datos deberán convertirse a valores procesables matemáticamente que después serán enviados vía Wifi o Ethernet a algún sitio de almacenamiento para ser tratados, y de esta manera realizar un análisis energético que permita observar las pérdidas durante la transferencia de energía y su consumo, lo que ayudará a tener una visión completa del perfil energético.

El monitoreo tradicional se realiza de manera local, es decir, los componentes se encuentran en una sola estación de trabajo conectados mediante cables Ethernet y en este mismo sitio se observa el comportamiento de las diversas variables que conforman la Micro-red.

El monitoreo tradicional, visto en [Zhaoxia, Zhijun, Guerrero, & Hongwe, 2017], maneja módulos inteligentes y una computadora maestra conectados a un mismo Switch, este sistema maneja el procedimiento de transferencia de datos maestro-esclavo; la computadora maestra le manda comandos de lectura y escritura para que las computadoras esclavo las ejecuten. Esta transferencia se realiza mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP y permite la monitorización a través

de una plataforma que otorga el servicio, a esta supervisión, control y adquisición de datos se le denomina SCADA.

El Internet de las cosas o “Internet of things” (IoT) además de integrar el procesamiento, almacenamiento y comunicación, permite el acceso a la información desde dispositivos remotos, éstos no se encuentran necesariamente en la misma red, lo que permite tener el conocimiento de la información en cualquier lugar. El IoT se define como la interconexión y la interacción de lo digital y el mundo físico, en el que la tecnología permite integrar “cosas” físicas a las redes de información a través de infraestructuras de Internet existentes y emergentes. Lo que hace, es conectar objetos, personas y entornos de información [Hirsch, Parag, & Guerrero, 2018]. La aplicación del IoT en el monitoreo, consiste en la integración de los elementos que conforman al sistema, a través de diversa infraestructura [Morales, 2015] que permita a los elementos interactuar para almacenar y procesar la información y que pudieran tener acceso a Internet. Algunos de los elementos del IoT que permiten integrar un sistema pueden ser: los sensores inteligentes, gestores de base de datos ya se locales o en la nube (lo que incluye cloud computing) y alguna aplicación (por ejemplo, aplicación Web, aplicaciones móviles, software de acceso remoto, entre otros) que permita observar el comportamiento de las variables en tiempo real para mantener informado al usuario en todo momento y en cualquier lugar.

Un sensor inteligente consiste en integrar un sensor que realice un proceso estándar, circuitos eléctricos que permitan calibrarlo y circuitos que generen una salida compatible con bus de transmisión de datos de detección e información del estado del sensor [Tian, 2001]. Un gestor de base de datos es una colección de datos que están relacionados a un conjunto de programas que permite tener acceso a esta información. Su objetivo es permitir el acceso a la información almacenada en la base de datos y guardar información en ésta de una manera eficiente [Wiederhold, 1977]. Las aplicaciones web permiten la generación automática de contenido y la creación de páginas personalizadas según el perfil del usuario [Luján Mora, 2006], el cual puede realizar una o varias tareas y es importante diferenciarla de una página web ya que ésta última sólo entrega información.

El monitoreo frecuente de las variables de una Micro-red de CD hace posible identificar el comportamiento de la transferencia de energía y permite llevar a cabo un análisis energético, es decir, se puede estimar la pérdida de energía, el gasto eléctrico y económico, así como el histórico de consumo.

En este artículo se propone un sistema de Monitoreo y análisis basado en IoT para una Micro-red de CD utilizando aprendizaje supervisado mediante el modelo de RNA (Redes neuronales artificiales), que además de llevar a cabo el análisis energético, realizará la predicción del comportamiento del desempeño del sistema permitiendo realizar un diagnóstico de la Micro-red para establecer metas de ahorro y mejora del aprovechamiento de energía. La implementación de la RNA hará que el sistema funcione como una red inteligente fácil de gestionar. Este sistema estará conformado por un sensor inteligente, un gestor de base de datos y una aplicación web. El sensor inteligente está compuesto por 8 sensores, 4 de corriente y 4 de voltaje, en conjunto con dos microcontroladores Arduino (versión Uno) y módulos ESP8266 que enviarán la información a un gestor de base de datos comunicándolos mediante WiFi. Como gestor, se propone utilizar MySQL por ser Open Source y de fácil manejo de información. El sensor inteligente tendrá comunicación con el gestor de base de datos en todo momento para realizar el almacenamiento de la información en tiempo real de las variables de corriente y voltaje obtenidos de la red eléctrica principal, los paneles fotovoltaicos, el banco de baterías y las cargas, así como el cálculo de la potencia instantánea y la energía eléctrica. Desde la aplicación Web se mostrará el comportamiento de las variables en tiempo real, así como el histórico mediante gráficos, esta visualización podrá realizarse desde cualquier sitio con sólo iniciar sesión en la ventana principal de la aplicación Web.

2. Métodos

En [Andreoni López, Galdeano Mantiñan, & Molina, 2012] se describe la implementación de un sistema de control y monitoreo remoto inalámbrico de un generador solar fotovoltaico distribuido para aplicaciones en Micro-redes, basado en la arquitectura de red de sensores inalámbricos usando el protocolo ZigBee.

Además, se desarrolló una interfaz hombre máquina (HMI) que permite la interacción y gestión de los sensores de manera remota. El sistema también cuenta con una Interfaz gráfica desarrollada en LabView para monitorear voltajes, corrientes y potencias en tiempo real, el estado del sistema y las condiciones ambientales. En el sistema de monitoreo se adquieren variables meteorológicas como la velocidad del viento, la radiación solar, la temperatura ambiente y la temperatura promedio de la superficie. La radiación solar total se mide con una célula solar de referencia y un anemómetro de copas mide la velocidad del viento. Dentro del sistema un dispositivo configurado como ZigBee Coordinator (ZC) (o maestro) se encuentra conectado a una computadora host que realiza el monitoreo y a una interfaz gráfica de usuario. Los otros dispositivos están configurados como ZigBee End Devices (ZED) (o esclavos), estos son los encargados de medir los valores de los módulos fotovoltaicos, el inversor y el entorno y transmitirlos al maestro, el cual recibe los datos a través del enlace de radio ZigBee desde todos los esclavos y los transfiere a la computadora host a través de una conexión USB. En [(Moreno Rincón, Hernández Gutiérrez, Vázquez Flores, & Palacios Molina, 2015] se utilizó el gestor de base de datos MySQL, una tarjeta Raspberry Pi y dos Arduino Ethernet para el monitoreo, análisis y control de procesos de un sistema de cargas automatizado en una residencia, esto con la finalidad de ahorrar energía. La tarjeta Raspberry Pi funge como un servidor que permite alojar a una aplicación web que incluye enlaces a otras páginas web orientadas al control (en donde se puede ver el historial de datos) embebidas en las placas Arduino Ethernet. El medio de comunicación que se propone entre estos dispositivos es Ethernet. La Raspberry Pi además de almacenar la aplicación web desempeña otras funciones: recibe los datos empaquetados enviados por el primer Arduino Ethernet, que corresponden a la información de la lectura de los sensores (obtenidos mediante el programa en Arduino); muestra en la página web el valor de las últimas mediciones recibidas, y permite mantener actualizada la base de datos. Desde el segundo Arduino Ethernet se realizan las tareas de control por lo tanto aloja en su memoria la página web de control que le permite al usuario seleccionar y transferir los valores de referencia para el control; además, se encarga de activar los actuadores cuando

se requiera. Mediante MySQL se tiene acceso a la información almacenada mediante algún buscador web. El usuario puede observar la información a través de las páginas web alojadas en la Raspberry Pi y en el segundo Arduino Ethernet. Esto funciona de la siguiente forma, Raspberry Pi recibe la última lectura de los sensores y la muestra, o bien permite que se visualice el historial de los datos, mientras que el segundo Arduino Ethernet recibe los valores de referencia y muestra el estado de las variables de control.

En [García, Arboleña, Mohamed, Cuadrado Vega, & Cuadrado Vega, 2016], se desarrolló un sistema de control y monitoreo de Micro-redes híbridas de CD/CA con almacenamiento de información en tiempo real. Contiene unidades de medición de corriente y voltaje, así como procesamiento, distribuidas en las Micro-redes. Estas se comunican mediante el protocolo TCP/IP a un servidor local. Se tiene la posibilidad de observar la estimación del estado de las Micro-redes y almacenar la información obtenida de las mediciones de corriente y voltaje. Para conocer el comportamiento del sistema desarrollado se simuló en una plataforma virtual basada en IoT. Su objetivo principal es aislar las perturbaciones y fallas de la red, aumentar la confiabilidad y usar la menor cantidad de energía proveniente de la red eléctrica principal. Para realizar el monitoreo y control de la Micro-red virtualmente, se implementaron nodos (simulando edificios), en cada uno de ellos se tiene una Raspberry Pi conectada mediante TCP/IP a un switch y mediante fibra óptica al controlador central, que ejecuta el algoritmo de estimación de estado, muestra la interfaz gráfica de usuario y almacena las variables procesadas en una base de datos. La arquitectura de la Micro-red se carga desde una base de datos en MySQL, los diferentes objetos y señales se generan de forma dinámica a partir de los datos de configuración de esta base de datos.

En [Zhaoxia, Zhijun, Guerrero, & Hongwe, 2017], se presenta un sistema de monitoreo y adquisición (denominado SCADA) en tiempo real para los parámetros de voltaje y corriente de una Micro-red de CD que incluye una turbina eólica, paneles fotovoltaicos y un banco de baterías. La información recabada se almacena en una base de datos mediante lenguaje SQL. Utiliza el modelo maestro-esclavo para realizar la adquisición de la información mediante Ethernet utilizando Modbus

TCP/IP. Este sistema se basa en la aplicación King View que implementa control, monitoreo y recopilación de datos. Es capaz de emitir alertas cuando los valores de los parámetros caen por debajo de lo esperado mandando mensajes de texto o realizando llamadas a la persona registrada en el sistema. Además, realiza gestión de la energía entregada mediante la computadora maestra, es capaz de realizar una restauración de la planta de energía conocida como “arranque en negro”. Con el uso de King View se tienen módulos inteligentes que permiten la comunicación de los diversos sistemas que conforman a la Micro-red, estos módulos se dividen en dos tipos de comunicación: protocolo de comunicación Modbus RTU y el protocolo de comunicación Modbus TCP / IP. Para consultar los datos históricos en del sistema utilizan la plataforma administrada por el software la cual permite observar el registró de la generación de energía diaria de la turbina eólica y los paneles fotovoltaicos.

En [Rodríguez-Díaz, Palacios-García, Anvari-Moghaddam, Vasquez, & Guerrero, 2017] se propone un sistema de gestión energética en tiempo real para una Micro-red residencial híbrida CD/CA. En el bus de CD se conectan las fuentes de generación de energía renovable (paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas), los sistemas de almacenamiento de energía y las instalaciones de los edificios. En el bus de CA se encuentran conectados los apartamentos. El sistema de gestión de energía realiza una optimización con 24 horas de anticipación para programar la carga y descarga de los sistemas de almacenamiento de energía, así como la inyección y el consumo de la energía de la red.

Las estimaciones realizadas por el sistema de gestión de energía se basan en el pronóstico del tiempo junto con diversos modelos estocásticos de consumo en los edificios. El sistema propuesto utiliza servicios de pronóstico del tiempo y el costo de la energía eléctrica en tiempo real.

Los datos obtenidos de los servicios online junto con los modelos estocásticos permiten reducir el costo operativo y mejorar el perfil de consumo. Se implementó un servicio web para la intercomunicación mediante el protocolo HTTP, esto permite que la información mostrada al usuario sea congruente, esté actualizada y sea flexible.

Sistema propuesto

Se propone para el sistema de monitoreo de este trabajo una Micro-red de CD compuesta por un panel fotovoltaico, un sistema de almacenamiento de energía mediante baterías, conexión a la red principal y cargas conectadas directamente al bus. Si los paneles fotovoltaicos generan más energía de la que se consume por las cargas, esta energía se transfiere al banco de baterías, si el banco de baterías no lo requiere, esta energía se transfiere a la red eléctrica principal. En caso de que la demanda de energía de las cargas sea mayor a la energía generada por los paneles, la red eléctrica principal es la encargada de administrar la faltante, si la red no está disponible, esta energía se toma del banco de baterías. Lo que se desea es obtener el máximo aprovechamiento de los paneles fotovoltaicos. El censado permite conocer la energía generada, almacenada, las pérdidas de energía y la suministrada, por ello se implementan sensores que tomen la lectura de la corriente y el voltaje en cada uno de los componentes de la Micro-red. En la figura 1 se muestra el esquemático de la Micro-red propuesta y la disposición de los sensores que se emplearán.

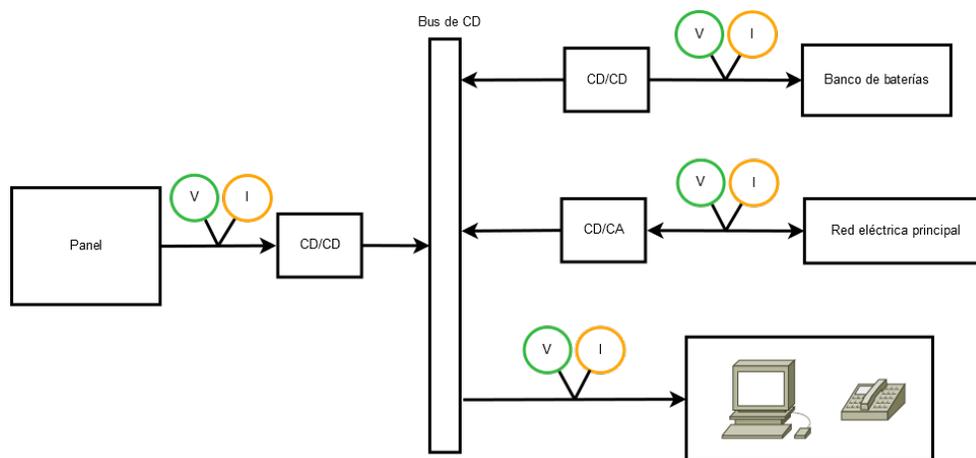


Figura 1 Censado de los elementos de la Micro-red de CD.

Para el censado de los elementos de la Micro-red se usarán sensores de la familia SCT-013-000 (no invasivos) para la lectura de la corriente alterna, sensores ASC71x para la medición de corriente directa y sensores HCPL-7800 para medir el voltaje. Cada uno de los sensores se conecta a una entrada analógica de un Arduino UNO.

La serie SCT-013-000 se trata de una familia de transformadores de corriente de núcleo partido, algunos de los cuales incluyen una resistencia de burden. Estos dispositivos tienen la capacidad de medir corrientes rms máximas de entre 20 y 100 A, esta característica hace de este grupo de sensores una opción versátil pues podría adaptarse fácilmente a diferentes casos de aplicación. Para ejemplificar las características de estos sensores se consideró en este trabajo el SCT-013-030. Este sensor soporta corrientes rms en el devanado primario (línea a medir) de 0 a 30 A, con una relación de 1800 a 1 vueltas y una resistencia de burden de 62 Ω provee una salida de aproximadamente 1 V rms.

El voltaje entregado por un sensor de la familia SCT-013-000 puede calcularse empleando la ecuación 1.

$$v_s = i_p \left(\frac{R_b}{N} \right) \quad (1)$$

En donde v_s es el voltaje de salida, i_p es la corriente en el devanado primario, R_b es el valor de la resistencia de burden y N es el número de vueltas del devanado secundario. Tomando en cuenta que este sensor tiene un offset de 0 V y que el ADC del Arduino no mide voltajes negativos es necesario agregar un offset a la medición con la finalidad de que el Arduino pueda interpretar el semiciclo negativo de la señal. Esto se puede conseguir fácilmente incluyendo un divisor de voltaje como se muestra en la figura 2 [Miron-Alexe, 2016].

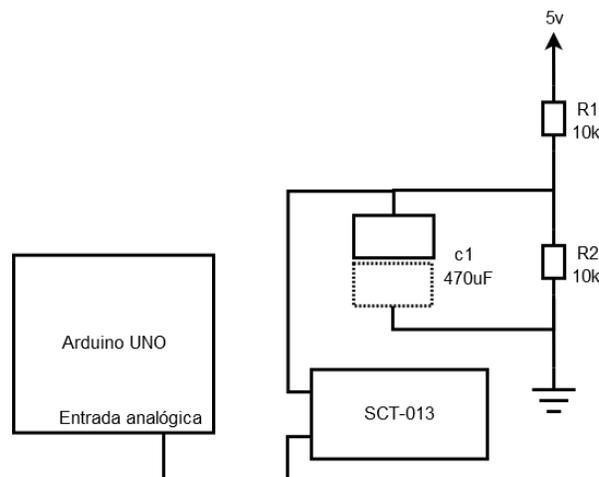


Figura 2 Conexión del sensor SCT-013 con el Arduino.

Por otro lado, la familia ASC71x es un grupo de sensores de efecto Hall. Una desventaja de estos dispositivos, en comparación con los transformadores de corriente de núcleo partido, es que son invasivos. Una característica a favor es que estos sensores miden corriente tanto positiva como negativa con un offset de 2.5 V que los hace compatibles con el ADC del Arduino cuando se requiere medir una señal de corriente bidireccional; esto aplica para el banco de baterías en este trabajo. Si sólo se requiere medir corrientes positivas es necesario aplicar un offset de -2.5 V. En la figura 3 se muestra la curva de corriente medida contra voltaje de salida del sensor ASC71x, esta gráfica ejemplifica el comportamiento de estos dispositivos [Miron-Alexe, 2016].

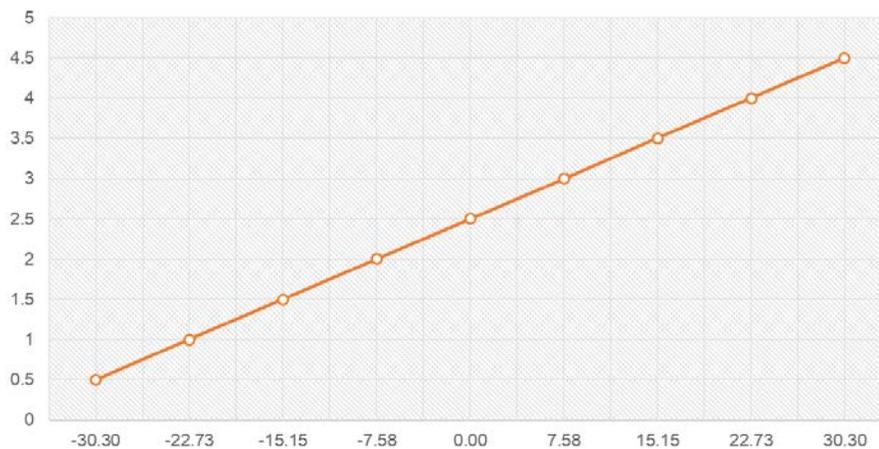


Figura 3 Curva de corriente medida contra voltaje de salida del sensor ASC712.

Las lecturas obtenidas se guardarán de manera temporal en la memoria del Arduino UNO porque es necesario confirmar la existencia de comunicación vía wifi al servidor en donde se alojará la base de datos, esto se realiza para evitar la pérdida de datos recabados de las lecturas de los sensores.

Se usará un módulo ESP8266 para la comunicación y transferencia de datos de la lectura de los sensores vía wifi. Este módulo es ideal para IoT porque da acceso a cualquier microcontrolador a la red. Se contará con un total de 8 sensores, 4 de corriente y 4 de voltaje que serán distribuidos en las diversas partes de la Micro-red. Es importante realizar el censado en el área de cargas para que la red neuronal realice su predicción. Un par de sensores (uno de voltaje y otro de corriente) serán

conectados a cada Arduino Uno para almacenar de manera temporal la información, por lo tanto se tendrán 4 Arduino uno distribuidos por la Micro-red, cada uno de ellos deberá almacenar la información con un identificador (ID) para diferenciar de donde provienen las lecturas de los sensores y guardar la información de manera adecuada en la base de datos, es decir, identificar de qué elemento de la Micro-red se obtuvo la información. Cada Arduino Uno cuenta con 6 entradas analógicas, suficientes para los requerimientos de este trabajo. El módulo ESP8266 viene preprogramado y basta con conectarlo al Arduino Uno para obtener la implementación de la tecnología wifi. El servidor local recibirá la información vía wifi, por tanto, se tendrá que establecer una conexión TCP/IP segura para la transferencia de información. Es preferente implementar un usuario y contraseña para acceder a la conexión ya que se realizará inserción de información en la base de datos, y se recomienda utilizar una IP dinámica para evitar exponer la información o los dispositivos. Un sensor inteligente es aquel capaz de incorporar capacidades cognitivas y de comunicación mediante las cuales pueden establecer una red semántica de información [Capella Dalton, Maciá Pérez, & Ramos Morillo, 2006]. La configuración e implementación de sensores inteligentes visto en la figura 4 permitirá medir y obtener el valor de las variables de corriente y voltaje obtenidos de la red eléctrica principal, los paneles fotovoltaicos, el banco de baterías y las cargas para ser enviados mediante el microcontrolador vía wifi al lugar de almacenamiento de información.

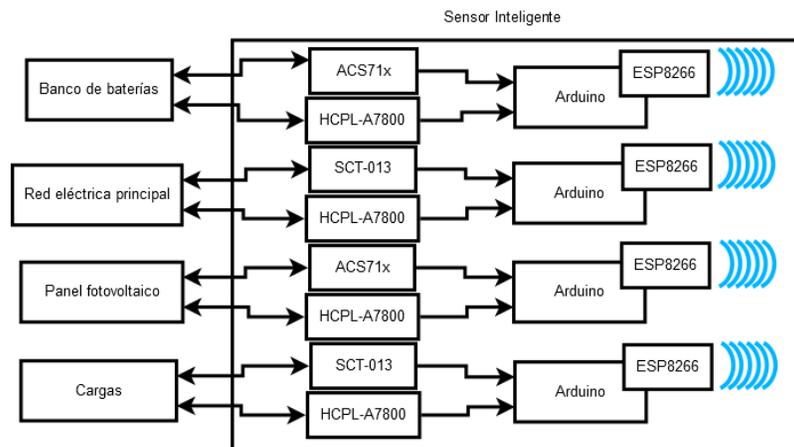


Figura 4 Adquisición de datos para el sistema propuesto.

Los datos obtenidos de la lectura del sensor inteligente se enviarán mediante wifi como se observa en la figura 5 y se almacenarán en tiempo real en una base de datos creada en el gestor MySQL, después se actualizará el historial en la aplicación Web. Una base de datos no sólo almacena la información obtenida por los sensores, además, guarda la descripción de cada uno de estos (a esta descripción se le denomina metadatos). Los metadatos se almacenan en una parte de la base de datos llamada diccionario de datos o catálogo [Marqués, 2009]. Este servidor local cuenta con las características necesarias para contener la aplicación web y la comunicación con el gestor de base de datos de MySQL.

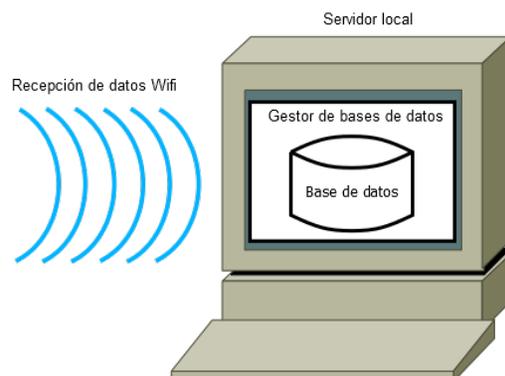


Figura 5 Almacenamiento de datos en el sistema.

La aplicación Web se alimenta de la información contenida en la base de datos MySQL con los últimos datos obtenidos. Mostrará la información respecto a la energía generada por el panel fotovoltaico, la energía almacenada en el banco de baterías, la suministrada e inyectada a la red eléctrica principal, así como la consumida por las cargas. También, será posible observar la predicción del comportamiento de las variables anteriores. Existirá un apartado que genere el historial de estos datos mediante diversas gráficas (histograma y línea). La visualización de esta información es pre-establecida, sólo el administrador podrá realizar los cambios de los elementos presentes en la aplicación Web.

Finalmente, aplicando una red neuronal se podrá gestionar el sistema, permitiendo tomar decisiones con base a la predicción generada por medio del comportamiento de los datos. Una red neuronal es una estructura en forma de grafo dirigido que es

capaz de procesar información [Moreno, y otros, 1994]. En la figura 6, se presenta un ejemplo de esta estructura, compuesta con unidades denominadas neuronas.

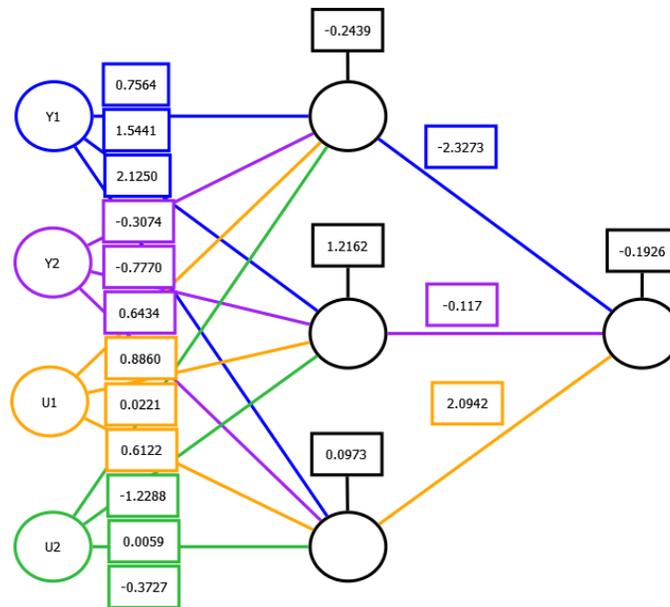


Figura 6 Ejemplo de una red neuronal artificial con diversas neuronas.

Una neurona es una unidad básica de procesamiento, y el conjunto de ellas permiten modelar comportamientos inteligentes, tienen conexiones de entrada mediante los que reciben estímulos externos y generan una salida. Internamente cada una de las neuronas que conforman a la red neuronal artificial realizan cálculos internos con los valores de entrada, esto es, realizan una suma ponderada de cada uno de estos valores tomando en cuenta el peso que se les asignó previamente. Cada una de las conexiones asociadas tendrá un valor que servirá para definir con qué intensidad afectará a la neurona cada variable de entrada, este valor es modificable con valores positivos o negativos, así que la suma puede ser también positiva o negativa. Estos pesos se modifican y sirven para que la red neuronal pueda aprender. Una RNA realiza internamente diversos modelos de regresión lineal. En cada neurona se tendrá un valor independiente que sirve para mover verticalmente la recta y da el control para mover la función, este valor se denomina sesgo o bias. El resultado generado de la regresión lineal es evaluado y si este supera cierto umbral se le asigna a la salida el valor de 1 en cambio si es inferior es

0, la neurona al contar con sesgo se le asigna a este un valor equivalente al opuesto del umbral. La función de activación sirve para conseguir un resultado que genere una manipulación no lineal y provocar cierta distorsión para separar todos los elementos. Existen diversos tipos, entre ellos están: función escalonada, función sigmoide, función tangencial hiperbólica y función rectificadora lineal, entre otros. En el desarrollo de RNA's es muy común el uso del término "BackPropagation" que se refiere a la retropropagación de errores, es un algoritmo de aprendizaje supervisado y se basa en que cada una de las neuronas de la red es responsable de cierto porcentaje del error, esto permite que se modifiquen los valores de cada parámetro en las neuronas de forma recursiva, es decir, el error se mueve hacia atrás, cuando llegue a la primera capa se sabrá cuál es el error para cada neurona y para cada uno de los parámetros, esto evita modificar los valores de manera aleatoria, reduciendo el uso de recursos computacionales.

La RNA a desarrollar e implementar se programará en el lenguaje de programación Python, los datos que utilizará para el vector objetivo serán aquellos valores encontrados en el historial, que cuenten con el mejor aprovechamiento y menor pérdida de energía. Esta utilizará una red neuronal multicapa de tipo BackPropagation considerando que es uno de los algoritmos más rápidos y que requieren menos cómputo. Como función de activación se utilizará la función tangencial hiperbólica para mejorar la perturbación y lograr una mejor separabilidad no lineal. En la tabla 1 se muestra la metodología que se implementará para el desarrollo del proyecto planteado.

Tabla 1 Metodología empleada para el desarrollo del proyecto.

| | |
|---|---|
| 1 | Implementar y configurar los sensores inteligentes. |
| 2 | Configurar el servidor local. |
| 3 | Crear base de datos. |
| 4 | Almacenar variables en la base de datos (en tiempo real). |
| 5 | Desarrollar e implementar una aplicación Web para visualización de comportamiento de variables. |
| 6 | Implementación de red neuronal |
| 7 | Generar reportes mediante la aplicación web. |
| 8 | Generar gráficas. |

3. Resultados

El sistema en conjunto permitirá realizar inferencias en cuanto al comportamiento en la generación de energía eléctrica de los paneles fotovoltaicos, esta depende principalmente del clima y considerando las propiedades (material, cantidad de células, cantidad de voltaje que suministra, potencia máxima) es posible estimar con cuánta energía podrá suministrar a la red eléctrica en el futuro, las redes neuronales fungirán como sistema de inferencia, las cuales se alimentarán con parámetros cuantitativos pertenecientes a los elementos que permiten la generación de esta energía (factores climáticos) y encontrar aquellos parámetros que impacten mayormente a la eficiencia de generación de energía. Gestionar la Micro-red es una alternativa que permite tener un historial de los datos, generar un análisis y una inferencia, introducir la IoT y la inteligencia artificial mejorará el aprovechamiento de las energías renovables. En la figura 7 se muestran los diversos elementos que hacen posible la obtención de los datos con los sensores SCT-013-000 (no invasivos), sensores ASC71x y HCPL-7800, esta información está relacionada con la generación de energía eléctrica de los paneles solares, la inyección a la red eléctrica principal, el consumo de las cargas y la energía almacenada en las baterías, estos elementos conforman al sistema de adquisición de información.

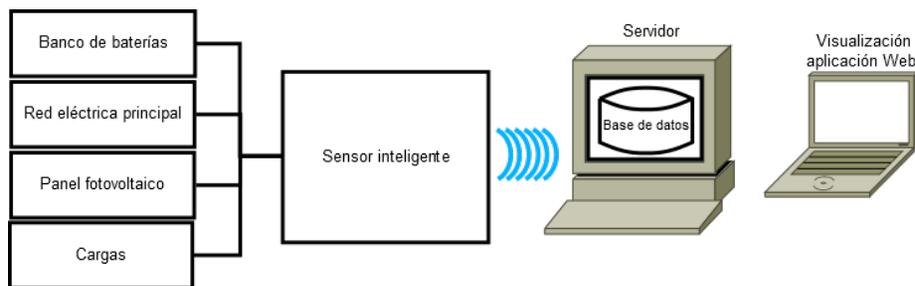


Figura 7 Estructura física del sistema en conjunto.

Para la consulta de la información del gestor de base de datos la aplicación Web deberá realizar diversas consultas basadas en el lenguaje sql (Structured Query Language/ lenguaje de consulta estructurada). Contendrá diversos elementos visuales en cada ventana, para tener acceso a la sección que muestra el conjunto de información se deberá iniciar sesión en la página principal de la aplicación Web

figura 8 (el usuario y contraseña deberán ser proporcionados por el administrador del sistema). Una vez teniendo el acceso se podrá visualizar una ventana similar a la figura 9, en donde se contendrá la información respecto a las variables de corriente, voltaje, potencia instantánea y energía eléctrica, junto con la predicción del comportamiento de dichas variables, así como el valor de la información en tiempo real.

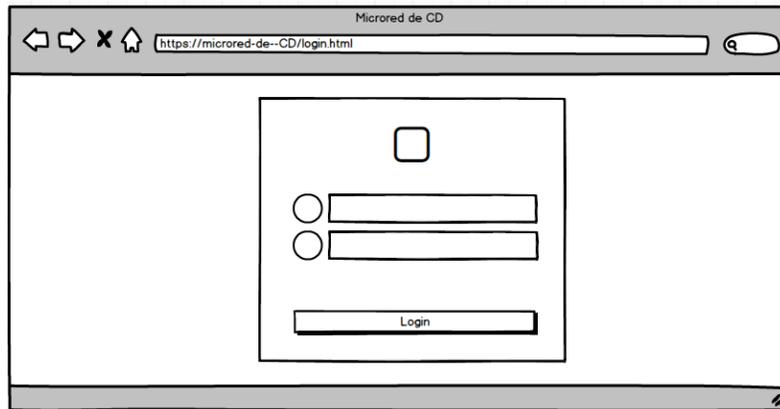


Figura 1 Inicio de sesión de la aplicación Web.

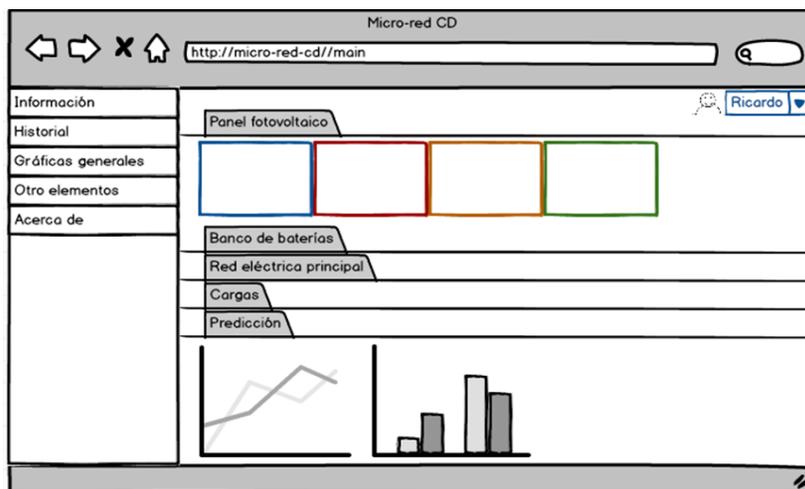


Figura 2 Página inicial de la aplicación Web.

4. Conclusiones

El estado actual de las tecnologías disponibles referentes a hardware y herramientas computacionales permite la creación de estructuras que establezcan

redes de comunicación, análisis, monitoreo y control. El trabajo propuesto es viable con base en la tecnología presentada en este documento. Con su aplicación, la plataforma propuesta repercutirá de forma positiva en el sistema de administración de energía de la Micro-red propuesta, reduciendo las pérdidas de energía y proporcionando las condiciones de operación que repercutan en un ahorro económico, esto gracias a la inclusión del pronóstico implementado con RNA.

Las tecnologías disponibles ofrecen la posibilidad de generar una plataforma versátil, funcional y accesible, lo que la hace aplicable a diferentes sistemas energéticos.

Con las energías renovables y las tecnologías actuales es posible hacer uso de una infraestructura completa para diversos sitios (escuelas, casas, edificios, entre otros.) aplicando IoT que permitan a su vez monitorear de manera constante el comportamiento de las variables de interés para la mejor gestión de la energía entregada por el panel fotovoltaico y distribuido por la Micro-red de CD mediante una predicción del comportamiento con una red neuronal artificial. Si es aplicado de manera adecuada se podrá tener un importante impacto económico y ambiental, debido al consumo inteligente de energía eléctrica.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] S. Mirsaeydi, X. Dong y D. Mat Said., Towards hybrid AC/DC microgrids: Critical analysis and classification of protection strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* N° 90, pág. 97-103, 2018.
- [2] C. R. P. Energyst. (2019), Energyst, Energyst CAT Rental Power: <https://www.energyst.com/es/noticias/micro-redes/>.
- [3] N. Lidula y A. Rajapakse., Microgrids research: A review of experimental microgrids and test systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. XV, pág. 186-202, 2011.
- [4] Solartía. (2019), Solartía Positive Energy: <http://solartia.com/index.php/2019/05/31/que-es-una-micro-red/>.
- [5] M. Morales., Internet of things (IoT) en la transformación digital de las empresas, *INCIPY – Your digital strategy Partner* vol. I, pág. 1-35, 2015.

- [6] E. Rodriguez-Diaz, J. C. Vasquez y J. M. Guerrero., Intelligent DC Homes in Future Sustainable Energy Systems, *IEEE Consumer Electronics magazine* N° 16, pág. 74-80, 2016.
- [7] X. Zhaoxia, G. Zhijun, J. M. Guerrero y Hongwe., Scada system for islanded DC microgrids, *IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* N° 43, pág. 2669-2674, 2017.
- [8] E. Planas, J. Andreu, J. I. Gárate, I. Martínez de Alegría y E. Ibarra., AC and DC technology in microgrids: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* N° 43, pág. 726-749, 2015.
- [9] A. Hirsch, Y. Parag y J. Guerrero., Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* N° 90, pág. 402-411, 2018.
- [10] G. Y. Tian., Design and Implementation of Distributed Measurement Systems Using Fieldbus-Based Intelligent Sensors, *IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement* vol. 50, N° 5, pág. 1197-1202, 2001.
- [11] G. Wiederhold., *Database Design*, Tokio, Japan: McGraw-Hill, 1977.
- [12] S. Luján Mora., *Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web*, Alicante, España: Gamma, 2006.
- [13] M. E. Andreoni López, F. J. Galdeano Mantiñan y M. G. Molina., Implementation of wireless remote monitoring and control of solar photovoltaic (PV) system, *Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA)* vol. XII, N° 5, pág. 1-6, 2012.
- [14] R. Moreno Rincón, M. d. J. Hernández Gutiérrez, M. R. Vázquez Flores y T. B. Palacios Molina., Aplicación web interactiva para monitoreo, análisis y control de procesos con Arduino y Raspberry, *Revista Tecnología Digital* vol. V, N° 1, pág. 1-20, 2015.
- [15] E. Rodriguez-Diaz, E. J. Palacios-Garcia, A. Anvari-Moghaddam, J. C. Vasquez y J. M. Guerrero., Real-Time Energy Management System for a Hybrid AC/DC Residential Microgrid, *Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM)* vol. XVII, N° 5, pág. 256-261, 2017.

- [16] P. García, P. Arboleya, B. Mohamed, A. A. Cuadrado Vega y M. Cuadrado Vega., Implementation of a Hybrid Distributed/Centralized Real-Time Monitoring System for a DC/AC Microgrid With Energy Storage Capabilities, *IEEE Transactions on Industrial Informatics* vol. XII, N° 5, pág. 1900-1909, 2016.
- [17] V. Miron-Alexe., Comparative study regarding measurements of different AC current sensors, 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), pág. 1-6, 2016.
- [18] A. Capella D'álon, F. Maciá Pérez y H. Ramos Morillo., Detección proactiva de patologías en la construcción mediante redes de sensores inteligentes, *Desarrollo de grandes aplicaciones de red: actas*, pág. 23-34, 2006.
- [19] M. Marqués., Bases de Datos, Universitat Jaume I de Castelló, Castelló de la Plana, España, 2009.
- [20] A. Moreno, E. Armengol, J. Béjar, L. Belanche, U. Cortés, R. Gavaldà, J. M. Gimeno, B. López, M. Martín y M. Sànchez., *Aprendizaje automático*, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 1994.