



Ra Ximhai

ISSN: 1665-0441

raximhai@uaim.edu.mx

Universidad Autónoma Indígena de México
México

Cázarez-Ayala, Gerardo; Duarte-Valenzuela, Aldo; Castillo-Meza, Hugo; Rodríguez-Beltrán, Antonio;
Lugo-Zavala, Sócrates; Ramírez-Montenegro, Miguel

SISTEMA DE SENsoRES INALÁMBRICos PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESPACIOS
INTELIGENTES

Ra Ximhai, vol. 10, núm. 3, enero-junio, 2014, pp. 15-25

Universidad Autónoma Indígena de México

El Fuerte, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46131111002>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2014

SISTEMA DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESPACIOS INTELIGENTES

Gerardo Cázares-Ayala; Aldo Duarte-Valenzuela; Hugo Castillo-Meza; Antonio Rodríguez-Beltrán; Sócrates Lugo-Zavala y Miguel Ramírez-Montenegro
Ra Ximhai, Enero - Junio, 2014/Vol. 10, Número 3 Edición Especial
Universidad Autónoma Indígena de México
Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 15 - 25



e-revist@s

SISTEMA DE SENORES INALÁMBRICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESPACIOS INTELIGENTES

WIRELESS SENSOR SYSTEM FOR IMPLEMENTATION OF SMART SPACES

Gerardo Cázares-Ayala¹; Aldo Duarte-Valenzuela²; Hugo Castillo-Meza¹; Antonio Rodríguez-Beltrán¹; Sócrates Lugo-Zavala¹ y Miguel Ramírez-Montenegro¹

Profesor Investigador, Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre S/N, Los Mochis, Sinaloa¹. Alumno residente profesional del Instituto Tecnológico de Los Mochis².

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño, construcción y aplicación de un sistema de sensores inteligentes basado en comunicación inalámbrica, desarrollado con la finalidad de facilitar la implementación de espacios inteligentes, mediante el cual, sea posible el monitoreo y supervisión de las variables físicas ambientales en una residencia o edificio comercial. Con dicho sistema, se pretende coadyuvar en el aprovechamiento y ahorro de energía eléctrica, optimizando el uso de los sistemas de iluminación y aire acondicionado solo en los horarios y condiciones pre establecidas por el usuario final. El sistema integra una variedad de módulos de sensores de Temperatura, humedad, iluminación, monóxido de carbono, gas LP, presencia y ruido, los cuales tienen la capacidad de trabajar de forma colaborativa en redes con topologías en estrella, árbol y malla.

Palabras Clave: Red de sensores inalámbricos, sensor inteligente, topología en Malla, Wifi, Zigbee.

SUMMARY

This paper describes the design, implementation and application of a smart sensor system based in wireless communication protocol, which was developed with the main objective of facilitate the implementation of smart places, whereby monitoring and supervision of environmental physical variables in a residence or commercial buildings.

Based in this system, we want to co-help taking advantage and save electric energy, optimizing the use of the lighting systems and air conditioner only in the schedules and under pre-established conditions for the final user.

The system is based in a variety of nodes o modules of sensors like temperature, humidity, light, carbon monoxide, noise and LP gas which have the ability to work collaboratively in networks with topologies like star, tree and mesh.

Keywords: Wireless Sensor Network, Intelligent Sensor, Mesh topology, Wifi, Zigbee.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se basa en la necesidad de contar con un sistema electrónico de sensores y actuadores eficiente, mediante el cual sea posible la automatización de espacios residenciales y que coadyuve a optimizar el uso y ahorro de la energía eléctrica. De igual manera, el sistema puede ser utilizado en la automatización de procesos productivos y monitoreo de entorno ambientales controlados, como lo pueden ser: monitoreo y automatización de invernaderos, calderas, control automático de sistemas de refrigeración y emisiones de gases y sistemas de detección temprana de incendios forestales, todo esto, de forma poderosa, flexible y económica.

En este sentido, hemos desarrollado la presente propuesta de un sistema de sensores inteligentes inalámbricos con capacidad de trabajar de forma colaborativa en redes de alto desempeño.

El sistema es capaz de operar tres protocolos de comunicación inalámbrica: Digimesh, IEEE 802.15.4 y WiFi. Lo anterior en función de los requerimientos de la aplicación en cuanto a la topología, ancho de banda, cobertura requerida y aprovechamiento de la infraestructura de telecomunicaciones existente en el entorno, si es el caso.

El sistema desarrollado cuenta con dos versiones de módulos. El primero es un *módulo sensor*, cuya tarea principal es la de adquirir las variables que se deseen. Para esto cuenta con sensores intercambiables según se requiera, temperatura, humedad, iluminación, CO₂, Gas LP, presencia y ruido.

El segundo, se trata de un *módulo actuador*, a través de él se realizan las acciones de control de la variable y esta acondicionado con un relevador de estado sólido, con capacidad de hasta 8 amperes y 400 Vac, con el cual pueden manipularse cargas resistivas y pequeños motores de

Recibido: 15 de julio de 2013. Aceptado: 20 de octubre de 2013.

Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai

10(3): 15-25.

hasta 1/3 HP sin problema alguno y de requerirse mayores cargas, puede agregarse una etapa de potencia como contactores trifásicos u otros dispositivos similares.

De igual manera, el sistema incluye una librería de software para la configuración y administración de la red implementada basada en LabVIEW, lo anterior con el objetivo de proveer al usuario o programador con una herramienta para el monitoreo y supervisión del sistema domótico.

Domótica

Muchos investigadores y autores entienden por domótica “*casa automática*” o “*casa que funciona por sí misma*”. Nosotros la entendemos como un conjunto de tecnologías que se integran de forma inteligente en un recinto.

El antecedente de la domótica se remonta al inicio de la prehistoria, cuando los primeros pobladores vivían en cuevas y buscaban una mejora constante de su entorno para satisfacer sus necesidades de seguridad y confort. En la era moderna, la domótica experimentó un gran avance con el advenimiento y desarrollo de la micro-electrónica, y específicamente con la invención de los microprocesadores, permitiéndoles centralizar los mandos y datos de las variables en una unidad de control electrónica y posteriormente en un computador, así mismo, comunicarse con los diversos elementos que conforman el sistema domótico.

En la actualidad existe una gran variedad de sistemas enfocados a la automatización del hogar y edificios, entre los cuales se destaca el protocolo X10, dichos sistemas hacen uso de las líneas de cableado eléctrico pre-existentes en todo edificio y residencia para comunicar los dispositivos de sensores y actuadores con la unidad central o comando. Dicho protocolo de comunicación, mezcla la información y comandos del sistema inteligente montándolos en la señal de energía alterna de potencia y en los años recientes presenta módulos transceptores de radio frecuencia, los cuales, adquieren una señal RF proveniente de sensores inalámbricos y la inyectan a la línea de red eléctrica. Con esto, se logra integrar a los sistemas basados en X10 una serie de sensores inalámbricos (de presencia, iluminación, etc.) los cuales transmiten su señal a los módulos transceptores de RF para que sea inyectada a la línea eléctrica, evitando con esto, al menos parcialmente el cableado de los módulos sensores.

Por otro lado, en la última década, las telecomunicaciones han evolucionado a un ritmo vertiginoso, provocando esto el surgimiento de nuevos protocolos de comunicación inalámbrica con capacidad de trabajar de forma colaborativa y en diversas topologías de redes avanzadas. Tal es el caso de Zigbee, Digimesh e IEEE 802.15.4, entre otros, a través de los cuales es posible la implementación de redes complejas de sistemas de adquisición de datos y control. De igual manera, en los últimos años la microelectrónica ha experimentado un incremento exponencial en cuanto a la miniaturización, permitiendo la alta integración de recursos de cómputo en pequeños circuitos integrados, por lo cual hoy en día es posible encontrar disponibles en el mercado dispositivos microcontroladores con gran capacidad de memoria para programa y datos, interfaces de comunicación, entrada-salida de propósito general, temporizadores, módulos de telecomunicaciones, modos de ahorro de energía, etc.

Sin duda alguna ha sido la miniaturización uno de los principales factores que ha favorecido los altos niveles de integración en C.I. y con esto el surgimiento de dispositivos con comunicación inalámbrica basados en protocolos de comunicación como WiFi (IEEE 802.11 b/g/n), el mismo que años atrás era considerado de uso exclusivamente para operar en sistema de cómputo y otros equipos de altas prestaciones, debido al tamaño del Stack (firmware) requerido para soportar el protocolo de comunicación, hoy en día, se encuentran disponibles en el mercado dispositivos de control con protocolos de comunicación WiFi, Zigbee y Digimesh embebidos.

Digimesh

Es un protocolo de comunicación inalámbrica propietario de *Digi International*, el cual se considera una mejora sobre Zigbee. Digimesh es capaz de operar topologías de red inalámbricas en configuración de malla (*Mesh*) y a diferencia de Zigbee, no especifica diferencias en la funcionalidad de sus nodos de comunicación. En este protocolo de comunicación, todos y cada uno de los módulos o nodos en la red cuentan con la misma capacidad funcional y no es necesario que alguno de ellos sea considerado el *coordinador* de la red, ya que el usuario puede conectarse con cualquier nodo en la red y a través de este administrar la red completa si fuese el caso. Debido a que en Digimesh no se especifica un coordinador, repetidor o dispositivo de función final como en Zigbee, todos los nodos en una red Digimesh actúan como repetidores, de tal manera que esto hace posible conectarse a la red con un equipo de cómputo desde cualquiera de los nodos en la misma.

Por otro lado, Digimesh es perfecta en aquellas aplicaciones donde se requiera de nodos móviles, los cuales se encuentran conectados a la red estando dentro de la proximidad o rango de cobertura de otro nodo en la red, de forma similar a lo que sucede en una red telefónica celular, cuando salimos del área de cobertura de una célula entramos en el rango de cobertura de alguna otra célula y el efecto es que estamos permanentemente conectados a la red celular, y de hecho es así, solo con pequeños instantes en los cuales el nodo en cuestión sale de la cobertura de un nodo y entra en el rango de otro nodo cualquiera en la red.

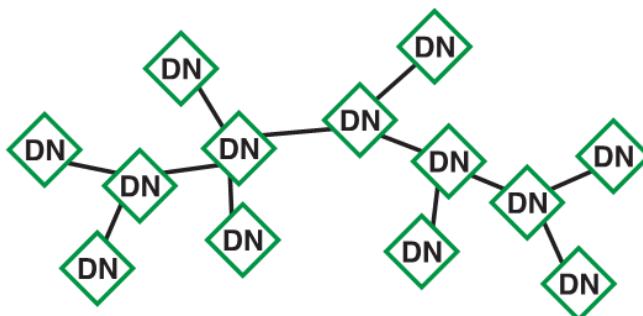


Figura 1.- Topología malla en Digimesh.

En la *Figura 1* se ilustra una topología de malla basada en nodos Digimesh, nótese que no existe nodo alguno con la funcionalidad de coordinador de la red, haciendo de este protocolo de comunicación mucho más simple, al menos conceptualmente en cuanto a las tareas de cada nodo en la red.

Finalmente, algunas ventajas que Digimesh ofrece son una red en malla más robusta y confiable al no depender de una relación padre-hijo entre nodos (todos los nodos actúan de forma similar y se relacionan automáticamente), la totalidad de los nodos pueden implementar modos de ahorro de energía (en Zigbee solo los nodos de función final), simplifica la configuración de la red y como principal limitante que no es un protocolo de comunicación estándar y abierto (propietario Digi International), por tanto, será difícil que pueda inter-operar con otros módulos de comunicación desarrollados por otros fabricantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema desarrollado consta de dos módulos de hardware, donde uno de ellos fue diseñado para realizar las tareas de adquisición de datos y para esto utiliza un par de sensores. Este nodo de adquisición de datos, fue diseñado para operar solo dos canales de entrada analógica, por medio de los cuales se conectan los sensores requeridos. El segundo módulo desarrollado, es un

nodo actuador, este dispositivo es utilizado para realizar las acciones de control y opera una salida digital provista con un relevador de estado sólido, con el cual puede implementarse acciones On-Off.

Ambos nodos cuentan con la capacidad de operar en red mediante protocolos de comunicación IEEE 802.15.4, Digimesh o WiFi.

Módulo sensor

El nodo de adquisición de datos, fue diseñado para operar hasta dos variables de forma simultánea a través de dos canales analógicos de entrada.

Este nodo basa su diseño en los módulos controladores de comunicaciones Xbee Series 1, Xbee Digimesh y RN-XV, según el protocolo de comunicación y topología de red que se deseen implementar, tomando ventaja que estos dispositivos tienen compatibilidad en el factor de forma y patillaje. En el *Cuadro 1* se describen las características de cada uno de los módulos controladores que pueden utilizarse en el sistema.

Cuadro 1.- Características controladores

Controlador	Topología	Ventajas
Xbee Serie 1	Estrella	Protocolo IEEE 802.15.4, fácil usar.
Xbee Digimesh	Árbol y malla	Zigbee mejorado, fácil usar, cobertura extensa, confiable.
RN-XV	Estrella	WiFi, ancho de banda, aprovecha infraestructura existente, cobertura limitada.

El nodo de adquisición de datos esta implementado en un circuito impreso de doble cara y los componentes utilizados son los mínimos necesarios para operar el sistema de forma eficiente y dar cumplimiento a la simplicidad del diseño.

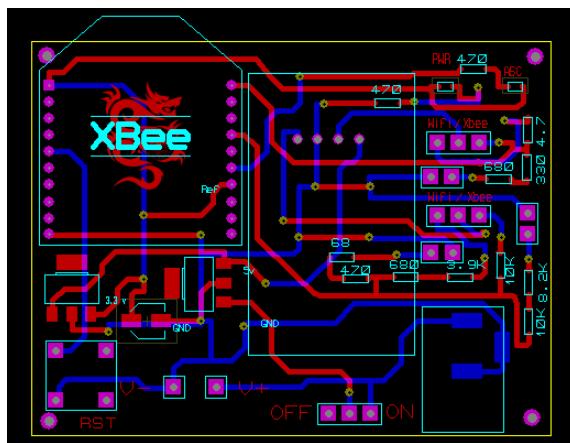


Figura 2.- PCB del nodo de adquisición.

En la *Figura 2* se ilustra el circuito impreso del diseño implementado para el nodo de adquisición de datos. Destaca en este nodo el módulo de comunicación, módulo de sensores intercambiable (en el área central del diseño) y etapas de regulación de voltaje.

En la *Figura 3* se muestra el diagrama esquemático del nodo de adquisición de datos desarrollado. En dicho sistema puede apreciarse las siguientes características:

1. Cuenta con 2 etapas de regulación de voltaje, una de ellas para energizar con $5V_{CD}$ a los sockets de sensores utilizados y la segunda para energizar el sistema interno a $3.3 V_{CD}$.

2. Etapa de acondicionamiento de señales analógicas de entrada, según el módulo de comunicación que se utiliza se selecciona divisor de voltaje.
3. Jumpers de selección de módulo de comunicación. Configura e sistema de acondicionamiento de señal para operar con Digimesh o WiFi.

El nodo deberá ser alimentado con una batería de al menos $6V_{CD}$ para poder garantizar el buen funcionamiento de la etapa de regulación, se recomienda el uso de batería alcalina tradicional de 9 volts, o si fuese el caso, batería de recargable con salida de $7.4 V_{CD}$. Como se puede observar, este nodo está diseñado para operar con alimentación basada en baterías como las antes descritas, pero el sistema no está limitado a otras fuentes de energía que cumplan con estas características.

En la *Figura 4* se observa el nodo de adquisición de datos terminado completamente, el mismo contiene un socket de sensores intercambiable de los disponibles para el sistema.

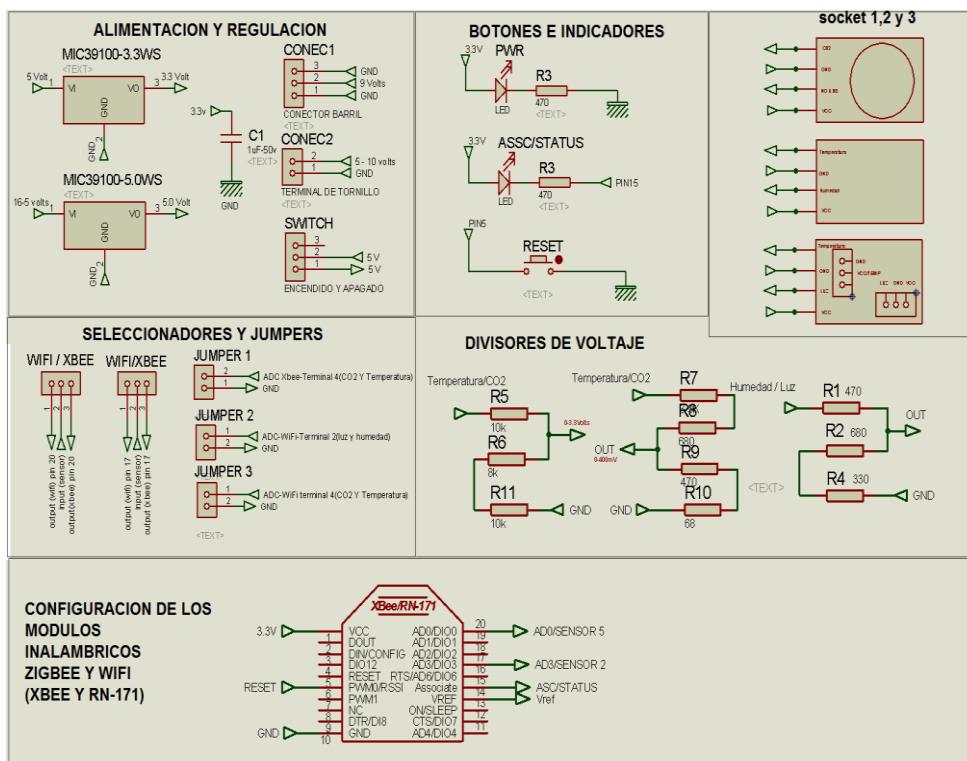


Figura 3.- Diagrama esquemático del nodo de adquisición.



Figura 4.- Nodo de adquisición.

Linealización de sensores

El nodo de sensores para la adquisición de datos desarrollado en este sistema, hace uso de diversos sensores intercambiables. Dichos sensores están dispuestos en pares en pequeñas tarjetas electrónicas insertables al nodo de adquisición de datos y cada una de ellas es codificada y es este código determina un parámetro pre-programable del módulo de comunicación Xbee denominado *Perfil del Dispositivo*. Es a través de este parámetro como el sistema puede determinar el tipo de sensores que se utiliza en cada nodo de adquisición de datos y realizar el método de linealización correcto en la manipulación de los datos de la variable. A continuación se describen los 5 perfiles de sensores de los nodos de adquisición de datos y 1 más para el nodo de actuación:

- 1000: Humedad y Temperatura
- 2000: Temperatura e Iluminación
- 3000: CO₂ y Gas LP
- 4000: Presencia y Estado binario
- 5000: Estado binario (On-Off)
- 6000: Perfil módulo actuador.

Uno de los sensores utilizados por el sistema es el HMZ-433A1, el cual es un módulo dual de sensores de humedad y temperatura, está disponible en el mercado nacional a muy bajo costo. Lamentablemente su sensor de temperatura está basado en un termistor y es no-lineales. Debido a esto, se determinó un algoritmo para la linealización de las lecturas de dicho dispositivo, además que, con esto se compensa la manipulación de las señales de los sensores a través de la etapa de acondicionamiento de la señal. Para esto, cabe destacar, que en este sistema hemos considerado un rango de voltaje de los sensores de 0 a 5 V_{CD}, y los módulos Xbee cuentan con entradas analógicas en rango de 0 a 3.3 V_{CD} y los módulos de WiFi RN-XV en rango de 0-400 mV_{CD}.

De tal forma, para determinar la variable de humedad en Xbee:

Ecuación (1)

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\left(\frac{\text{Lectura ADC}}{1023} \right) * 5.0}{0.033}$$

De igual manera, el cálculo de temperatura:

Ecuación (2)

$$^{\circ}\text{C} = \left(\frac{1}{0.00237 + 0.00025(\ln R) + 0.0000003(\ln R)^3} \right) - 273.15$$

En el caso de utilizarse módulos inalámbricos RN-XV con protocolo WiFi, las ecuaciones 3 a 5 son las determinadas para la linealización de las lecturas de los sensores.

Ecuación (3)

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{\left(\frac{\text{Lectura Digital } \mu\text{V}}{1,000,000} \right) * 8.25}{0.033}$$

Ecuación (4)

$$R = \frac{54.0 * (1023 - \text{Lectura Dig})}{\text{Lectura Dig}}$$

Ecuación (5)

$$^{\circ}\text{C} = \left(\frac{1}{0.00237 + 0.00025(\ln R) + 0.0000003(\ln R)^3} \right) - 273.15$$

Nodo actuador

Con la finalidad de llevar a cabo las tareas de actuación en un módulo completamente independiente de la adquisición de datos, fue diseñado e implementado un nodo actuador, cuya principal finalidad es que a través de él se realicen las tareas de manipulación de las variables. Dicho nodo de actuación, tiene capacidad para controlar solamente una variable y fue diseñado de esta manera bajo el principio que estos operaran en un sistema de control distribuido, por lo cual, pueden agregarse tantos nodos actuadores o de acción como la aplicación los requiera.

El nodo desarrollado tiene la capacidad de operar cargar de hasta 8 amperios y voltajes que no sobrepasen $400 \text{ V}_{\text{CA}}$, con lo cual es posible manipular una gran variedad de dispositivos como fuentes de iluminación, pequeños ventiladores, alarmas sonoras, etc. De igual manera, si se requiere, puede activarse una segunda etapa de potencia para sistemas trifásicos como contactores.

Este nodo actuador cuenta con la característica de que utiliza una conexión directa a 110V_{CA} e internamente contiene una etapa de regulación de voltaje a $3.3 \text{ V}_{\text{CD}}$ para energizar el módulo de comunicación utilizado. Asimismo, con motivo de optimizar el sistema, la salida del relevador de estado sólido presente en el diseño, está directamente conectado a la señal de $110 \text{ V}_{\text{CA}}$, por lo cual al activarse la señal de control del relevador se energiza directamente la carga con 110V_{CA} .

En la *Figura 5* se ilustra el circuito PCB diseñado para el nodo actuador del sistema. Este prototipo también fue implementado en PCB doble cara.

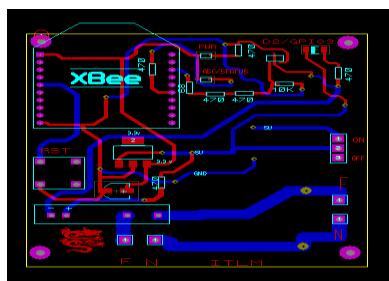


Figura 5.- PCB Nodo actuador.

En la *Figura 6* se muestra el prototipo del nodo actuador. Se destacan en esta imagen el módulo de comunicación inalámbrica, la etapa de regulación y alimentación y la salida de potencia a través del relevador de estado sólido utilizado en el diseño.



Figura 6.- Prototipo Nodo actuador.

El sistema opera en base a comandos remotos, los cuales son transmitidos desde la unidad de control o computador central conectado directamente a cualquiera de los nodos en la red, en el caso de Digimesh y IEEE 802.15.4.

Una vez que la secuencia hexadecimal se recibe en un nodo a través de la interface serial, esta se decodifica, y si el código de operación (API ID Frame) es 0x17 se determina que es un *comando remoto*, es decir, es un comando el cual va dirigido a otro nodo en la red. De forma automática, el nodo local determina la dirección del nodo en cuestión (la cual va integrada en la secuencia hexadecimal) y se envía el requerimiento a dicho nodo, este ejecuta el comando y envía los datos de respuesta al nodo local, el cual los hace fluir a través de su interface serial al computador.

Cuadro 2.- Comandos y secuencia hexadecimal

Comando	Secuencia Hexadecimal
Descubrimiento de la red (ND)	7E000F17520013A200408259FFFE024E442D
Toma de muestras (IS)	7E000F17520013A200408259FFFE02495323
Establecer muestreo periódico	7E001117520013A200408259FFFE0249520FFF16 (cada 0xFFFF msSeg)
Establecimiento de una salida digital a 1. (D2)	7E001017520013A200408259FFFE0244320544
Establecimiento de una salida digital a 0. (D2)	7E001017520013A200408259FFFE0244320445

Básicamente este es el procedimiento que se realiza, el cual consta de tan solo cuatro comandos operativos. En el *Cuadro 2* se describen los formatos de estos comandos. En este caso se supone los comando están dirigidos al nodo cuya dirección de 64 bits es 0x0013A20040820859 en la red y se originan desde el nodo con dirección 0x0013A20040820840.

Cuando se está operando en protocolo de comunicación WiFi con el módulo RN-XV en los nodos de adquisición de datos y actuador, es posible conectarse directamente al punto de acceso (AP) de la red mediante el puerto WiFi o Ethernet del PC. En este caso los valores de las variables se envían en μ Volts, deben convertirse a volts y determinar los valores de acuerdo a las ecuaciones 3, 4 y 5. Los protocolos soportados son: TCP/IP y UDP.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para efectos de probar el sistema desarrollado se implementó un sistema inteligente domótico en el laboratorio de Ingeniería Electrónica.

Con esta finalidad, se seleccionaron las dos aulas virtuales inteligentes (AVI) existentes en el laboratorio, ambas están ubicadas en la planta baja de dicho recinto y se encuentran a una distancia en línea recta de aproximadamente 25 metros sin obstáculos o divisiones, excepto los que conforman la división de cristal y triplay con marco de aluminio de las mismas aulas AVI. En cada una de las aulas se instalaron módulos de adquisición de datos para las variables: Humedad y Temperatura, Iluminación, Presencia y estado binario. La finalidad de esta configuración fue el monitorear la humedad y temperatura con un módulo (perfil 1000), la iluminación al centro-en pared del aula y presencia de alumnos y estado de la puerta.

También se utilizaron dos nodos actuadores, el primero de ellos para actuar la fuente de luz y el segundo para activar o desactivar el sistema de refrigeración mediante una interfaz de potencia contactores bifásicos con capacidad de operación de hasta 30 amperes. En la *Figura 7* se ilustra una vista de la planta del laboratorio y ubicación de las AVI.

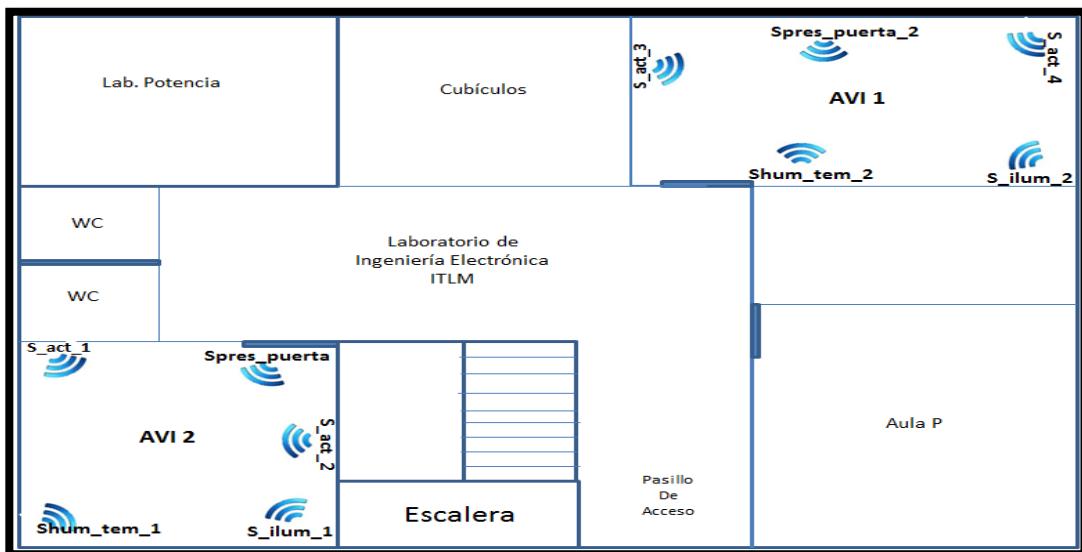


Figura 7.- Vista arquitectónica de la planta del recinto de prueba.

La red que se implementó fue utilizando el canal 0x0C (12) y la frecuencia central de trabajo fue 2.46 Ghz.

Cabe destacar que en el momento de las pruebas se examinó el espectro radiofónico y se detectaron 2 redes inalámbricas WiFi coexistiendo en el rango de cobertura y ambas configuradas en el canal 1 de dicho protocolo con frecuencias de trabajo en el rango de 2.4 Ghz a 2.42 Ghz, lo cual no provocó interferencias en nuestra red.

Los información de los sensores fueron centralizados en un equipo de ubicado en la oficina de la Jefatura del Laboratorio, desde donde se lleva a cabo la supervisión de las aulas AVI.

Para esto, se desarrolló una interfaz de usuario basada en LabVIEW, desde la cual es posible establecer los parámetros de actuación para cada una de las variables (se implementó acción de control On-Off con brecha diferencial) y los comandos u órdenes a los nodos de actuación se realizan por medio de un nodo conectado localmente vía interface USB.

Cuadro 3.- Resultados de pruebas realizadas

Prueba	Rep.	Result.	Observación
Descubrimiento de la Red	100	100%	La totalidad de los 10 nodos respondieron en lapso establecido por NT.
Comunicación	1000	100%	Solo se considera nodo responde, no valida respuesta.
Tiempo respuesta	100/nodo	860 ms. promedio	Comando toma de Muestras "IS"
	100/nodo	457 ms	Set salida=1 actuador
	100/nodo	435 ms	Set salida=0 actuador

Las pruebas realizadas a la red consistieron en tres etapas. La primera de ellas, fue la de descubrimiento de la red. Esta prueba consistió en resetear la red y 5 segundos después generar un comando de *descubrimiento de nodos* (ND) en la red. La segunda etapa, fue la prueba de comunicación, en la cual solo se consideraba si el nodo o los nodos en cuestión entablaban la comunicación. Finalmente, el tiempo de respuesta, en la cual se medían los tiempos de respuesta a los comandos enviados a cada uno de los nodos.

En el *Cuadro 3*, se ilustran los resultados obtenidos en estas pruebas realizadas, se indican el número de repeticiones y el resultado alcanzado.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al sistema de nodos de adquisición de datos y actuación concluimos que es una herramienta potente y confiable para la implementación de espacios inteligentes en aplicaciones residenciales y comerciales. Además, permitirá experimentar con nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica que hagan posible este tipo de aplicaciones más fáciles de implementar, con mayor grado de flexibilidad para incorporar sensores de diversas variables físicas y a un costo económico inferior a los sistemas actualmente comercializados en el mercado.

LITERATURA CITADA

- Karl, H. y Willing, A. (2005). *Protocols And Architectures For Wireless Sensor Networks*. West Sussex: John Wiley & Sons, ISBN: 978-0470095102.
- Forouzan, B. (2002). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Aravaca: McGraw-Hill, ISBN: 978-8448156176.
- Callaway, E., Gorday, P., Hester, L., Gutierrez, J. A., Marco, N., Heile, B. y et al. (2002). *Home networking with IEEE 802.15.4: A developing standard for low-rate wireless personal area network*. IEEE Communications Magazine, pages 70-77.
- Digi International. (2011). Inc. *Xbee-Pro 2.4 Digimesh RF Modules Datasheet*. Minnetonka: Digi International, Inc.
- Roving Networks. (2011). *WiFly GSX 802.11 b/g Wireless LAN Module Datasheet*. Disponible en: http://www.rovingnetworks.com/resources/download/11/RN_131
- Zhao, F., Guibas, L. J (2004). *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*. Massachusetts, Morgan Kaufmann. ISBN: 978-1558609143.
- Smith J. M., Van Ness, H. C. (2007). Abbot,t M. M. *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. Madrid, McGraw-Hill, ISBN: 978-9701061473.

Síntesis curricular

Gerardo Cázares Ayala

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

Aldo Duarte Valenzuela

Estudiante y Residente Profesional en la carrera de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

Hugo Castillo Meza

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

Antonio Rodríguez Beltrán

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

Sócrates Lugo Zavala

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.

Miguel E. Ramírez Montenegro

Profesor Investigador Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre s/n, C.P. 81279, Los Mochis, Sinaloa, México.