

Sistema de medición de variables eléctricas con redes inalámbricas de sensores

Measurement system of electrical variables with wireless sensor networks

MSc. Vicente Rodríguez Benítez ^{1*}, Ing. Diana María Naranjo Delgado ²

Recibido: 11/2017 | Aceptado: 02/2018

PALABRAS CLAVE

Mallada
Medición,
Microcontrolador,
XBee
ZigBee.

RESUMEN

Como consecuencia de todas las mediciones que se puedan obtener de un sistema productivo, se logran procesos más eficientes, disminuyen los costos de energía y se conoce el patrón de funcionamiento de un área de producción, lo que podríamos llamar hábitos de consumo. Las redes de sensores inalámbricas permiten controlar de forma remota estos procesos industriales. Esta investigación consiste en el diseño y desarrollo de un sistema de medición eficiente de parámetros eléctricos, con el uso de redes colaborativas de sensores, en cuanto a la seguridad y comodidad que le brinda al usuario, y económico en cuanto al ahorro de energía y a los precios para su construcción. Este consta de un nodo central y varios nodos de medición que establecen comunicación entre ellos a través de módulos XBee en modo API y que se comunican entre sí a través de una red mallada. El nodo central envía los datos recibidos de los nodos de medición a una computadora en la cual se ejecuta una aplicación de escritorio desarrollada en RAD Studio XE7. En dicha aplicación se visualizan los datos de corriente y voltaje medidos por cada nodo y además de ellos se grafica la potencia instantánea. El sistema puede ser implementado tanto en la industria, en zonas residenciales, como con fines comerciales. En cada una de estas áreas de aplicación se puede tomar ciertas ventajas del monitoreo remoto, las cuales complementadas con la interacción y el uso de distintas tecnologías y herramientas existentes pueden solucionar distintas necesidades.

KEYWORDS

measurement
Mesh
Microcontroller
XBee
ZigBee.

ABSTRACT

As a result of all measurements we get from a productive system, we can achieve more efficient processes, reduce energy costs and get to know the pattern of running a production area, what we might call consumer habits. Wireless sensor networks enable us to remotely control these industrial processes. This research involves the design and development of a system for measuring electrical parameters, using collaborative sensor networks, efficient in terms of safety and comfort provided by the user, and economical in terms of energy savings and prices for construction. This consists of a central node and several measurement nodes that communicate between them via XBee in API mode and communicating with each other through

1* Universidad de Pinar del Río, Cuba, vicente@upr.edu.cu

2 Universidad de Pinar del Río, Cuba, diana.naranjo@upr.edu.cu

a mesh network. The central node sends the data received from the measurement nodes to a computer in which a desktop application developed in RAD Studio XE7 runs. In that application data current and voltage measured by each node are displayed and besides them the instantaneous power is plotted. The system can be implemented both in industry and in residential areas for commercial purposes. In each of these application areas you can take advantage of remote monitoring, which can solve different needs while complemented with the interaction and the use of different technologies and other existing tools.

Introducción

“Si no se mide la energía que se consume, no se puede controlar; y si no se puede controlar, no se pueden tomar decisiones; y si no se pueden tomar decisiones, no se puede mejorar”, reza un conocido dicho en el ámbito industrial, y que apunta a la necesidad técnica y económica de medir consumo y variables eléctricas en cualquier sector, ya sea industrial, comercial e incluso residencial.

Hoy en día, las aplicaciones relacionadas con las Redes de Sensores Inalámbricas (WSN) han crecido considerablemente debido a las condiciones de libertad de utilización, de movilidad y flexibilidad que ofrecen estos sistemas, viéndose extendidas a campos como la industria, la sanidad, el medio ambiente y la automatización del hogar y de edificios. La combinación de la gran variedad de sensores de bajo coste, bajo consumo y reducido tamaño, junto con las tecnologías de transmisión inalámbricas dan lugar a WSN capaces de procesar enormes cantidades de datos. Siendo la comunicación inalámbrica un tipo de comunicación en la que no se utiliza un medio físico de propagación (wireless, sin cables) ya que utiliza ondas electromagnéticas de baja potencia y una banda específica para transmitir entre dispositivos. (López Pérez, 2015)

Una red de sensores inalámbrica está formada por numerosos dispositivos (llamados nodos) que utilizan sensores distribuidos espacialmente en diferentes puntos y comunicándose entre sí de manera inalámbrica, se encargan de analizar información como temperatura, nivel, presión, etc, en zonas específicas. La información recogida puede ser enviada a un nodo que actúe de pasarela o a un nodo central de comunicación. Cada nodo cuenta con un dispositivo autónomo formado por un microcontrolador, una batería, un radio-transceptor y

un elemento sensor. La capacidad de procesamiento dependerá del tipo de microprocesador que se emplee, la fuente de alimentación limitará la vida útil de la red, la comunicación se realizará mediante un transceptor que hace las funciones de transmisión y recepción y por último, el elemento sensor se encargará de recoger la información de interés.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. ZigBee está diseñado para operaciones de baja potencia, ofrece mayor rango que bluetooth y está diseñado para dar servicio a dispositivos con baja transmisión de datos frente a dispositivos que requieren banda ancha para transmitir video y gráficos. La velocidad de transmisión de datos de una red ZigBee es de hasta 256 kbps y su consumo es de aproximadamente unos 120 mW. (Chaparro de la Peña, 2011).

Zigbee permite cuatro topologías de red: punto a punto, estrella, árbol y mallada. La configuración cuenta con nodos router y con un nodo coordinador. Se trata de una topología no jerárquica en el sentido de que cualquier dispositivo puede interactuar con cualquier otro. Este tipo de topología permite que, si en un momento un nodo o camino fallan en la comunicación, esta pueda seguir rehaciendo los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador. (Chaparro de la Peña, 2011).

Esta investigación consiste en el desarrollo de un sistema de medición de parámetros eléctricos con el uso de redes colaborativas de sensores, específicamente malladas, utilizando microcontroladores arduino como unidades inteligentes, módulos XBee en modo API como medio de comunicación entre los diferentes nodos, sensores para tomar

muestras de voltaje y corriente y una interfaz gráfica de usuario desarrollada con el software RAD Studio XE7. De esta manera, se desarrolla un sistema que brinda seguridad y confort a los usuarios, así como contribuir al ahorro tanto energético como económico.

El sistema implementado puede ser utilizado en una amplia variedad de entornos debido a las facilidades que brindan las redes malladas. De todas las topologías soportadas por ZigBee, la más ventajosa y característica del protocolo es la mallada. El poder hacer enrutamiento dinámico permite a este tipo de topología ganar sobretodo en fiabilidad en las comunicaciones. Es adecuado destacar la importancia de actuar como un equipo. En baloncesto los jugadores necesitan coordinarse entre ellos, en Zigbee pasa un poco lo mismo, los dispositivos pueden conectarse de muchas formas diferentes para dar “fuerza” a la red.

Existen varios lugares en los que se puede implementar el sistema, un ejemplo muy beneficioso sería en zonas residenciales donde pudiese incluirse en cada hogar un nodo de medición y en un lugar centralizado el nodo de control, de esta forma se conoce el consumo eléctrico de cada hogar solamente manteniendo comunicación con el nodo de control (Figura 1). Otro ejemplo sería la utilización de este sistema en zonas industriales y conocer el consumo eléctrico de cada maquinaria de forma remota. El sistema se diseñó con el objetivo de medir consumo eléctrico de forma remota pero es importante resaltar que la red colaborativa puede ser utilizada para transportar cualquier tipo de información debido a las ventajas que presenta con respecto a otras topologías. (Figura 2)

Materiales y métodos

Durante el desarrollo de la investigación se utilizaron varios métodos científicos que favorecieron el proceso de creación. Primeramente se realiza una búsqueda bibliográfica acerca de la tecnología ZigBee y las topologías de red más utilizadas para así tener una mayor referencia para el diseño de la investigación. Después se realizó un análisis de los documentos encontrados en cuanto a ventajas y desventajas de la topología de red a utilizar así como de los software y herramientas a utilizar. El método inductivo-deductivo se utiliza para abstraer los elementos esenciales del proceso apoyándose sobre los procedimientos lógicos. A través de este se logra

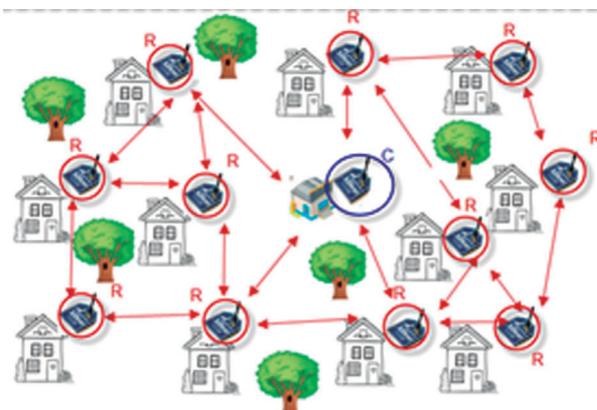


Figura 1. Aplicación del sistema en un vecindario.

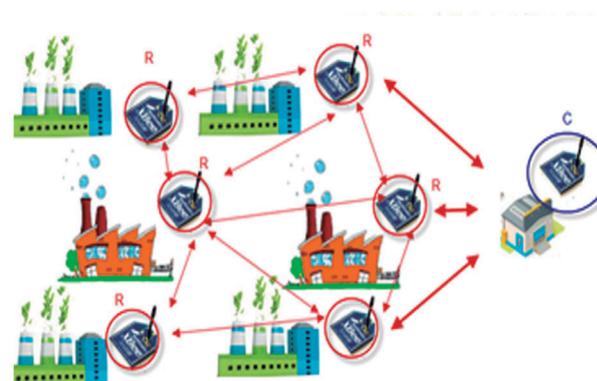


Figura 2. Aplicación del sistema en un ambiente industrial.

establecer generalidades en cuanto al diseño en las distintas áreas tecnológicas que permita transformar el objeto de la investigación.

Otro de los métodos que se tuvo en cuenta fue la simulación como elemento fundamental para evaluar la efectividad de la investigación, esto provocó que se produjeran mejoras en la investigación ya que se encontraron errores y se detectaron elementos que tenían un mejoramiento factible principalmente en el costo tanto computacional como de hardware. También se realiza un análisis estadístico para lograr ver de manera más eficiente las mediciones realizadas, teniéndose así a través de gráficos y demás una mejor visualización de los resultados.

Para el desarrollo de esta investigación se hizo uso de varios software y herramientas entre los que se pueden mencionar:

Software X-CTU con el cual se configuró los módulos XBee para que estuvieran en la misma red así como para definir el módulo coordinador y los módulos router.

El compilador utilizado en la implementación del código que se ejecuta en el microcontrolador, gracias a las facilidades que brinda a la hora de iniciar un proyecto en el mismo, es el IDE de Arduino.

Para el desarrollo de la aplicación de alto nivel, se utilizó el software de programación RAD Studio XE7 que presenta un entorno de desarrollo de software diseñado para la programación de propósito general con énfasis en la programación visual.

El término ZigBee describe un protocolo inalámbrico normalizado, de bajo costo, para la conexión de una Red de Área Personal o WPAN. Las características más importantes del estándar IEEE 802.15.4 son la flexibilidad de la red, el bajo costo y consumo de energía. Este estándar se puede utilizar para muchas aplicaciones domóticas e industriales, donde se requiere una baja tasa de transmisión de datos. (López Pérez, 2015)

ZigBee se ha implementado en la banda mundial de 2.4GHz, sin necesidad de licencia, las frecuencias 868/900 MHz y 2.4 GHz tienen buena penetración tanto a través de paredes y de techos, pero tienen un rango limitado. La limitación de rango es realmente deseable para reducir las interferencias. Una red ZigBee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos. (Girón Fortuño, 2012)

Básicamente contiene 3 tipos de elementos: un único dispositivo coordinador, dispositivos routers y dispositivos finales *-end points o end devices-*. El coordinador es el nodo que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos routers y *-end points-*. Una vez formada la red, el coordinador hace las funciones de router, esto es, participar en el enrutamiento de paquetes y ser origen y/o destinatario de información. Los routers son un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información y los dispositivos finales son los encargados de recoger la información de los sensores que a ellos van unidos y transmitirlas al medio para que estos datos sean gestionados por el coordinador. (López Pérez, 2015)

Los dispositivos finales son los encargados de recoger la información de los sensores que a ellos van

unidos y transmitirlas al medio para que estos datos sean gestionados por el coordinador. Normalmente, estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento.

Zigbee permite tres topologías de red:

Pair (Punto a Punto): La forma más sencilla de la red es con dos nodos. Uno de ellos debe ser un coordinador. El otro puede ser bien un router o bien un *-end device-*.

Star (Estrella): En esta topología el coordinador es el centro de la red y es el que se conecta en círculo con los demás dispositivos *-end devices-*. Por lo tanto, todos los mensajes deben pasar por el coordinador. Dos *-end devices-* no pueden comunicarse entre sí directamente.

Mesh (Malla): La configuración cuenta con nodos router y con un nodo coordinador. Se trata de una topología no jerárquica en el sentido de que cualquier dispositivo puede interactuar con cualquier otro. Este tipo de topología permite que, si en un momento un nodo o camino fallan en la comunicación, esta pueda seguir rehaciendo los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador.

Cluster Tree (Árbol): Es una variación de la topología malla, por lo que no la consideramos realmente como una cuarta topología. En este diseño, los routers forman una columna vertebral con los dispositivos finales, que están agrupados en torno a los routers.

De todas las topologías antes analizadas, la más ventajosa y característica del protocolo Zigbee es la Mesh. El poder hacer routing dinámico permite a este tipo de topología ganar sobretodo en fiabilidad en las comunicaciones. En la figura 3 se muestran las distintas configuraciones.

Los módulos XBee son circuitos integrados e inteligentes, mediante los cuales es posible operar en redes 802.15.4, ZigBee. Son transceptores de radio frecuencia que trabajan en la banda de 2.4 GHz con protocolo de comunicación 802.15.4. Tienen 5 modos diferentes de operar: modo Recibir/Transmitir, modo de bajo consumo, modo comando, modo transparente, modo API. En el modo API tanto comandos como mensajes y respuestas viajan dentro de una trama, permitiendo mandar y recibir mensajes a y desde múltiples módulos remotos de forma sencilla, en una única interfaz serie. En la figura 4 se muestra una trama API. (Faludi, R, 2011).

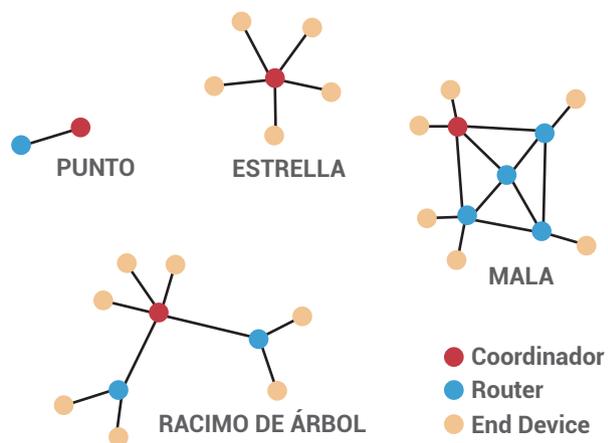


Figura 3. Topologías de red soportadas sobre Zigbee.

Como unidades inteligentes del sistema se seleccionaron los arduinos Mega-2560 y UNO, ya que son considerados como idóneos para este tipo de aplicaciones por las facilidades que brindan, como por ejemplo: existe gran variedad de familias, poseen herramientas de desarrollo comunes, incorporan gran cantidad de unidades funcionales embebidas, amplio soporte (hojas de datos, libros, información disponible en Internet).

Descripción de la herramienta desarrollada

En este apartado se describen las partes funcionales en las que se encuentra dividido el sistema desarrollado, la forma en que se acoplan cada una de ellas, así como una prueba del funcionamiento del sistema para

verificar su capacidad de adquirir y transmitir datos. El sistema está dividido en tres partes fundamentales:

El nodo de control, constituido por un Arduino Mega 2560, que constituye la unidad inteligente del sistema; y como soporte de comunicación un módulo XBee, encargado de crear la red de comunicación debido a su función de coordinador.

El nodo de medición, formado por tres elementos fundamentales, un arduino como unidad central, el soporte de comunicación lo constituye un módulo XBee en su función de router y el circuito encargado de tomar las muestras de voltaje y corriente (sensor).

La interfaz gráfica de usuario, desarrollada utilizando el software RAD Studio XE7, es a través de esta etapa que el usuario puede acceder a monitorear el sistema una vez que se haya autenticado.

En la figura 5 se muestra un diagrama en bloque del prototipo. Este nodo está formado como unidad inteligente por el Arduino Mega-2560, el cual está encargado de interpretar los datos recibidos por el módulo XBee coordinador. El módulo XBee (figura 6) que se encuentra en modo API envía una trama al microcontrolador a través del puerto serie y este determina la dirección origen del dato y los valores de voltaje y corriente que vienen contenidos dentro de la trama.

Una de las principales ventajas de los módulos XBee, además de su pequeño tamaño y sus buenas

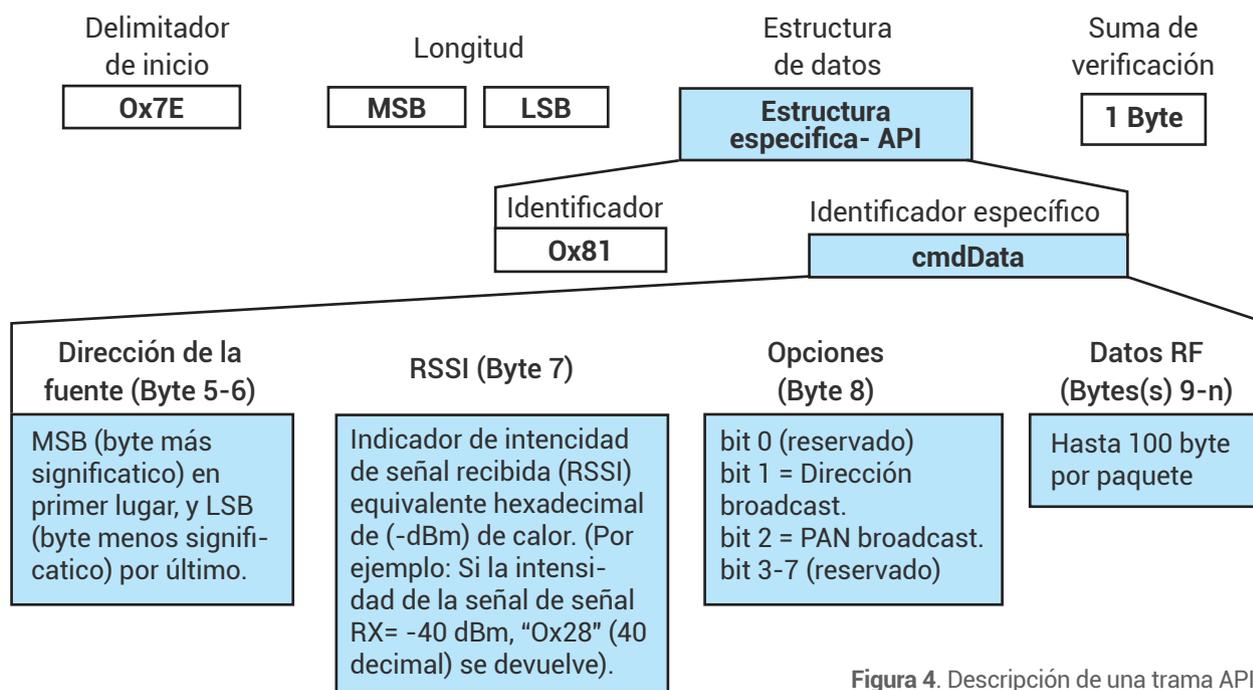


Figura 4. Descripción de una trama API.

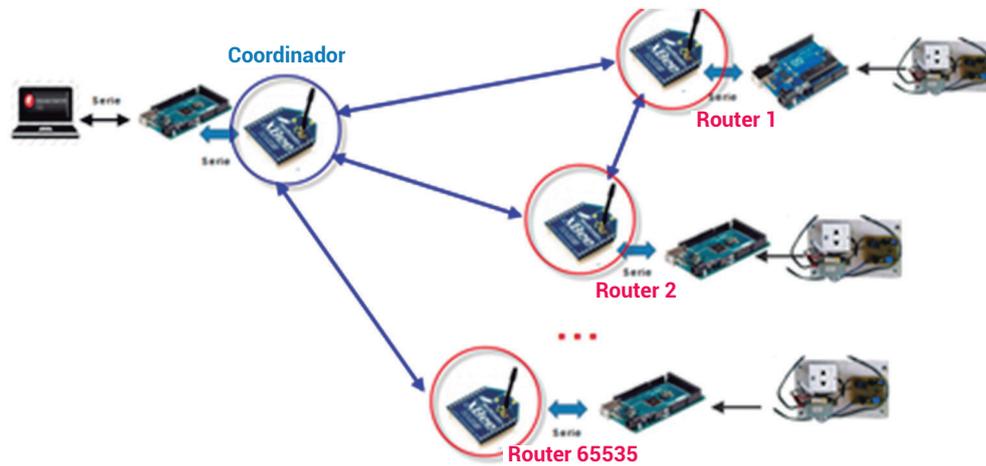


Figura 5. Diagrama en bloque del prototipo. Nodo de control.

características de transmisión y recepción que le brindan un alcance muy amplio, es el bajo consumo de corriente. En la figura 7(a) se muestra la conexión entre el Arduino y el XBee. Es importante resaltar que esta conexión es la misma tanto en el nodo de control como en los de medición. En la figura 7(b) se muestra una imagen del nodo de control.

Nodo de medición

En el nodo de medición el arduino que funciona como unidad inteligente es el encargado de leer los valores de voltaje y corriente entregado por el circuito diseñado. Además de eso tiene la función fundamental de estructurar la trama API, especificando dirección, destino y los valores de voltaje y corriente leídos, y enviarla al módulo XBee conectado a él mediante los pines de transmisión y recepción serie. El módulo XBee a su vez envía esta trama al nodo coordinador. El circuito de medición diseñado es una forma de obtener los valores de voltaje y corriente de un determinado elemento y de esta forma poder obtener la potencia instantánea consumida por el mismo. Debido a que los Arduinos permiten como entrada máxima de voltaje 5V fue necesario calibrar dicho circuito, se realizaron varias mediciones para obtener ecuaciones que respondieran a los valores reales y se implementaron en el Arduino. Es importante destacar que el circuito de medición se diseñó debido a la falta de un sensor especializado para medir estos parámetros, pero de tenerlos pueden ser utilizados de igual forma. En la figura 8 se muestra una imagen del nodo de medición.

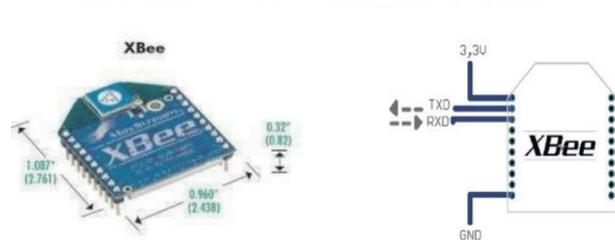


Figura 6. Módulo XBee.

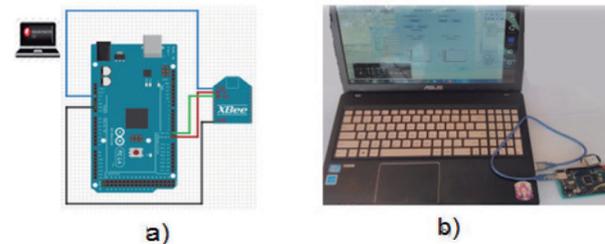


Figura 7. (a) Conexión entre el Arduino y el módulo XBee. (b) Nodo de control.

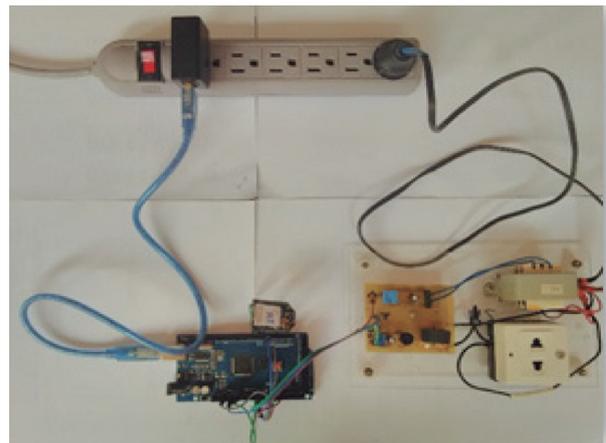


Figura 8. Nodo de medición.

Interfaz software del sistema desarrollado

En esta etapa se desarrolló la aplicación de alto nivel que es la interfaz entre el usuario y el sistema de medición. Se diseñó el sistema teniendo en cuenta la seguridad del mismo por lo que contiene una interfaz de autenticación y una de visualización a la que el usuario puede acceder una vez que ingrese los datos de usuario y contraseña (Figura 9). Esta interfaz de visualización está dividida en varios bloques funcionales, uno para la configuración de la comunicación serie con el Arduino, otro para recibir o no datos, otro para la visualización de los valores de voltaje y corriente correspondiente a cada sensor y otro para graficar la potencia instantánea.



Figura 9. Interfaz de acceso y de visualización desarrollada en RAD Studio XE7.

Resultados y discusión

Para comprobar que el sistema está funcionando correctamente, se ejecuta la aplicación en alto nivel, y el usuario se autentifica. Una vez que se haya escrito correctamente el nombre de usuario y contraseña, debe aparecer la interfaz de visualización.

Estando en la interfaz de visualización se configura la comunicación con el arduino y se oprime el

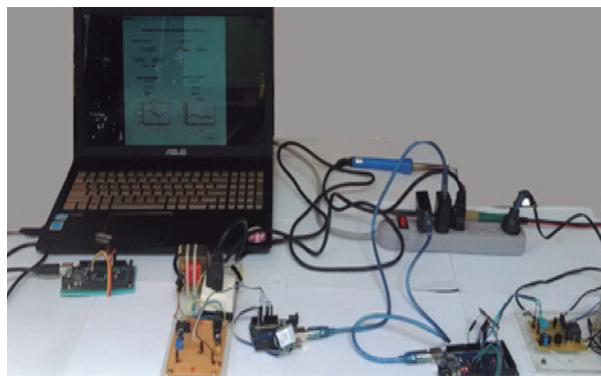


Figura 10. Demostración práctica del sistema.

botón para comenzar a recibir los datos. Luego se visualizan los valores de voltaje y corriente de cada sensor de estar estos conectados sino aparecerá una etiqueta indicando que el nodo de medición está desconectado, a la vez se visualizará en una gráfica el valor de la potencia instantánea.

En la figura 10 se muestra la aplicación práctica desarrollada en la que se visualizan los valores de voltaje y corriente consumidos por diferentes dispositivos.

Conclusiones

Los sistemas a base de redes colaborativas de sensores han tenido un alto impacto en la vida diaria, ya que estos sistemas permiten un mejor entendimiento de nuestro entorno. Se realizó un estudio profundo de estos sistemas y diferentes conceptos necesarios para el desarrollo de este proyecto, como los microcontroladores y software de programación.

Se profundizó en la tecnología inalámbrica ZigBee, como tecnología ideal para este tipo de sistemas, gracias a sus ventajas.

Se construyó y validó prácticamente el sistema de medición, brindando seguridad y confort a los posibles usuarios, además de ser un sistema factible económica y energéticamente.

Referencias

Chaparro de la Peña, M. (2011). Red inalámbrica de sensores de fibra óptica de plástico con tecnología Zigbee. España, Universidad Carlos III de Madrid.

López Pérez, M. (2015). Proyecto de diseño de una red inalámbrica de sensores de bajo coste. España, Universidad Politécnica de Catalunya.

Girón Fortuño, A. (2012). Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo XBee de Digi. S.I, Universitat Rovira I Virgili.

Faludi, R. (2011). Wireless Sensor Network S.I., O'Reilly. ISBN 978-0-596-80773-3