



Ra Ximhai

ISSN: 1665-0441

raximhai@uaim.edu.mx

Universidad Autónoma Indígena de México
México

Cázarez-Ayala, Gerardo; López-Macías, Cesar; López-Ruelas, Andrés; Morales-García, Joel;
Montoya-Enríquez, Adán; Castillo-Meza, Hugo; Fonseca Beltrán, Jaime
DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE
SENSORES INALÁMBRICOS BASADOS EN EL PROTOCOLO ZIGBEE
Ra Ximhai, vol. 7, núm. 3, septiembre-diciembre, 2011, pp. 315-324
Universidad Autónoma Indígena de México
El Fuerte, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46121063001>

- 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

2011

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS BASADOS EN EL PROTOCOLO ZIGBEE

Gerardo Cázarez-Ayala; Cesar López-Macías; Andrés López-Ruelas; Joel Morales-García; Adán Montoya-Enríquez; Hugo Castillo-Meza; Jaime Fonseca-Beltrán

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 7, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 315-324.



e-revist@s



DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS BASADOS EN EL PROTOCOLO ZIGBEE

DESIGN OF A DIDACTIC PROTOTYPE FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS IMPLEMENTATION BASED IN ZIGBEE PROTOCOL

Gerardo Cázarez-Ayala¹; Cesar López-Macías²; Andrés López-Ruelas²; Joel Morales-García²; Adán Montoya-Enríquez²; Hugo Castillo-Meza¹; Jaime Fonseca-Beltrán¹.

¹Profesores Investigadores del Instituto Tecnológico de Los Mochis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Blvd. Juan de Dios Batiz y 20 de Noviembre, Los Mochis, Sinaloa. ²Residentes Profesionales, del Instituto Tecnológico de Los Mochis.

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño e implementación de una estación de adquisición de datos remota didáctica (*nodo*) con capacidad de trabajo en red.

Dichos *nodos*, se basan en el módulo de comunicación inalámbrica Xbee de Digi, los cuales operando en modo de bajo consumo energético son capaces de proporcionar autonomía de hasta 30 meses utilizando una simple batería de 9v, bajo condiciones específicas de transferencia de datos vía RF.

Estos *nodos* desarrollados, cuentan con la capacidad de trabajar de manera distribuida y en diversas topologías de red e implementan los protocolos de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 y Zigbee. El primero de ellos para implementar topologías estrella y comunicación punto a punto; Zigbee, por otro lado, da soporte a la implementación de topologías en configuración de árbol y malla, logrando con esto coberturas de trabajo extremadamente extensas, debido a que estos nodos en particular pueden de forma indistinta actuar como *nodo repetidor* y/o *nodo adquisición de datos*.

Creemos que el presente trabajo lleva a cabo una importante aportación e impacta significativamente en la automatización de procesos de monitoreo de ambientes naturales como reservas ecológicas, monitoreo de variables en los diversos cultivos mediante técnicas de invernadero o al aire libre, detección de incendios forestales en forma temprana, monitoreo de variables en estanques acuícolas y automatización del proceso de producción y cultivo de diversas especies como el camarón y tilapia en la región, hasta el ahorro de energía mediante la implementación de espacios inteligentes y domótica.

Palabras clave: Redes de sensores inalámbricos, Digimesh, adquisición de datos.

SUMMARY

The present work tries to describe the design and implementation of a didactic wireless data acquisition station (*node*) with the capacity of net operation. Which *nodes*, are based in the Xbee wireless communication module of Digi International, which are capable of achieve long periods of autonomous energetic, approximately 30 months with just a simple 9 volts battery and under specific conditions of transference of data via RF.

We think that the present work has a very important contribution and significant impact in the automation of processes of nature environment monitoring like ecological reserves, health of the forests, early forest fires detection, monitoring of the diverse variables of the sows in a greenhouse or out of them, monitoring and supervision of variables in shrimp and Tilapia farms in the region up to the energy save through the implementation of smart spaces and the demotic.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Digimesh, Data Acquisition.

INTRODUCCION

La tecnología actualmente avanza a un paso muy acelerado y el uso de tecnologías inalámbricas para la obtención de datos a distancia se hace cada vez más popular a la hora de seleccionar la infraestructura a implementar cuando se intenta formar una red de sensores y actuadores para el control de procesos, es por eso que la implementación de dispositivos autónomos con sensores capaces de formar una red inalámbrica confiable son necesarios a la hora de automatizar un proceso industrial, residencial o comercial.

Con la finalidad de contar con dispositivos capaces de tomar medidas de sensores y llevar a cabo la activación de actuadores de forma inalámbrica se realizó este proyecto, cuyo objetivo principal es el diseñar e implementar un sistema electrónico capaz de adquirir señales analógicas y digitales de forma autónoma, el cual cuente con la capacidad de trabajar en red.

Lo anterior con la finalidad de que pueda ser utilizado en aplicaciones de monitoreo de variables ambientales; monitoreo, control y supervisión de procesos productivos en la industria y un gran número de aplicaciones en las actividades económicas de la región del norte de Sinaloa, como lo pueden ser: supervisión y monitoreo de variables físicas

en el desarrollo de cultivos en invernadero y a cielo abierto, monitoreo de variables como temperatura del agua, nivel de oxígeno, niveles de PH y demás en estanques para el cultivo de camarón y otras especies en granjas acuícolas, monitoreo de los consumos de agua por parcela agrícola y distritos de riego, estudiar niveles de contaminación y presencia de diversos químicos en drenes agrícolas y ríos de la región y todas aquellas que impacten de alguna manera en el desarrollo sustentable de las actividades económicas en la región y en la explotación y aprovechamiento de los recursos renovables como agua, aire, suelos, bosques, reservas ecológicas y demás.

Con esta finalidad, el prototipo a ser desarrollado deberá contar con la capacidad de conectarse sensores y actuadores de forma directa y través de entradas analógicas, entradas digitales, salidas digitales y salidas PWM, deberá basarse en protocolos de comunicación inalámbrica que hagan posible el implementar una red de sensores inalámbricos en diversas topologías, las cuales permitan el monitoreo de variables en extensas áreas geográficas de forma autónoma, fácil y económica. Permitiendo de esta manera conocer y monitorear las variables que se presentan en un algún proceso con la finalidad de controlarlas y mejorar el aprovechamiento y explotación de la actividad.

Hoy en día, el gran avance y miniaturización que experimenta la electrónica en general ha permitido el desarrollo de circuitos integrados muy poderoso, es el caso, de los nuevos avances que presentan los módulos de comunicación vía radio frecuencia, los cuales son capaces de manejar comunicaciones punto a punto, punto a multipunto y configuración que van desde estrella hasta topologías muy avanzadas como lo es la tipo malla (mesh).

Estos dispositivos permiten una comunicación *full duplex*, es decir, son auto configurables como receptores y/o transmisores, lo cual es una característica muy favorable ya que reduce muy significativamente la circuitería de diseño si

se desea comunicación en ambos sentidos. En este sentido, el módulo de radio *Xbee* utilizado en este trabajo presenta algunas de estas características lo cual favorece el desarrollo de este tipo de proyectos proveyendo al diseñador estas capacidades de trabajo.

En este sentido, los avances logrados en el desarrollo de dispositivos inteligentes como microcontroladores con capacidad de ser programados mediante lenguajes de alto nivel y en ambientes intuitivos para el desarrollo, hacen posible la implementación de aplicaciones cada vez más complejas de forma sencilla.

Zigbee es un protocolo inalámbrico abierto y definido por *Zigbee Alliance*, un grupo de grandes empresas cuyo fin es el de definir una especificación para la comunicación inalámbrica con la finalidad de estandarizar sus características, entre los principales promotores de este protocolo se encuentran *Motorola, Honeywell, Samsung y Phillips*.

Este protocolo presenta importantes características como velocidad de transferencia, facilidad de implementación de topologías de red en malla y robustez y confiabilidad, las cuales lo hacen ver prometedor en aplicaciones de monitoreo de ambientes naturales y control de procesos industriales, en los cuales no se requiera una gran capacidad en la transmisión de datos en cuanto a velocidad y cantidad de los mismos. Zigbee opera sobre las bandas de frecuencias portadoras libres en los rangos de 800-900 Mhz y 2.4 Ghz y cuenta con un ancho de banda máximo de 250 Kbps.

A diferencia de otros protocolos, Zigbee fue diseñado para la comunicación de datos exclusivamente, debido a su bajo ancho de banda está dirigido a aplicaciones de bajo niveles de transferencia de datos y bajo consumo energético.

En la figura 1 se ilustran los principales protocolos inalámbricos y sus aplicaciones típicas. Así mismo, la figura 1, describe la velocidad de dichos protocolos contra la cobertura en distancias que proporcionan.

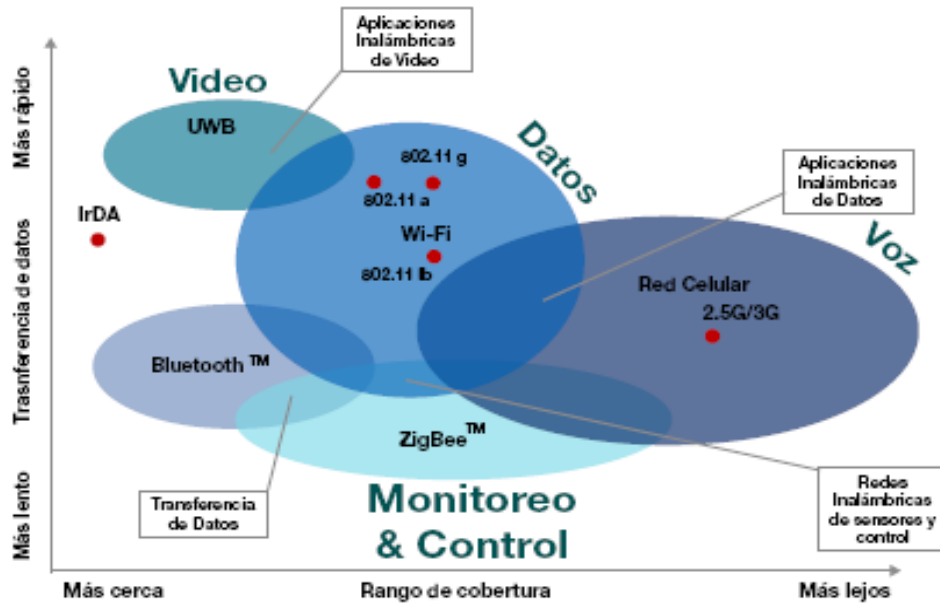


Figura 1. Velocidad de Transferencia y cobertura de protocolos.

Debido a esto *Zigbee* se presenta como un protocolo ideal para aplicaciones de control y monitoreo en los cuales los volúmenes de información que se requieran de los equipos sensores no sean muy elevados, de esta manera, en aplicaciones de control industrial, ciclos de control de variables físicas con respuesta lenta, sistemas de monitoreo del entorno resulta muy favorable.

Por otro lado, permite el trabajo en configuraciones de red estrella, árbol y malla, siendo esta ultima una de las grandes ventajas que presenta este protocolo con respecto a los demás en el mercado y el bajo consumo energético requerido generando una autonomía energética de los sistemas basados en este estándar que fluctúa entre 6 a 24 meses con pilas AA (en función de tráfico de datos requeridos y en modos de trabajo de ahorro de energía).

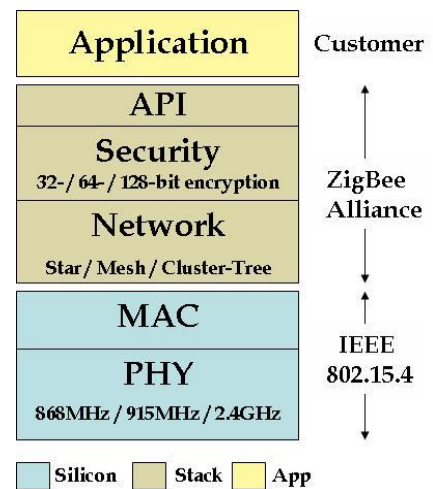


Figura 2. Arquitectura del protocolo.

En la figura 2, se ilustra la plataforma del protocolo *Zigbee*, en ésta se puede ver como *Zigbee* trabaja sobre el estándar *IEEE 802.15.4* del mismo organismo, la cual maneja el nivel físico del radio y la capa de medios de accesos, *Zigbee* provee el soporte en el manejo de la seguridad y

configuraciones de red y un grupo de interfaces al módulo de radio con la finalidad de facilitar su uso a la aplicación. En otras palabras, Zigbee se encarga del software e IEEE 802.15.4 maneja el hardware.

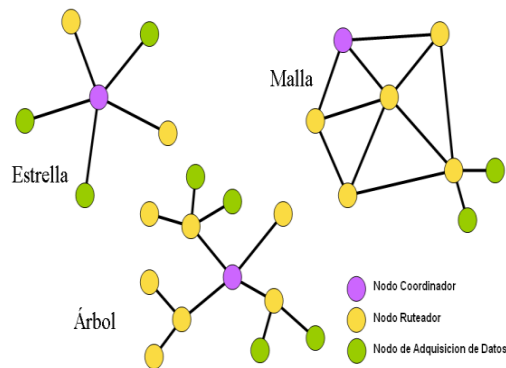


Figura 3. Topologías de red en Zigbee.

La figura 3 ilustra de manera especial las diversas topologías de red que pueden lograrse mediante Zigbee.

MATERIALES Y METODOS

Para la elaboración del módulo inalámbrico para la conexión de sensores y actuadores del cual se trata este informe se partió primeramente de la revisión de las necesidades que estos módulos deben de cumplir.

Se requiere formar módulos inalámbricos que formen una red confiable para procesos tanto industriales, comerciales y residenciales, que sean de tamaño reducido, bajo consumo de energía y que posibiliten la conexión de sensores y actuadores tanto digitales como analógicos.

Las características de estos módulos inalámbricos son:

- 2 entradas digitales con niveles de voltaje de 0 a 5V.
- 2 salidas digitales a niveles de voltaje de 0 a 5V.
- 2 entradas analógicas con niveles de voltaje de 0 a 5V.
- 2 salidas PWM de 0 a 3.3V.
- Interfaz serial para programación y obtención de datos por USB.
- Bajo consumo de energía.

- Indicadores LED del estado de las entradas y salidas digitales y de la operación del módulo inalámbrico.
- Botones para la manipulación de las entradas digitales.

Distribución de señales y patillaje

Para poder obtener una configuración estable que mantuviera las necesidades de entradas y salidas planteadas anteriormente se seleccionó la configuración de conexión entre el módulo Xbee y las terminales del dispositivo terminado mostradas en cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de señales en prototipo.

Pin Xbee	Descripción	Terminal del módulo	Función
1	VCC	3.3V	Alimentación de 3.3V
2	DOUT	TX	TX interfaz microcontrolador
3	DIN	RX	RX interfaz microcontrolador
4	DIO12	DO - 0	Salida digital 0
5	RESET	RESET	Reiniciar el módulo
6	PWM0/RSSI	PWM - 0	Salida PWM 0
7	PWM1	PWM - 1	Salida PWM 1
8	NC	-	-
9	DTR	-	DTR interfaz serial
10	GND	GND	Tierra
11	AD4/DIO4	DO - 1	Salida digital 1
12	CTS/DIO7	-	CTS interfaz serial
13	ON/SLEEP	-	-
14	VREF	-	Referencia ADC
15	ASSOC/AD5 /DIO5	-	Indicar el estado de la conexión
16	RTS/AD6/DI 6	-	RTS interfaz serial
17	AD3/DIO3	DI - 1	Salida digital 1
18	AD2/DIO2	DI - 0	Salida digital 0
19	AD1/DIO1	AN - 1	Entrada analógica 1
20	AD0/DIO0	AN - 0	Entrada analógica 2

De igual forma, en la figura 4 se ilustra de manera gráfica las señales y conectores implementados en el prototipo desarrollado.

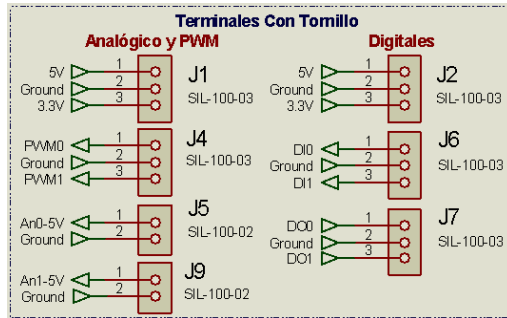


Figura 4. Terminales y conectores sensores.

Acondicionamiento de las señales

Debido a que los módulos Xbee operan con rangos de voltaje de hasta 3.3V únicamente, se necesitó de un acondicionamiento de las señales de entrada y salida con la finalidad de facilitar la interconexión con sensores y actuadores comerciales, para esto se tuvo que manipular las señales de entradas digitales y analógicas y de las salidas digitales.

Para el acondicionamiento de las entradas y salidas digitales a niveles comprendidos entre 0 a 5V se utilizaron pequeños módulos prefabricados con transistores MOSFET y arreglos de resistencias de forma tal que se tuvieran entradas convertidas desde 5 a 3.3 volts y salidas desde 3.3 elevadas a 5 volts.

En la figura 4 se puede observar una imagen de este dispositivo el cual cuenta con 2 entradas digitales y 2 salidas digitales.

En la figura 5 se puede observar la configuración de transistores y resistencia utilizada para llevar a cabo esta conversión de voltajes.

Cabe destacar que por la forma en la que es aumentado el voltaje de 3.3 a 5 volts se puede obtener una entrada o salida bidireccional ya que tanto puede aumentar el voltaje como reducirlo debido a la configuración del transistor MOSFET y las resistencias de 10KΩ conectadas a las terminales de voltaje.

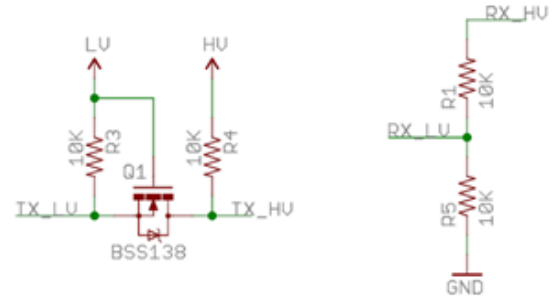


Figura 5. Acondicionamiento de señales.

Ahora para acondicionar las entradas analógicas se utilizó un simple divisor de voltaje con resistencias de 10KΩ y 18KΩ de forma tal que si se introducen 5V se obtendrá a la salida un voltaje de 3.214 Volts.

En la figura 6 se ilustra el arreglo eléctrico para el acondicionamiento de las señales analógicas, el cual hace posible conectar un sensor con salida analógica en voltaje de 0 a 5 volts.

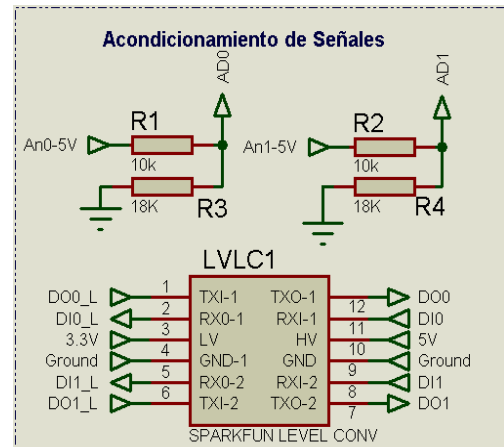


Figura 6. Acondicionamiento señal analógica.

Regulación de voltaje

Para esta parte del prototipo se escogió como principal fuente de energía una batería de 9 volts o un transformador de corriente de máximo 1A y 9V.

Para poder alimentar la circuitería del módulo inalámbrico se tuvo que implementar dos etapas de regulación una primera con la finalidad de disminuir el voltaje a 5 volts y la segunda para disminuirlo a 3.3 volts. Debido a que el

módulo cuenta con la posibilidad de ser alimentado por USB o por alimentación externa, se agregó un selector para aislar la entrada de voltaje externo y la alimentación por USB.

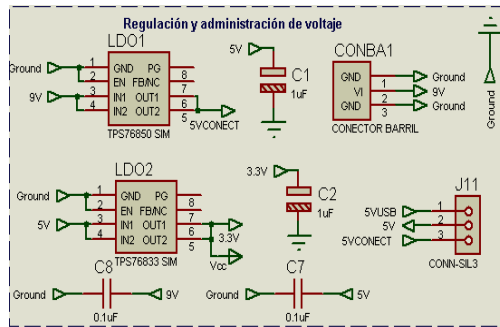


Figura 7. Regulación de voltaje.

En la figura 7 se puede observar el diagrama esquemático de esta etapa, se utilizaron varios capacitores de $10\mu\text{F}$ y $0.1\mu\text{F}$ para la supresión de ruidos en la alimentación y un conector de barril hembra para poder alimentar al prototipo por medio de una fuente externa de voltaje.

Interfaz serial USB

Para posibilitar la obtención de datos y la programación del Xbee a través de estos módulos se incorporó una interfaz USB 2.0 por medio del convertidor USB – SERIAL FT232RL el cual es un circuito integrado con encapsulado SSOP de soldadura superficial y 28 pines que hace posible la conexión de dispositivos con interfaz serial en dispositivos con solo entradas USB, contiene todas las señales de control necesarias para el estándar de comunicaciones RS232 así como la posibilidad de funcionar sin necesidad de un cristal externo ni de fuente de alimentación debido a que cuenta con reguladores internos con entrada de 5 volts y salida de 3.3 volts.

Dentro de la misma interfaz USB se agregaron los indicadores de transmisión y recepción de información de los módulos inalámbricos por medio de salidas dedicadas configurables del circuito integrado FT232RL.

En la figura 8 se puede observar el diagrama esquemático de la conexión efectuada para la interfaz USB junto con los indicadores de transmisión y recepción.

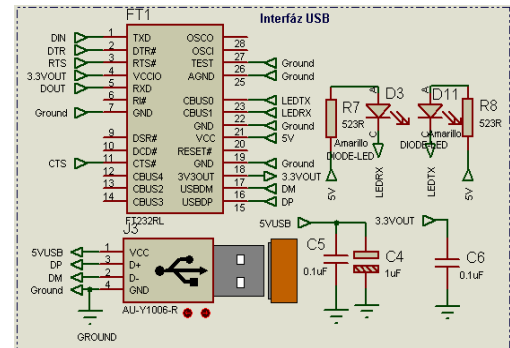


Figura 8. Interfaz serial USB 2.0.

Reset, indicadores y botones

Para el reinicio del módulo Xbee se utilizó un botón conectado a tierra con la finalidad de mandar una señal digital de estado bajo al módulo con lo que se reinicia el Xbee, la localización de este botón debe ser en un lugar accesible a la hora de realizar pruebas. En las entradas digitales se conectaron indicadores LED protegidos con resistencias de 523Ω y botones con resistencias en *Pull-Down* para forzar el estado bajo de las entradas digitales con la finalidad de no tener entradas en estado flotante, las salidas digitales de igual manera son indicadas por medio de LED protegidos con resistencias, todo eso para la protección en el consumo de corriente.

Para el indicador de asociación se utilizó un transistor con una resistencia de $10\text{K}\Omega$ en la base para limitar la corriente de consumo debido a la baja corriente que este pin puede proveer. En las salidas de PWM se utilizó un arreglo a base de transistores con la finalidad de proteger el consumo de corriente del módulo Xbee, se utilizó una resistencia de $10\text{K}\Omega$ en la base para limitar la corriente de consumo y otra resistencia de 523Ω en el emisor para proteger el indicador LED que a esta salida es conectado. En la figura 9 se puede observar esta parte del diagrama esquemático con la finalidad de entender de mejor manera las conexiones realizadas.

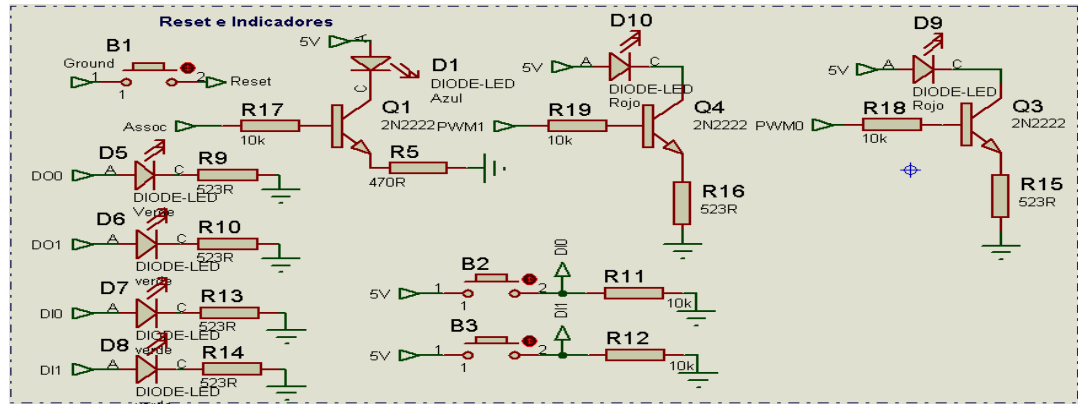


Figura 9. Conexión indicadores visuales

Circuito impreso

El prototipo en forma física fue elaborado por medio de un PCB de doble capa y dispositivos con encapsulado superficial con la finalidad de ahorrar espacio y de que este módulo contara con mayor movilidad a la hora de ser implementado para el monitoreo y control de procesos, las medidas finales del prototipo son 8cm de ancho por 8cm de largo y cuenta además con un espacio para la colocación de una antena externa.

El orden de los componentes fue tal que no hubiera interferencias al aislar la parte superior del módulo Xbee de los demás componentes activos, además para los

reguladores de voltaje se utilizó recubrimiento de cobre en el área para la distribución de calor del módulo.

Las leyendas descriptivas de las terminales se elaboraron a base de cobre en la parte superior a un lado de cada terminal y en la parte superior de los indicadores de estado.

En la figura 10 se puede observar claramente el diseño elaborado por medio del programa CAD ARES del paquete PROTEUS.

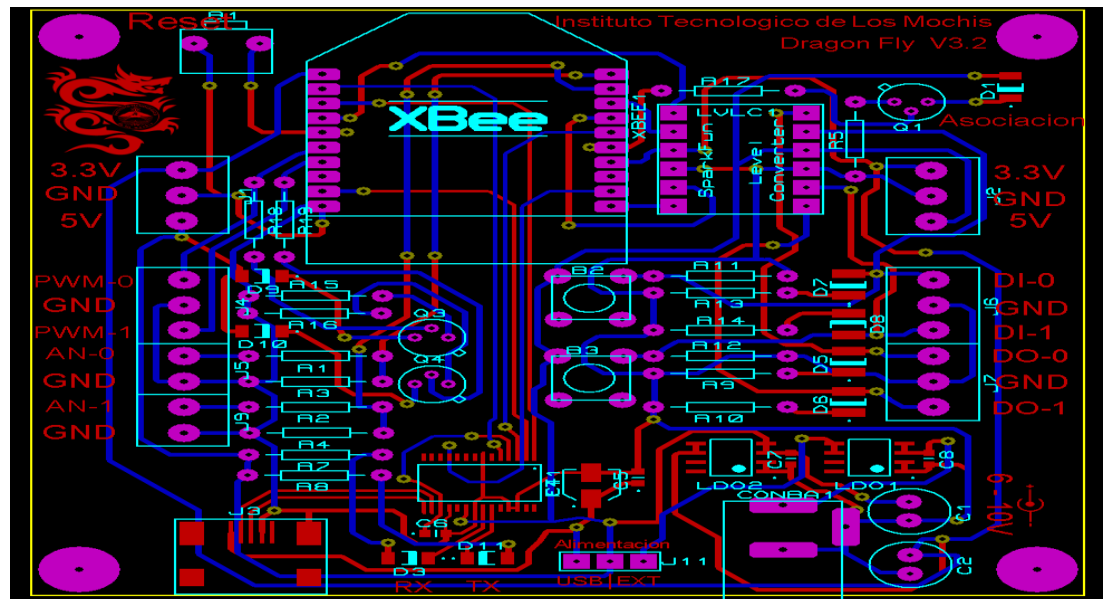


Figura 10. Diseño de PCB del nodo para la adquisición de datos Dragon Fly.

Este mismo diseño se puede apreciar en la simulación elaborada para comprobar las dimensiones y la estética del prototipo en la figura 11.

El diseño cuenta con el logotipo de Dragones del Instituto Tecnológico de Los Mochis y las siglas ITLM pertenecientes a la institución para remarcar que su diseño e implementación fueron realizados en ese lugar.

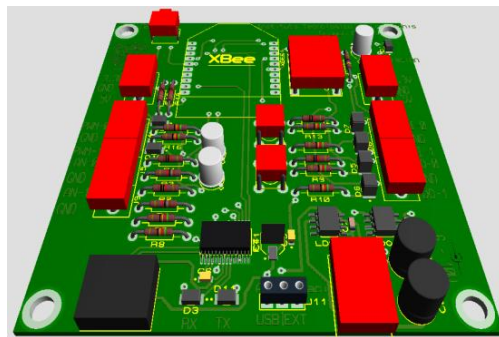


Figura 11. Simulación en 3D del prototipo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Una vez realizado el diseño del prototipo se llevo a cabo la etapa de implementación y posteriormente las pruebas generales de funcionamiento y comunicación en red. Se desarrollaron pruebas diversas de comunicación, conversión de datos analógicos, precisión de los datos y comunicación en red, pudiéndose observar que presenta un funcionamiento muy estable y confiable ya que gracias a la interfaz USB hace la comunicación mucho más segura y accesible a la hora de ser conectado a computadoras y dispositivos móviles como tabletas para el monitoreo y programación de las redes formadas por estos dispositivos.

La implementación de redes inteligentes en topología de malla en el sistema desarrollado es fácil y transparente para el usuario, debido al soporte que nos proporciona el módulo de comunicación Xbee y el protocolo Zigbee.

Las entradas analógicas fueron probadas con sensores de temperatura LM35DZ en rango

de 0 a 100°C, obteniendo una precisión de 1°C por cada 10mV, la cual es la misma especificación del dispositivo sensor, indicando esto la estabilidad y robustez que presentan las entradas analógicas del sistema desarrollado. Para las pruebas con sensor de humedad relativa, fue utilizado el dispositivo sensor de humedad HMZ-433A1, los resultados obtenidos por el sistema y transmitidos al panel central para su monitoreo fueron muy cercanos a los indicados por el fabricante una vez calibradas las entradas analógicas. En la cuadro 2 se describen los datos de estas pruebas.

Cuadro 2. Datos obtenidos para sensor de humedad HMZ-433.

% Humedad Relativa	Voltaje salida Especificación fabricante(volts)	Voltaje leído en Entrada Analógica (volts)
20	0.66	0.655
30	0.99	0.99
40	1.32	1.321
50	1.65	1.660
60	1.98	1.975
70	2.31	2.306
80	2.64	2.64
90	2.97	2.973

La interfaz serial USB implementada permite una fácil y rápida comunicación con el sistema de adquisición de datos y permite utilizar cualquiera de los módulos como panel central coordinador de la red de sensores y obtener por medio de este los datos recolectados por los módulos en la red implementada.

Se logró implementar una topología de árbol y malla con los nodos de sensores inalámbricos la cual resultó muy satisfactoria para esta aplicación desde el punto de vista de la topología desarrollada y la implementación de la red de sensores, permitió la adquisición de datos de las temperaturas de humedad relativa del aire y temperatura del aire en los alrededores de las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Electrónica en el ITLM.



Figura 12. Prototipo desarrollado

De igual forma, se desarrolló un software para el monitoreo y comunicación con los nodos en la red de sensores inalámbrica implementada, el cual permite:

Transferir los datos a un computador o panel central, procesarlos, llevar a cabo acciones de control y representación gráfica del comportamiento de las variables así como de la red en general y permite conocer almacenarlos para futuros procesamientos y análisis estadísticos si se deseará.

En la figura 12 se ilustra el prototipo diseñado e implementado como producto final.

CONCLUSIONES

El desarrollo de las redes ha permitido la implementación de aplicaciones para el monitoreo y supervisión de procesos de producción principalmente en la industria.

La evolución de la microelectrónica y los avances significativos en la electrónica de radio frecuencia han propiciado el nacimiento de las redes de sensores inalámbricas y con estas, el surgimiento de sistemas de supervisión distribuidos con aplicaciones diversas en la explotación,

mejor aprovechamiento y cuidado de los recursos renovables.

Por esto la importancia de desarrollar e innovar con nuevos sistemas que permitan hacer eficientes nuestros métodos de monitoreo y supervisión de nuestros entornos.

LITERATURA CITADA

- Yang Xiao; Yi Pan. 2009. **Emerging Wireless LAN's, Wireless PAN's and Wireless MAN's IEEE 802.11, IEEE 802.15, 802.16 Wireless Standard Family**. John Wiley & Sons, 648p.
- Drew Gislason. 2008. **Zigbee Wireless Networking**. Newnes Ed, Elsevier. 448p.
- Buratti Chiara, Martalo Marco, Ferrari Gianluigi, Verdone Roberto. 2011. **Sensor Network with 802.15.4 systems: Distributed processing, MAC and connectivity**. Springer Berlin Heidelberg, 267p.
- Jose Gutierrez, Edgar Callaway, Raymond Barrett. 2007. **Low Rate Wireless Personal Area Network: Enabling Wireless Sensor with IEEE 802.15.4**. IEEE.ed. Elsevier.200p.
- Shahin Farahani. 2008. **Zigbee Wireless Networks & Transceivers**, Newnes Ed., 360p.
- Ata Elahi. 2009. **Zigbee Wireless Sensor and Control Networks**. Prentice Hall, 288.p.
- Holger Karl, Andreas Willin. 2005. **Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks**. John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-09510-2.
- Christopher Hallinan. 2010. **Embedded Linux Primer: A Practical Real-World Approach**. Prentice Hall, 2nd Edition, 656p.
- Jens Kühner. 2009. **Expert .NET Micro Framework (Expert's Voice in .NET)**. Apress; 2nd Edition, 481p.
- Rob Huddleston. 2010. **Android Fully Loaded**. Wiley and Sons; 1st Edition, 256p.

<http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

<http://www.zigbee.org/Standards/Downloads.asp>

ⓧ

<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/>

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.

Cesar López Macías.

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

Andrés López Rúelas.

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

Joel Morales García.

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

Adán Montoya Enríquez.

Alumno Residente Profesional de la carrera de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Los Mochis, 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.

Jaime Fonseca 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.