

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA CON XBEE PRO 900 PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA UN INVERNADERO

Reyes Ibarra Luis Alberto, Herrera Castillo Perla Alejandra, Sifuentes Montelongo Sergio Alberto
Universidad Politécnica de Durango
Ing. Telemática

Carretera Durango-México Km 9.5 Tel. 618 1501300

C.P. 34300 Durango, Dgo

luis.reyes@unipolidgo.edu.mx, perla.herrera@unipolidgo.edu.mx, sergio.sifuentes@unipolidgo.edu.mx

RESUMEN

Se presenta el diseño y la implementación de una red inalámbrica donde se emplean XBEE Pro de 900 Mhz, microcontroladores PIC18F4550 y sensor SHT15 para el monitoreo de temperatura y humedad. Cabe resaltar que se implemento en el invernadero instalado en la Universidad.

El sistema cuenta con tres nodos de monitoreo cada uno con una LCD donde se muestra la temperatura y humedad, además cada nodo tiene un teclado de cuatro teclas para fijar una referencia de temperatura que se puede utilizar para el control de cortinas o encendido de ventiladores.

Para el monitoreo a distancia se utiliza un XBEE como coordinador que se encarga de recibir los datos y enviarlos por USB a una interfaz gráfica en LabView®, todo ello para aprovechar estadísticos de temperatura y humedad y así poder realizar análisis de optimización de procesos.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los sistemas de monitoreo inalámbrico son muy utilizados en diferentes procesos industriales, así como también en procesos agroindustriales, la ventaja principal es que se elimina el uso de cables.

Para la implementación del prototipo se utiliza el microcontrolador PIC18F4550 y el XBEE PRO a 900 Mhz en cada uno de los nodos de red.

Este sistema de monitoreo se implemento en el invernadero instalado en la Universidad con el propósito de obtener estadísticos de temperatura y humedad que permitan optimizar el manejo del cultivo; dicho invernadero es un proyecto aprobado por Promep para el fortalecimiento de cuerpos académicos, en la figura 1 se muestra el invernadero.

A continuación se presenta un panorama general de la horticultura protegida.

1.1 Horticultura protegida

La horticultura protegida se define como el sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos hortícolas, con el propósito de alcanzar un crecimiento óptimo y con ello, un alto rendimiento. Este sistema permite ofrecer productos de alta calidad, con mejores precios de venta y con mayores niveles de inocuidad.

La horticultura protegida contribuye a sustentar y fomentar el desarrollo agroindustrial, a generar divisas y empleo para el país y una vida más digna entre la gente del medio rural. [1]



Figura 1. Invernadero tipo tunel con ventana cenital.

1.2 Manejo del cultivo de tomate en Invernadero.

Considerando la superficie dedicada a su cultivo y el valor de su producción, el tomate es la hortaliza número uno en el mundo. Es una planta arbustiva e indeterminada puede tener un ciclo de vida superior a un año, aunque se cultiva como anual. Para invernadero se utilizan las variedades de crecimiento indeterminado, pues permiten tener producción durante periodos largos si se manejan de forma adecuada. El manejo del cultivo es la clave para obtener altos rendimientos y calidad del fruto. [1]

1.3 Importancia del monitoreo de temperatura y humedad relativa

Para orientar el manejo y operación del invernadero, es conveniente contar con registros a nivel horario, cuando menos de temperatura y humedad relativa y de ser posible de radiación solar y concentración de dióxido de carbono, con la ayuda de sensores para su posterior registro en una computadora. Desarrollar la cultura del dato en el manejo de los invernaderos es fundamental para tomar decisiones con conocimiento de causa. Esto es muy útil para ver las tendencias del comportamiento del clima, intuir y entender la presencia de plagas y enfermedades, así como explicar la respuesta y comportamiento de las plantas, así como también para el manejo y operación de invernaderos y la optimización de insumos. [1]

1.4 Introducción a módulos XBEE PRO Digimesh 900Mhz

Esta serie de XBEE son ideales para la transmisión de datos a grandes distancias que van de los 3Km a los 10 Km con antenas de alta ganancia [2]. Otra de las ventajas es que la velocidad de transmisión de datos es de 156 Kbps. Estos módulos tienen la característica de que se puede implementar una red Digimesh, la cual funciona de manera diferente a una red Zigbee Mesh. En la figura 2 se muestran estas diferencias.

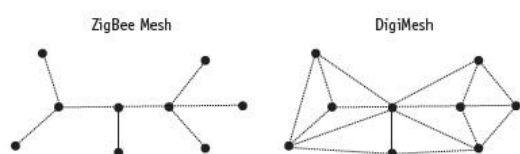


Figura 2. Red Zigbee y red Digimesh.

Las redes MESH permiten acceder a un punto remoto utilizando módulos intermedios para llegar como routers. Además los módulos automáticamente generan la red entre ellos, sin intervención humana alguna, permitiendo la reparación de la red en caso de que algún nodo falle. Al mismo tiempo la red por sí sola resuelve la mejor ruta para un determinado paquete. [3] La figura 3 muestra un ejemplo de una red MESH, en la cual si se desea acceder al punto B a partir del punto A y suponiendo que la distancia entre A y B es demasiado grande para que alcance la señal, se utiliza la red MESH para poder alcanzarla, así cada nodo ubicado funciona como

módulo transparente, donde todo lo que le llega es retransmitido hacia el punto A.

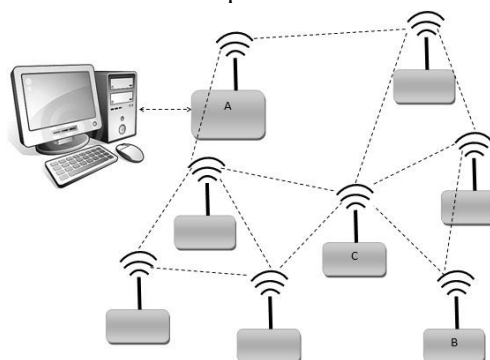


Figura 3. Red Digimesh

En la figura 4 se muestra físicamente el XBEE utilizado, se puede apreciar que cuenta con conector RPSMA para la antena lo cual facilita su manejo.



Figura 4. XBEE Pro 900 Mhz

1.5 Modo Sleep en XBEE

El modo sleep hace posible que el módulo RF entre en un modo de bajo consumo de energía cuando no se encuentra en uso.

Para poder entrar en modo sleep se puede realizar de la siguiente manera:

-Por entrada externa: Utilizando el pin 9 Sleep RQ, si está en alto el módulo entra en modo sleep, requiere que el comando SM= 1,2 o 5

Por ciclos de tiempo: Depende de la cantidad de tiempo definido por el comando ST, requiere que el comando SM=4,5

Para implementar el modo sleep se utilizó el modo sleep por ciclos de tiempo el cual permite que el módulo revise los datos por la interfaz RF periódicamente. El funcionamiento de este modo se muestra en la figura 5

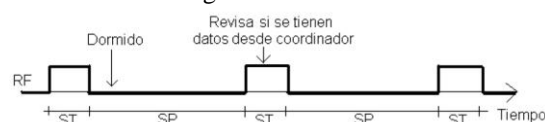


Figura 5. Modo Sleep por ciclos de tiempo

Para este modo el comando SM=4, el tiempo ST es el tiempo que el modulo está despierto en espera de que le lleguen datos; el tiempo SP es el tiempo en que el modulo está dormido. A continuación se detallan los valores configurados para cada comando.

SM=4

ST=FFFF equivale 65535 mseg=65.5 seg \cong 1min

SP=FFFFx10mseg equivale 655350 mseg=655.35 seg \cong 11min

1.6 Protocolo I2C

Actualmente hay en el mercado multitud de dispositivos gobernados por un bus serie desarrollado por la empresa Philips® conocido como bus I2C (IIR, Inter Integrated Circuit Bus). Entre estos dispositivos podemos encontrar sensores, reloj de tiempo real, etc. [4]

El bus serie I2C está formado por dos hilos que puede conectar varios dispositivos mediante un hardware muy simple, tal como se muestra en la figura 6. Por esos dos hilos se produce una comunicación serie, bit a bit. Se transmiten dos señales, una por cada línea:

SCL (Serial Clock). Es la señal de reloj utilizada para la sincronización de los datos.

SDA (Serial Data). Es la línea para la transferencia serie de los datos.

Los dispositivos conectados al bus I2C mantienen un protocolo de comunicaciones del tipo maestro esclavo (master/slave). [4]

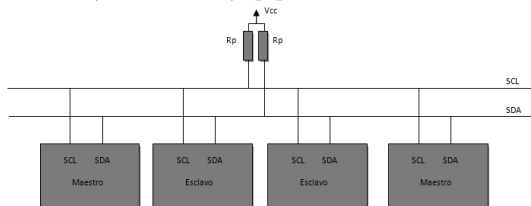


Figura 6. Estructura de un bus I2C

Los dispositivos conectados al bus I2C mantienen un protocolo de comunicaciones del tipo maestro esclavo (master/slave). Las funciones del maestro y del esclavo se diferencian en:

El circuito maestro inicia y termina la transferencia de información, además de controlar la señal de reloj. Normalmente es un microcontrolador.

El esclavo es el circuito direccionado por el maestro.

La línea SDA es bidireccional, es decir, tanto el maestro como los esclavos pueden actuar como

transmisores o receptores de datos, dependiendo de la función del dispositivo.

La generación de señales de reloj (SCL) es siempre responsabilidad del maestro.

Cada dispositivo conectado al bus I2C es reconocido por una única dirección que los diferencia del resto de los circuitos conectados. Los dispositivos compatibles con bus I2C suelen llevar dos o tres pines para poder modificar esta dirección de modo que el diseñador pueda evitar que en un mismo diseño haya dos o más esclavos con la misma dirección. [4]

1.7 Sensor I2C SHT15

La familia SHT1x (incluyendo SHT10, SHT11 y SHT15) de SENSIRION® son sensores de temperatura y humedad relativa. Los sensores integran elementos de procesamiento de señales y proporcionan una salida completamente digital calibrada. Un único elemento sensor capacitivo se utiliza para medir la relación humedad, mientras que la temperatura se mide por un intervalo de banda del sensor. La aplicación de la tecnología CMOSens® garantiza una excelente fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Ambos sensores son perfectamente acoplados a un convertidor analógico-digital de 14 bits y a un circuito de interfaz serie. Esto da como resultado una señal de calidad superior, un tiempo de respuesta rápido e insensibilidad a las perturbaciones externas. [5]

Cada SHT1x se calibra individualmente en una cámara de precisión. Los coeficientes de calibración son programados en una memoria de OTP en el chip. Estos coeficientes se utilizan para calibrar internamente las señales a partir de los sensores. La interfaz serie de 2 hilos y la regulación del voltaje permite una rápida y fácil integración del sistema. El pequeño tamaño y bajo consumo de energía hace a la familia SHT1x la mejor elección para incluso las aplicaciones más exigentes. [5]

En la figura 7 se muestra el circuito para la conexión del sensor SHT15 con un microcontrolador.

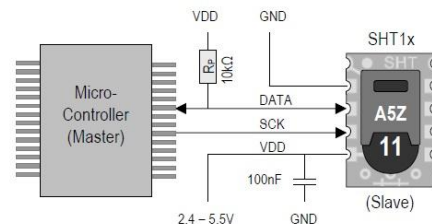


Figura 7. Conexión del sensor SHT15

En las figuras 8 y 9 se observa la precisión del sensor SHT15, la cuál es de ± 2 para humedad relativa y ± 0.3 para temperatura.

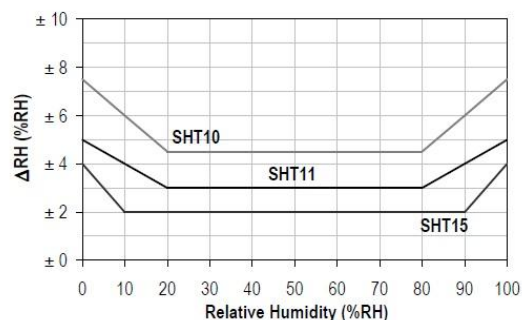


Figura 8. Precisión para humedad relativa

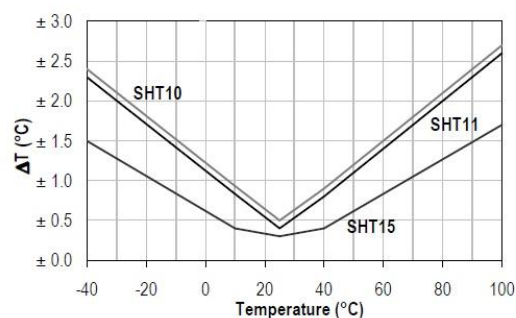


Figura 9. Precisión para temperatura.

1.8 Generación de Reports en LabView

Los Reports son informes que pueden generarse con LabView, pueden ser guardados como ficheros HTML, enviados a una impresora, un archivo PDF, etc.

Su utilización consiste en abrir una referencia al informe e ir construyéndolo poco a poco. Para construirlo se van añadiendo nuevos componentes, estos componentes pueden ser textos, imágenes externas imágenes de los controles e indicadores del panel frontal, el propio panel frontal, la documentación y jerarquía de un VI, etc.

Además de esta paleta, también existe un toolkit con el que se pueden crear reports para MS Word y MS Excel de una forma similar. [6]

2. DESARROLLO

2.1 Arquitectura de la red con XBEE PRO 900 Mhz

La red implementada es una red tipo Broadcast, formada por un nodo principal y tres nodos en red como se muestra en la figura 10. En este tipo de red el nodo principal envía datos en forma

simultánea a cada uno de los nodos de red y estos a su vez le envían datos al nodo principal.

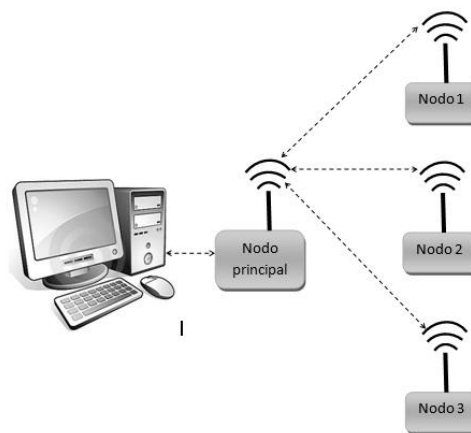


Figura 10. Red tipo Broadcast.

Para implementar la red se utilizó el direccionamiento de 64 bits en este tipo de direccionamiento, la dirección del módulo corresponde a su número serial, que viene de fábrica y el cual es imposible de cambiar. Este número se encuentra guardado en dos variables de 32 bit cada una (SL y SH) y es único. SL lee los 32 bit menos significativos del número serial y SH los 32 más significativos [3].

Para activar el Broadcast en el nodo principal se configuran los registros de destino DH y DL.

En cada nodo de red se configuran los registros DH y DL con la dirección SH y SL del nodo principal, en la tabla 1 se detalla la configuración de estos registros.

Tabla 1. Configuración de registros DH y DL

	Registros únicos	Registros destino
Nodo principal	SH=13A200 SL=404B2321	DH=0 DL=FFFF
Nodo 1	SH=13A200 SL=404B232 F	DH=13A200 DL=404B2321
Nodo 2	SH=13A200 SL=4048C69 E	DH=13A200 DL=404B2321
Nodo 3	SH=13A200 SL=403A34A F	DH=13A200 DL=404B2321

2.1.1 Configuración de los módulos XBEE

Para configurar cada módulo se utilizó el software X-CTU de Digi®, la interfaz X-CTU cuenta con dos formas de configurar el XBEE que es utilizando comandos AT mediante la Terminal o mediante la configuración del Modem, en esta, es muy fácil modificar el valor de cada comando ya que segmenta cada una de las configuraciones principales como son red, direccionamiento, seguridad, interfaz serial y modos de sleep.

2.2 Programación del algoritmo del microcontrolador.

Se utilizó CCS Compiler® para la programación del microcontrolador, donde se incluyen dos librerías principales una para el manejo del sensor SHT15 y otra para el manejo de un LCD de 16X2. La librería para el sensor de temperatura y humedad SHT15 utiliza las siguientes funciones:

sht_init() Inicialización del sensor

sht_rd (temp, truehumid) Adquisición de temperatura y humedad relativa con valores flotantes.

En la figura 11 se muestra el diagrama de bloques de cada módulo implementado para el sensado de temperatura y humedad relativa.

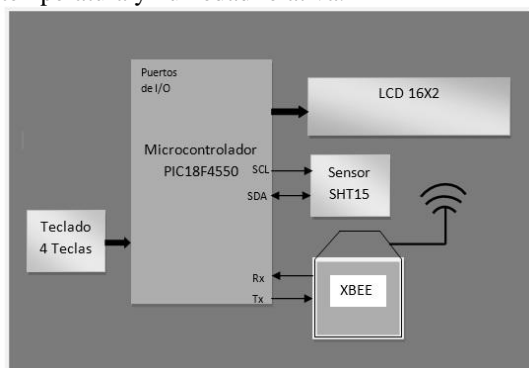


Figura 11. Diagrama a bloques para cada módulo.

2.3 Funcionamiento de la red con XBEE PRO 900 Mhz

En cada uno de los XBEE se configuró el estado de reposo sleep configurando los registros SP y ST con un tiempo de 10 minutos en reposo y un minuto transmitiendo, todo ello porque toda la red se alimenta de un sistema de alimentación fotovoltaico donde se requiere el menor consumo de corriente.

Cada módulo implementado envía las lecturas del sensor SHT15 de temperatura y humedad relativa, el XBEE se encarga de transmitirla durante un minuto al módulo receptor, enseguida

el XBEE entra a estado de reposo durante diez minutos, cabe resaltar que el microcontrolador sigue trabajando mostrando las lecturas en el LCD, además cada módulo cuenta con un teclado de 4 teclas que sirven para definir temperaturas y humedades relativas de referencia.

En el módulo receptor, el XBEE es conectado a una base con convertidor serial a USB la cual se muestra en la figura 12. El módulo receptor se ubica en el laboratorio de Telemática de la Universidad con una distancia de 200 m.

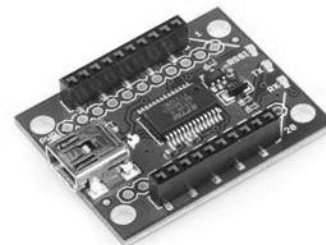


Figura 12. Base para XBEE con convertidor Serial-USB

El programa utilizado para adquirir los datos del nodo receptor es LabView®, en este software la recepción por puerto serie se facilita ya que existen bloques funcionales para el manejo de cadenas de caracteres.

La característica principal del panel de monitoreo implementado en LabView es que se pueden observar las gráficas de comportamiento de la temperatura y humedad, también puede calcularse promedios de ellas; otra característica es que se pueden generar Reports en Excel, PDF, HTML, etc.

3. RESULTADOS

En la figura 13 se muestra uno de los módulos implementados donde se pueden observar los componentes principales.

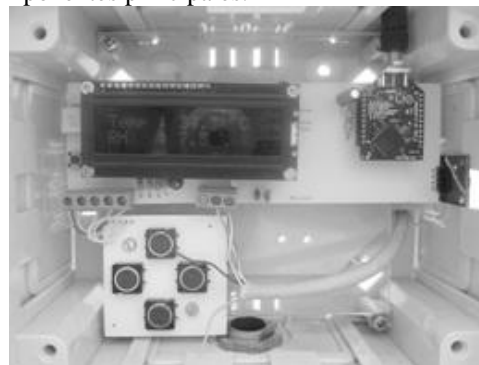


Figura 13. Módulo inalámbrico implementado

En la figura 14 se muestra el panel de monitoreo implementado en LabView, en este se muestran tres gráficas de temperatura y tres de humedad relativa correspondientes a cada uno de los sensores instalados en el invernadero.

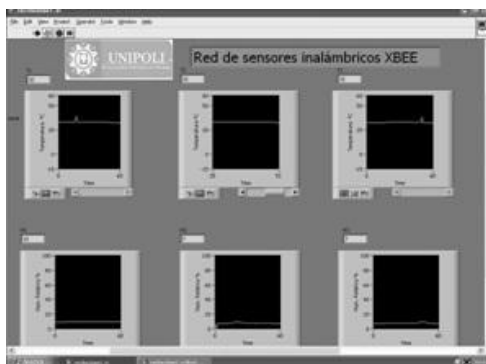


Figura 14. Panel de monitoreo

Cabe resaltar que esta red inalámbrica de sensores con XBEE esta implementada en su totalidad en el invernadero instalado en la Universidad, la ubicación de los sensores se muestra en la figura 15.



Figura 15. Ubicación de sensores inalámbricos.

Como trabajo futuro esta red nos servirá para activar la apertura y cierre de cortinas o de actuadores como ventiladores o extractores, ya que los módulos cuentan con un teclado para fijar referencias que permitirían dicho control.

4. CONCLUSIONES

El objetivo primordial se alcanzó ya que actualmente se está utilizando nuestra propia tecnología en el invernadero instalado en la Universidad, además de dicha red nos servirá para implementar aplicaciones de monitoreo y control que son de vital importancia para el manejo del cultivo en el invernadero.

También la utilización de módulos inalámbricos se puede aplicar para sensar otras variables de interés en el invernadero.

Como trabajo futuro se pretende patentar la aplicación en específico de la red implementada, presentando sus principales características; por lo que se trabaja en mejorar sus funcionalidades.

5. REFERENCIAS

- [1] Manual de producción de tomate en invernadero Javier Z. Castellanos, Intagri, 2009.
- [2] Datasheet XBEE-PRO® 900/DigiMesh™ 900 OEM RF Modules/90000903_B/ 9/12/2008/Digi International Inc./ <http://www.digi.com>
- [3] DataSheet Guía del Usuario XBEE Series 1/Rev Jul/2010/ Andrés Oyarce/ Ingeniería MCI Ltda/ <http://www.olimex.cl>
- [4] Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de proyectos, Enrique Palacios, Fernando Remiro. Lucas J. López, Alfaomega, 2009
- [5] Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15)/ Version 5/December 2011/SENSIRION
- [6] LabView Entorno gráfico de programación/ José Rafael Lajara Vizcaíno, José Peligrí Sebastián/Alfaomega Marcombo/2007