

MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y HUMEDAD DEL SUELO EN UN INVERNADERO DE TOMATE RIÑÓN, UTILIZANDO COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Ing. Mantilla Paredes Paola del Carmen
Ing. Mauricio Rolando Muñoz Cueva
Nelson G. Sotomayor Orozco, MSc.
Escuela Politécnica Nacional
Quito - Ecuador

RESUMEN

El Monitoreo y Control de Temperatura Ambiental y Humedad del Suelo en un Invernadero de Tomate Riñón utilizando Comunicación Inalámbrica, es una nueva alternativa para controlar algunas variables dentro del invernadero. La idea principal de este trabajo es presentar una opción en la que la comunicación de los datos se lo realice inalámbricamente y de esta manera aplicar nuevas tecnologías de comunicación.

Se realizó un estudio básico de el protocolo de comunicación inalámbrica ZigBee, además se implementó el control necesario para mantener las variables tanto de temperatura como de humedad dentro de los rangos establecidos, para ello se acondicionaron las señales de los sensores para que puedan acoplarse al módulo inalámbrico a fin de que se puedan transmitir de forma adecuada los datos.

Se estableció la topología física de red que se ajuste a las necesidades del invernadero donde se instaló todo el sistema, se implementó el control en lazo cerrado que permita mantener al invernadero en condiciones óptimas de temperatura y humedad.

Se diseñó una interfaz de comunicación Hombre – Máquina con un computador para poder adquirir los datos de los sensores, visualizarlos y poder enviar los mismos a una hoja electrónica.

1. INTRODUCCIÓN

La Quinta Agrícola PALLUCI ubicada en la Parroquia Alangasí, empresa dedicada a la comercialización de tomate riñón, requiere automatizar uno de sus invernaderos con un área de 72 m². Por necesidades propias de la empresa, las variables que requieren ser controladas son la temperatura ambiental del

invernadero, así como la humedad del suelo, por lo que se colocaron dos sensores de temperatura y cuatro sensores de humedad dentro del invernadero, las señales de los sensores ingresan a un microcontrolador PIC 16F877A y por medio de comunicación serial los datos de los sensores ingresan al módulo de comunicación RFD, que a su vez transmite los datos inalámbricamente a otro módulo de comunicación llamado COORDINADOR.

Del COORDINADOR y por medio de comunicación serial ingresan los datos de los sensores al computador en donde se lleva a cabo el monitoreo y control constante de las variables.

Para realizar el control, los datos del set point tanto de temperatura como de humedad son seleccionados por el software implementado, estos datos son transmitidos hacia el PIC 16F877A como se puede ver en la Figura 1.

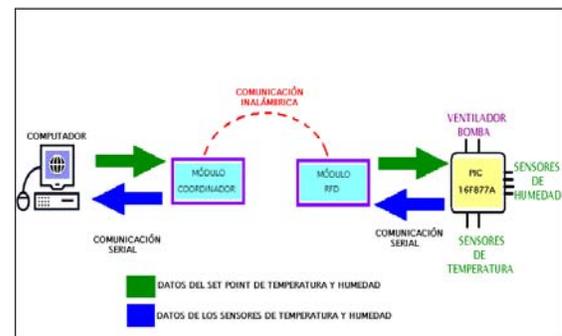


Figura 1 Diagrama de bloques del control de las variables de temperatura y humedad.

Para el control de la temperatura se utiliza un ventilador, el cual se activa o apaga dependiendo del valor del set point de temperatura y de los datos de los sensores de temperatura. Para la humedad se controla una bomba que se activa o apaga dependiendo también del valor del set point de humedad y de los datos de los sensores de humedad.

2. DISEÑO DEL SISTEMA

El objetivo del control es mantener una cierta magnitud dentro de un rango o valor preestablecido (set point) sin importar si alguna influencia externa perturba al proceso.

En el sistema de control implementado las magnitudes a ser medidas (sensores de temperatura y humedad) deben ser controladas e igualadas a un valor deseado (set point de temperatura y humedad) y serán visualizadas por medio de una interfaz hombre-máquina.

Los sensores miden tanto el valor de la temperatura ambiental así como los valores de la humedad del suelo, las señales de los sensores se acondicionaron para que entreguen señales eléctricas de 0 a 5V_{DC}. Estas señales eléctricas ingresan al controlador (PIC 16F877A) para que evalúe los valores de los sensores de temperatura y humedad y entregue una señal de salida a un circuito adicional llamado actuador, el cual está acondicionado para que se pueda conectar a los elementos de control final que son el ventilador y la bomba.

El valor del set point (referencia) se ingresa desde el HMI desarrollado en el programa LabVIEW, la evaluación consiste en llevar la variable controlada al valor del ajuste.

Cada elemento del sistema de control es representado como un bloque. La Figura 2 muestra el diagrama de bloques construido a partir de los elementos mencionados anteriormente.

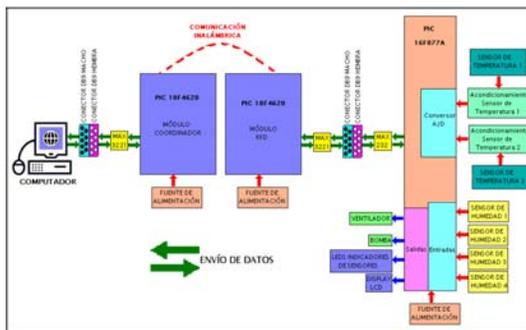


Figura 2 Diagrama de bloques del sistema de control

El tipo de control utilizado es de dos posiciones ON – OFF (Encendido - Apagado). Este tipo de control se caracteriza por un ciclo continuo de variación de la variable controlada (temperatura y humedad).

La topología de red establecida es maestro – esclavo, porque sólo se tiene un par de módulos de comunicación inalámbrica, si se tuviera más módulos ruteadores se podría establecer otro tipo de topología. La comunicación de los módulos es bidireccional.

3. PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control está dividido en 4 partes:

La primera parte corresponde al desarrollo del programa de control para el PIC 16F877A en el cual se utiliza el compilador PIC BASIC para la programación del microcontrolador, la segunda parte corresponde al desarrollo del programa del módulo Coordinador que utiliza un PIC 18F4620, la tercera parte corresponde a la programación del módulo RFD que también utiliza un PIC 18F4620; tanto la programación del Coordinador como la del RFD se realizan en lenguaje “MPLAB C”, el compilador que se utiliza para la programación de estos dos microcontroladores es MPLAB 7.4 y, finalmente para tener una visión global del sistema se desarrolla una interfaz Hombre-Máquina, el programa utilizado para este efecto es LabVIEW 6.1.

3.1 PROGRAMA DEL MÓDULO PIC 16F877A

El programa del PIC 16F877A permite la lectura de los sensores de temperatura y humedad, el cristal utilizado es de 16 MHz, y los datos se transfieren a una velocidad de 19200 baudios.

Los datos de los sensores se transmiten desde el PIC 16F877A hacia el módulo de comunicación inalámbrica RFD utilizando una trama de 7 bytes (Figura 3).

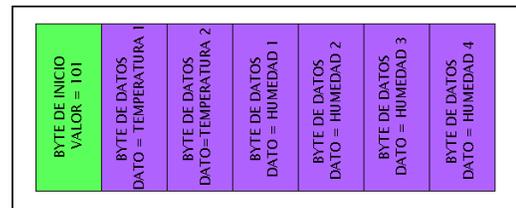


Figura 3 Trama de 7 bytes del PIC 16F877A

Para recibir los datos en el PIC 16F877A del set point de temperatura y de humedad, se leen los datos desde el módulo RFD y se almacenan en una tabla que esta en el PIC 16F877A, la trama de comunicación se indica en la Figura 4.

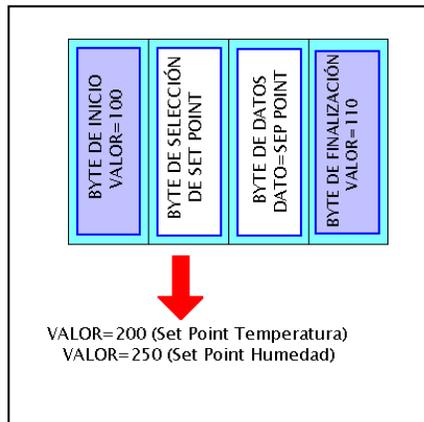


Figura 4 Trama de datos del set point de temperatura y humedad

Para adquirir los datos de los sensores de temperatura se utilizó el convertor A/D, trabajando a 8 bits, ya que la temperatura es una variable lenta y tomar 255 muestras es suficiente para esta aplicación

Para los sensores de humedad se utilizó el circuito integrado LM 555 en modo astable, este circuito genera un tren de pulsos que ingresa al PIC 16F877A para contar el número de pulsos que ocurren en 112 milisegundos y guarda el dato en la variable de humedad.

Para obtener el tiempo de conteo de los pulsos, se estableció que 200 pulsos equivalen al 100 % de humedad. La máxima humedad se obtiene a una frecuencia de 1636 Hz en 1 segundo, por lo tanto en 200 pulsos se tiene un tiempo de 122 milisegundos.

En la parte de control se enciende o se apaga el ventilador si la temperatura supera o no al set point de temperatura, para el caso de la humedad se enciende o se apaga la bomba si la humedad es menor o no del set point de humedad.

3.2 PROGRAMA DEL MÓDULO COORDINADOR

En primera instancia el módulo Coordinador debe estar comunicado con el computador para ello se envía el número 64, una vez que en el HMI se recibe este número se garantiza que el Coordinador esté en línea con el Computador.

El siguiente paso es la comunicación entre el Coordinador y el RFD para ello se envía el valor de 65 que indica que los dos módulos están en línea, el valor 65 también se aprecia en el HMI.

Una vez que los dos módulos están enlazados los datos, de los sensores de temperatura y humedad, viajan desde el PIC 16F877A hacia el RFD y mediante comunicación inalámbrica llegan al módulo Coordinador para luego transmitirse vía serial hasta llegar al computador siguiendo la trama indicada en la Figura 3.

El Coordinador también recibe los datos del set point que vienen desde el computador, la trama que se utiliza es la misma que se indica en la Figura 4.

3.3 PROGRAMA DEL MÓDULO RFD

El módulo RFD se debe poner en línea con el módulo Coordinador para ello desde el Coordinador se envía el número 65 que indica que existe comunicación entre los dos módulos, a continuación se transmiten los datos de los sensores desde el PIC 16F877A con la trama que se indica en la Figura 3.

Los datos del set point lee el módulo RFD desde el módulo Coordinador y estos datos se transmiten hacia el PIC 16F877A con la misma trama indicada en la Figura 4.

Tanto el Coordinador como el RFD utilizan un cristal de 4MHz y los datos se transmiten a una velocidad de 19200 baudios.

3.4 EXPLICACIÓN DEL PROGRAMA DE LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

La interfaz Hombre – Máquina fue desarrollada en el programa LabVIEW 6.1, para trabajar de mejor manera se ha programado 4 subrutinas que son:

- Subrutina de transmisión de datos
- Subrutina de recepción de datos
- Subrutina para escribir una tabla en Excel
- Subrutina de apertura del puerto serial

En la subrutina de transmisión de datos se envían los datos del set point desde el computador hacia el módulo Coordinador siguiendo la trama mencionada anteriormente en la Figura 4.

En la subrutina de recepción de datos el computador recibe los datos de los sensores de temperatura y humedad que a su vez envía el Coordinador con la trama de la Figura 3.

La subrutina para escribir una tabla en Excel permite enviar los datos de los sensores hacia

la hoja electrónica, esta subrutina ejecuta el Excel, luego abre un nuevo libro, y finalmente muestra una hoja en donde se visualizarán los datos.

Se creó una subrutina de configuración del puerto serial en la cual el usuario puede seleccionar el puerto y la velocidad con la que trabaje el sistema, en este caso la velocidad de operación es 19200 baudios y el puerto de comunicación es el COM 0.

3.5 PARTES DEL SISTEMA

El primer módulo mostrado en la Figura 5 consta de 3 placas que constituyen las fuentes de alimentación de $+12V_{DC}$ y $+5V_{DC}$ respectivamente, una placa de potencia en la que se tiene dos relés que activan el ventilador y la bomba, finalmente se tiene la tarjeta de control en el cual se encuentran los acondicionamientos de los sensores de temperatura y humedad, además incluye el MAX232 que permite el envío de datos hacia el módulo RFD, y el microcontrolador PIC16F877A que permite la lectura de datos de los sensores, los mismos que son visualizados por medio de un LCD.



Figura 5 Módulo 1

El segundo módulo (RFD inalámbrico) se conecta al terminal DB9 que viene del primer módulo, se muestra en la Figura 6

El tercer módulo también inalámbrico es el Coordinador (Figura 7), se conecta al computador por medio de un cable serial, los dos módulos se energizan por medio de una batería de $9V_{DC}$.



Figura 6 Módulo RFD



Figura 7 Módulo Coordinador conectado al Computador

3.6 UBICACIÓN DE LOS SENSORES

El invernadero experimental tiene un área de $72 m^2$, el tipo de sensor comercial que mide la temperatura (Figura 8), es el circuito integrado LM35, se colocaron 2 sensores de temperatura, el primer sensor ubicado a una distancia de 4,5 m con respecto a la puerta de ingreso del invernadero, el segundo sensor ubicado a una distancia de 7,5 m con respecto a la puerta de ingreso del invernadero.

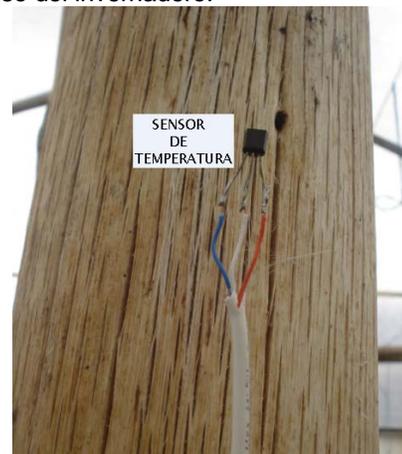


Figura 8 Ubicación del sensor de temperatura LM35

Para la medición de la humedad el invernadero tiene 4 camas de 0,8 m de ancho y 10,45 m de largo, se colocaron 4 sensores de humedad, uno para cada cama, como se puede apreciar en la Figura 9.



Figura 9 Ubicación del sensor de humedad

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas que se realizaron en el presente proyecto se establecieron de acuerdo a los alcances planteados

En primer lugar se debe instalar todo el sistema con sus respectivas protecciones, como fusibles y breakers, los fusibles de protección para las fuentes son de 1A, los breakers de protección del ventilador y la bomba son de 20A.

Una vez instalado el sistema, se enciende el mismo de acuerdo a las instrucciones señaladas en el Manual de Usuario.

El sistema está listo y funcionando, las pruebas realizadas son las siguientes:

- Medición de la temperatura ambiental
- Medición de la humedad del suelo.

En ambas pruebas se comprobó el funcionamiento adecuado del ventilador y la bomba.

Las mediciones de la temperatura y humedad se realizaron en tres horarios del día.

Para finalizar las pruebas se debe conocer la distancia a la cual se transmiten los datos por medio de los módulos inalámbricos, ya que los módulos tienen límites de operación que deben

ser respetados si se desea una comunicación eficiente.

4.1. MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Para calibrar los sensores de temperatura se utilizó un medidor de temperatura que utiliza una termocupla tipo K, una vez calibrados los dos sensores de temperatura se realizaron mediciones de los datos en la mañana, tarde y noche, los datos se indican en las siguientes tablas.

Tabla 1 Datos de los Sensores de Temperatura (Mañana)

HORA	FECHA	T1	T2
6:30:11	06/21/2008	12	11
6:35:45	06/21/2008	13	12
6:40:01	06/21/2008	12	12
6:45:23	06/21/2008	12	11
6:50:47	06/21/2008	12	12

Tabla 2 Datos de los Sensores de Temperatura (Tarde)

HORA	FECHA	T1	T2
12:18:31	06/21/2008	24	26
12:23:55	06/21/2008	25	26
12:28:12	06/21/2008	24	25
12:33:07	06/21/2008	24	24
12:38:51	06/21/2008	25	25

Tabla 3 Datos de los Sensores de Temperatura (Noche)

HORA	FECHA	T1	T2
19:36:04	06/21/2008	15	14
19:41:22	06/21/2008	15	14
19:46:29	06/21/2008	15	14
19:51:01	06/21/2008	15	14
19:56:33	06/21/2008	14	14

El ventilador se prende o apaga dependiendo del valor de set point que se indique en el computador (Figura 10), los módulos inalámbricos se colocaron a una distancia de 5 metros.



Figura 10 Estado de encendido y apagado del ventilador

4.2. MEDICIÓN DE HUMEDAD

Se determinó la relación de la variación de la frecuencia con la humedad. Para calibrar los sensores se utilizó un medidor de humedad marca RAPITEST, con los sensores ya calibrados, se tomaron mediciones en la mañana, tarde y noche, los datos se indican en las siguientes tablas.

Tabla 4 Datos de los Sensores de Humedad (Mañana)

HORA	FECHA	H1	H2	H3	H4
6:30:11	06/21/2008	46	33	42	40
6:35:45	06/21/2008	46	33	42	40
6:40:01	06/21/2008	46	33	42	40
6:45:23	06/21/2008	47	32	42	40
6:50:47	06/21/2008	47	32	42	40

Tabla 5 Datos de los Sensores de Humedad (Tarde)

HORA	FECHA	H1	H2	H3	H4
12:18:31	06/21/2008	85	76	77	89
12:23:55	06/21/2008	85	76	77	89
12:28:12	06/21/2008	85	76	76	89
12:33:07	06/21/2008	85	76	76	89
12:38:51	06/21/2008	85	76	76	88

Tabla 6 Datos de los Sensores de Humedad (Noche)

HORA	FECHA	H1	H2	H3	H4
19:36:04	06/21/2008	34	42	55	35
19:41:22	06/21/2008	34	42	55	35
19:46:29	06/21/2008	35	42	55	37
19:51:01	06/21/2008	35	42	55	37
19:56:33	06/21/2008	34	42	55	37

La bomba se enciende o apaga dependiendo del valor de set point que se indique en el computador, (Figura 11) los módulos inalámbricos se colocaron a una distancia de 5 metros.

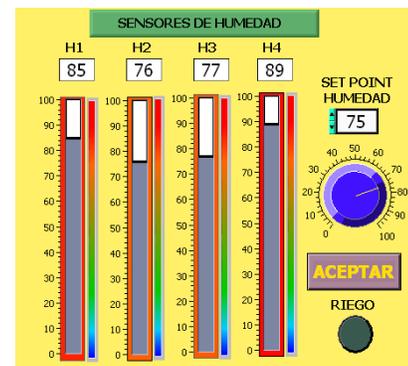
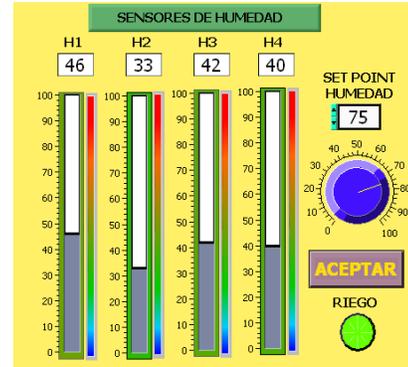


Figura 11 Estado de encendido y apagado del sistema de riego

4.3 RESULTADOS

La temperatura es un parámetro importante en el crecimiento de las plantas, desarrollo de los frutos, forma y color del tomate riñón, este fruto tiene un rango amplio de temperaturas y en general su crecimiento se desarrolla en climas de cálido a frío moderado influenciado además por el suelo y las variedades de tomate que se cultiven.

El tomate riñón en su primera etapa tiene de 5 a 8 hojas, en esta etapa la temperatura adecuada para que se desarrolle adecuadamente el fruto es de 12 a 18 °C, como se pudo apreciar en las tablas tomadas en el invernadero las temperaturas medidas en la mañana (Tabla 1) son de 11, 12, hasta 13 °C, (Figura 10) por lo que no es necesario encender el ventilador porque se mantiene la temperatura adecuada a las necesidades de esta etapa.

Si se analiza la misma etapa de crecimiento de la planta al medio día (Tabla 2) se observan que la temperatura sube hasta 26 °C, en este caso el set point de la temperatura debe estar entre los 12 a 18 °C, por lo tanto el sistema enciende al ventilador y éste se apagará cuando la temperatura ambiental del invernadero esté entre los 12 a 18 °C, (Figura 10).

El rango de temperatura ideal para el cultivo del tomate se encuentra entre los 21°C y 26 °C sin olvidar que durante la noche debe mantenerse una temperatura fresca con lo cual se puede obtener un buen cuajamiento de los frutos durante la floración.

Para obtener una buena coloración de los frutos se debe mantener la temperatura entre 18°C y 24°C, si la temperatura excede el límite de los 29°C, los frutos tienden a hacerse amarillentos.

Existen varias etapas para el crecimiento de la planta como el desarrollo, la floración y la maduración del fruto, para cada una de estas etapas se manejan diferentes rangos de temperatura por ello es necesario realizar el control de la temperatura ambiental del invernadero para obtener una mejor calidad del producto.

Para la planta de tomate la humedad del suelo no debe ser menor a 70-80% de la capacidad del campo, el incremento o la poca humedad no es aconsejable para los frutos puesto que la calidad de los mismos se ve afectada.

Con excesiva humedad los frutos pueden llegar a rajarse, dando así una mala calidad de sabor del fruto, además las plantas se vuelven sensibles al ataque de enfermedades, mientras que con poca humedad el fruto del tomate no se desarrolla adecuadamente y su tamaño es pequeño.

Como se pueden apreciar en la Tabla 4, los valores de humedad que entregan los sensores están en el rango de 30% a 50 % de humedad en el suelo, el tomate es una planta que requiere mucha agua por tanto el set point debe estar entre 70% y 80%, como todas las camas están secas se enciende la bomba, (Figura 11) y el sistema de riego por goteo empieza a humedecer el suelo hasta llegar al 70% u 80 % que es el valor del set point, una vez que llega a este valor la bomba se apaga.

El control de humedad del suelo es indispensable para evitar que alguna cama se mantenga seca, el sistema de riego es uniforme.

Si el análisis se realiza con los datos de la Tabla 5, valores tomados al medio día, en el que las camas están humedecidas entonces no se enciende la bomba, (Figura 11).

El control de la temperatura ambiental y humedad del suelo en el invernadero experimental fue muy favorable porque se mantienen las condiciones óptimas para el desarrollo adecuado del fruto.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Después de haber realizado las pruebas respectivas se verifica que se cumplen con los objetivos planteados, es decir, se realiza el control y monitoreo de la temperatura ambiental para que no supere su valor establecido, y para la humedad se realiza el control y monitoreo de la humedad del suelo por medio del sistema por goteo para que no baje de un valor mínimo establecido.
- Con el control de la temperatura en función de los requerimientos del cultivo se impide excesivas temperaturas dentro del invernadero, especialmente en la primera etapa de la planta donde debe desarrollarse la aparición del primer racimo floral,

además con una temperatura adecuada se evita la reducción de la cantidad de polen para el proceso de polinización, se mantiene una temperatura menor a los 30°C y con ello se garantiza frutos duros.

- El sistema cuenta con un buen control de riego que garantiza mantener las camas humedecidas al 70 u 80%, porque el tomate riñón es un fruto que requiere de agua especialmente en la etapa de floración.
- Los dos módulos inalámbricos evitan la conexión de cables para la transferencia de los datos. Se comprobó que la transmisión se realiza sin ningún problema hasta una distancia de 5 metros con la presencia de obstáculos como paredes y plástico. Además se comprobó que para distancias mayores a 14 metros con obstáculos la transmisión de los datos no ocurre inmediatamente. Esta es una limitación del estándar ZigBee.
- El estándar ZigBee ofrece una solución más económica y eficiente a nivel de energía eliminando la necesidad de cambiar de baterías con cierta periodicidad.
- Con el desarrollo del presente proyecto se comprueba que el estándar ZigBee se puede usar en aplicaciones comerciales, en este caso se midió la temperatura ambiental y medición de humedad del suelo.
- En la tarjeta de control se colocaron dos capacitores en la alimentación del PIC 16F877A y un diodo zener, los primeros se colocan para evitar que el ruido genere interferencia con las señales que ingresan y salen del microcontrolador y el diodo zener como limitador de voltaje para evitar que si se polariza con un valor superior a 5V pueda quemarse el microcontrolador.

5.2 RECOMENDACIONES

- Por la distancia a la que están ubicados los módulos se requieren de 2 personas para prender cada uno de los módulos inalámbricos así como fuentes

extras que están en el proyecto, si no se tuviera la ayuda de otra persona para encender el sistema no se podría poner en línea los módulos inalámbricos. Se recomienda que a futuro en aplicaciones que requieran larga distancia se utilice módulos inalámbricos que se comuniquen automáticamente.

- En cuanto a los diseños de las placas, que se realizaron en PROTEL, se recomienda seguir las normas como el ancho y la separación de las pistas de acuerdo a los niveles de corriente y voltaje.
- En cuanto al software instalado para los PICS, se recomienda siempre programar de forma modular utilizando subrutinas pues es una manera más ordenada de programación.
- Se recomienda seguir investigando sobre el estándar ZigBee de tal manera que se puedan controlar otras variables como medición de pH y CO₂, variables indispensables en un invernadero, además expandir la red aplicando algún tipo de topología con las variables controladas en este proyecto es decir la temperatura ambiental y humedad del suelo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **ÁVALOS G LUISA**, "Invernadero", Perú, febrero 2004
- [2] **MARSÁ F**, "Diccionario Planeta de la lengua española", Editorial Planeta S.A Cuarta Edición, Barcelona - España, marzo 1987.
- [3] **RODRIGUEZ SUPPO FLORENCIO**, "Riego por Goteo", México, 1992.
- [4] **SUQUILANDA V MANUEL B**, "Producción Orgánica de Hortalizas en Sierra Norte y Central del Ecuador", Ecuador, 2003.
- [5] **VILLE CLAUDE A**, "Biología", Interamericana Mc. Graw- Hill Segunda Edición, 1992.
- [6] **INFO AGRO**, "Control Climático en Invernaderos", España.

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.asp

[7] **MINISTERIO Y AGRICULTURA Y GANADERÍA**, "Tomate de Mesa (Riñón) Tomato Lycopersicon Esculentum", Ecuador. http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Convenio%20MAG%20IICA/productos/tomate_mag.pdf

[8] **ACOSTA PONCE MARÍA CATALINA**, "Estudio del Estándar IEEE 802.15.4 ZigBee para Comunicaciones Inalámbricas de Área Personal de Bajo Consumo de Energía y su Comparación con el Estándar IEEE 802.15.1 Bluetooth", Quito, Escuela Politécnica Nacional, 2006.

[9] **COOKLEY TODOR**, "Wireless Communication Standards", Estados Unidos, agosto 2004.

[10] **GUTIÉRREZ JOSÉ, CALLAWAY EDGAR, BARRET RAYMOND**, "Low-Rate Wireless Personal Area Network", Estados Unidos, 2004.

[11] **JUNQUERA RAFAEL A**, "Tele – Semana", Volumen 2, Número 23, febrero 5, 2004.

[12] **ZHAO FENG, GUIBAS LEONIDAS**, "Wireless Sensor Networks", Estados Unidos, 2004

[13] **ALVERCA MAZA YOHANA ELIZABETH, BERRAZUETA SOLÓRZANO FREDDY JAVIER**, "ZigBee como una aplicación a la domótica y el Estándar IEEE 802.15.4", Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSO S/Oct05Marzo06/Inalambricas/Trabajo1/PPT/pr esen_proy_g2.ppt

[14] **DATASHEETCATALOG**, España. <http://www.datasheetcatalog.net/es/>

[15] **DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS**, "Protocolos de Control de Acceso al Medio", España. <http://www.dsi.uclm.es/descargas/thecnicalreports/DIAB-06-07-1/mac.pdf>

[16] **DOMODESK**, "A fondo ZigBee", Valencia España, 2006. <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=146&c=43>

[17] **ELECTROCOMPONENTES S.A**, "ZigBee", Argentina, julio 2006. <http://www.electrocomponentes.com.ar/Ingenieria/Modulos%20Celular%20Motorola/ZigBee/Teria/SeminarioZigBee.pps#256,1,Zigbee>

[18] **MICROCHIP TECHNOLOGY INC**, "PICDEM™ Z Demonstration Kit User's Guide", Microchip, Estados Unidos. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51524b.pdf>

[19] **SILICA**, "Estado Actual de las Comunicaciones Inalámbricas", España, 2005. http://tec.upc.es/com/EstadoActual_WirelessRF_SILICA.pdf

[20] **TOMÉ CASTRO JOSE MANUEL**, "Diseño de módulos ZigBee de bajo coste", Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2006. <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3581/1/53948-1.pdf>

[21] **COUGHLIN ROBERT, DRISCOLL F FREDERICK**, "Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales", Editorial Prentice Hall Quinta Edición, México, 1999.

[22] **MANUAL DE EXPERIMENTOS**, "Laboratorio de Ciencia Electrónica", Cedit, Colombia, 1988.

[23] **MICROCHIP TECHNOLOGY INC**, "Data Sheet PIC 16F87XA", Microchip, Estados Unidos, 2001.

[24] **NOVILLO CARLOS**, "Dispositivos Electrónicos", Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador.

7. BIOGRAFÍA

Paola del Carmen Mantilla Paredes.



Nació en Quito el 30 de Marzo de 1980. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Particular "Polonia". Obtuvo su título de Bachiller en Ciencias con especialización en Físico - Matemáticas.

Ha recibido reconocimientos por mención Académica de Abanderada en la primaria y secundaria. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniera en Electrónica y Control en el 2008.

Actualmente está trabajando en la empresa Ecuatoriana Industrial Termoval.

Áreas de Interés: Instrumentación, Automatización y Neumática.
allitnamaloap@hotmail.com

Mauricio Rolando Muñoz Cueva



Nació en Quito el 19 de noviembre de 1975.
Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en el 2002.
Trabajó para TECHINT durante la construcción del OCP en la estación de bombeo Cayagama. Fue profesor de la EPN desde 2003 a 2009 en el departamento de Automatización y Control Industrial. Actualmente trabaja para CLIRSEN - Estación Cotopaxi, en la sección de Adquisición y Procesamiento de datos satelitales. Se encuentra finalizando su tesis de maestría en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones.
Áreas de Interés: Instrumentación, Control Industrial, Control Automático, Redes, Teledetección.
mmunoz1710@yahoo.com

Nelson G. Sotomayor Orozco



Nació en Quito el 9 de Septiembre de 1971.
Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Además es miembro de la subcomisión académica permanente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control.
Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial.
nelson.sotomayor@epn.edu.ec