

# SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARA INVERNADEROS

**Eje temático:** Telecomunicaciones.

**Autores:**

- Ing. Libardo Enrique Hernández Rangel, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), [kikeher7777@yahoo.es](mailto:kikeher7777@yahoo.es). - Colombia
- Ing. Wilman Pineda - Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), [wilmanpineda@hotmail.com](mailto:wilmanpineda@hotmail.com). – Colombia.
- Ing. Dariel Alejandro Bayona Ruiz- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) - [dalbaruy@yahoo.es](mailto:dalbaruy@yahoo.es). – Colombia.

**Resumen**

Este desarrollo se origina en la Universidad Pedagógica Y Tecnológica de Colombia (UPTC) Duitama-Colombia por iniciativa de los docentes de la asignatura Microcontroladores de las Escuelas de Licenciatura en Educación Industrial e Ingeniería electromecánica, el objetivo es controlar de forma precisa la humedad, la temperatura, la iluminación, la ventilación y demás variables relevantes para los invernaderos, con la intención de lograr habientes artificiales e ideales para el buen desarrollo de algunos cultivos. Específicamente se pensó en el cultivo de *Shiitake* seta muy exigente en cuanto a condiciones ambientales de cultivo.

Se ha desarrollado inicialmente un sistema de control que consiste de módulos de sensores en base al sensor SHT11 para Temperatura, humedad relativa y punto de rocío, módulos actuadores en base a reles de estado sólido y un modulo de control con los algoritmos de control, fusiones gráficas de agradable y útil interfaz a usuario mediante pantalla LCD gráfica y funciones de datalogger para posterior descarga y análisis de datos en PC.

Todos los módulos se intercomunican de forma inalámbrica en la banda de 2.4Ghz mediante transceiver *TRF-2.4GHZ*, se eligió la comunicación inalámbrica porque disminuye en mucho los costos y el tiempo de instalación.

En todos los módulos se eligió como centro del sistema  $\mu$ controladores Microchip ya sea de la serie 16F8xx o 18F4xx.

En la parte de simulación se eligió Proteus Isis por sus modelos de simulación VSM; el lenguaje de programación utilizado fue el C y como compilador el software PIC C COMPILER debido a que ofrece RTOS (Real Time Operating System).

**Palabras clave:**

Invernadero, humedad, temperatura, inalámbrico, microcontrolado, shiitake, control.

# SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL VIA INALAMBRICA DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARA INVERNADEROS

L. Enrique Hernández Rangel – Wilman Pineda - Dariel Bayona  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) - (UPTC) – UPTC  
[Kikeher7777@yahoo.es](mailto:Kikeher7777@yahoo.es), [wilmanpineda@hotmail.com](mailto:wilmanpineda@hotmail.com), [dalbaruy@yahoo.es](mailto:dalbaruy@yahoo.es)

Este desarrollo se origina en la Universidad Pedagógica Y Tecnológica de Colombia (UPTC) Duitama-Colombia por iniciativa de los docentes de la asignatura Microcontroladores de las Escuelas de Licenciatura en Educación Industrial e Ingeniería electromecánica, el objetivo es controlar de forma precisa la humedad, la temperatura, la iluminación, la ventilación y demás variables relevantes para los invernaderos, con la intención de lograr habientes artificiales e ideales para el buen desarrollo de algunos cultivos. Específicamente se pensó en el cultivo de *Shiitake* seta muy exigente en cuanto a condiciones ambientales de cultivo.

Se ha desarrollado inicialmente un sistema de control que consiste de módulos de sensores en base al sensor SHT11, módulos actuadores en base a reles de estado sólido y un modulo de control con los algoritmos de control, fusiones gráficas de agradable y útil interfaz a usuario mediante pantalla LCD gráfica y funciones de datalogger para posterior descarga y análisis de datos en PC.

Todos los módulos se intercomunican de forma inalámbrica en la banda de 2.4Ghz mediante transceiver *TRF-2.4GHZ*, se eligió la comunicación inalámbrica porque disminuye en mucho los costos y el tiempo de instalación.

En todos los módulos se eligió como centro del sistema  $\mu$ controladores Microchip ya sea de la serie 16F8xx o 18F4xx.

En la parte de simulación se eligió Proteus Isis por sus modelos de simulación VSM; el lenguaje de programación utilizado fue el C y como compilador el software PIC C COMPILER debido a que ofrece RTOS (Real Time Operating System).

## INTRODUCCIÓN

Los invernaderos en Colombia son muy utilizados para cultivar setas o flores estas últimas son un renglón importante en las exportaciones del país, sin embargo la automatización de invernaderos es muy reducida, los pocos proyectos de automatización han llevado a procesos más eficientes.

Por lo anterior expuesto es de suponer que habrá un aumento en la demanda de sistemas de telecontrol, telemetría, software de aplicación, sensores y actuadores que permitan un control de los parámetros que intervienen en la obtención de un ambiente artificial con invernadero

Es así como los autores del presente proyecto deciden hacer un sistema de

control en base a  $\mu$ controladores, este sistema deberá ser flexible, de fácil instalación, escalable y con una buena relación costo beneficio.

### MARCO TEÓRICO:

Este proyecto inicialmente tiene en cuenta medir y controlar las variables humedad absoluta, humedad relativa y temperatura.

Se define HUMEDAD como la medida del contenido de agua en la atmósfera. La atmósfera contiene siempre algo de agua en forma de vapor. La cantidad máxima depende de la temperatura; crece al aumentar ésta: a 4,4 °C, 1.000 kg de aire húmedo contienen un máximo de 5 kg de vapor; a 37,8 °C 1.000 kg de aire contienen 18 kg de vapor.

El peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como **HUMEDAD ABSOLUTA** y se expresa en unidades de masa de agua por unidades de masa o de volumen de aire seco. Frecuentemente se utiliza la medida de gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. La HUMEDAD RELATIVA, dada en los informes meteorológicos, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura.

Si la temperatura atmosférica aumenta y no se producen cambios en el contenido de vapor, la humedad absoluta no varía mientras que la relativa disminuye. Una caída de la temperatura incrementa la humedad relativa produciendo ROCÍO por condensación del vapor de agua sobre las superficies sólidas.

La temperatura a la cual se empieza a formar el rocío en el aire que contiene una cantidad conocida de vapor de agua se llama PUNTO DE ROCÍO [1].

Continuamente en los últimos años se evidencian las ventajas de las aplicaciones en base a  $\mu$ controladores.

Las principales ventajas son el bajo costo y la flexibilidad por ser reprogramables.

Pero últimamente resalta una ventaja aún más importante, esta es el *Tiempo y costo de desarrollo*, no es lo mismo desarrollar una aplicación en 7 días que en 3 meses de arduo y desgastante trabajo.

Los causantes de esta revolución en tiempo y costo son básicamente el Software, tanto simuladores como compiladores en lenguajes de nivel medio.

Los simuladores con Modelos Virtuales de Simulación VSM como el Proteus, permiten no solo simular los tradicionales modelos Spice, sino también casi cualquier CI o dispositivo electrónico.

Incluso pudiéndose integrar análisis en el tiempo y en la frecuencia.

Ya pudiéndose integrar en un simulador tantas y buenas características solo falta el lenguaje de programación.

El lenguaje C para programación de  $\mu$ controladores ha venido ganando amplia aceptación gracias a compiladores muy potentes como como el *PIC C Compiler*.

Una de las mejores características que puede poseer un compilador, es que ofrezca la posibilidad de programar en modo de tiempo real (RTOS) o Multitarea (Multi-Task), esta característica de (Real time Operating System) evita desperdiciar maquina en rutinas *Delay*, en cambio permite que varias tareas o rutinas se estén ejecutando simultáneamente.

En conclusión RTOS es montar en un microcontrolador un Sistema Operativo

que permite Multitarea a ejemplo de Linux, Unix o Windows.

### **ETAPAS DEL DESARROLLO:**

El proceso de desarrollo del sistema se llevo a cavo a partir de las siguientes tareas:

- Diseño e implementación de la Unidad central de control
- Diseño e implementación del modulo de actuadores con control inalámbrico.
- Diseño e implementación del modulo de sensor con enlace inalámbrico.

Todas las tareas se diseñaron apoyados en el simulador Proteus, mientras que para el diseño de las tarjetas de circuito impreso se hizo con EAGLE y la construcción se realizo en forma sincronizada de acuerdo a un diagrama de eventos previamente establecido.

El Módulo o Unidad Central de Control consta de los siguientes circuitos.

**Reloj tiempo real:** El reloj de tiempo real elegido es el DS1302 del fabricante Dallas Semiconductor éste integrado es una memoria serial con funciones de reloj calendario. Utiliza el protocolo de comunicaciones SPI típicamente utilizado por los microcontroladores PIC.

**Banco de memoria:** Este tiene por objetivo almacenar los datos adquiridos por los módulos de sensores y los datos de las acciones de control, se formo un banco de 4 memorias seriales compuesto por integrados referencia 24IC512 que tienen un bus de datos I2C. y juntos forman una capacidad de almacenamiento de 256 Kbytes.

**Interfaz gráfica a usuario:** consiste de un teclado matricial de 4 x 4 y un display LCD-GRÁFICO que tiene como controlador un chip de la serie 0108, por medio de una librería gráfica del

compilador PICC especial para este controlador gráfico se pueden graficar líneas, texto, curvas y puntos.

Para lograr una interfaz gráfica a base de iconos se utilizó un software que convierte un icono de formato BMP a icono LCD llamado BMP2LCD, luego otro software (LCD2ASM) entrega una tabla que se puede utilizar tanto en lenguaje assembler como en lenguaje C.

Esta última tabla representa puntos que en conjunto formaran finalmente un gráfico en la LCD gráfica.

### **Interfaz de Comunicación al PC:**

Consiste de una interfaz según el protocolo RS232, configurado a 9600 bps, 8 bits y un bit de parada. Además se utilizo para lograr los voltajes adecuados de transmisión y recepción el típico integrado MAX232.

**MODULO ACTUADOR:** El actuador consiste de un relé de estado sólido con TRIAC, posee una red snubber para el adecuado manejo de las cargas inductivas y tiene una capacidad de 220v 16 Amp. Un microcontrolador PIC16f84A recibe las órdenes vía inalámbrica del módulo de control y por medio de un optoacoplador con salida de diac controla el relé de estado sólido

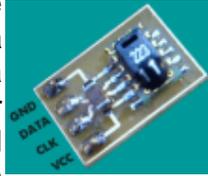
### **MODULO SENSOR:**

El dispositivo principal es un chip específico cuya referencia es SHT11 y un microcontrolador que se encarga de configurar y leer los datos de humedad relativa y temperatura.

**Descripción:** El SHT11 de la casa es un sensor integrado de humedad calibrado en fábrica con salida digital mediante un bus serie sincrónico y protocolo específico. El dispositivo también dispone de un sensor de Temperatura integrado para compensar la medida de humedad dependiendo de la temperatura, en casos

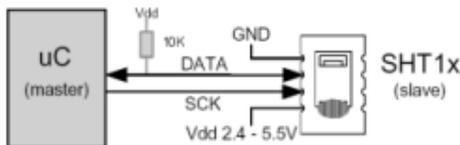
extremos. Cuenta también en su interior con un calefactor para evitar condensación en el interior de la cápsula de medida para condiciones de niebla o similar donde existe condensación.

**Funcionamiento:** El SHT11 se puede alimentar con un rango de tensión continua comprendido entre 2,4 a 5V y es necesario proveer lo mas cerca posible del chip un condensador de desacoplo de 100nF entre GND y VCC. En la imagen puede observarse una pequeña PCB (Printed Circuit Board) realizada al efecto para albergar al SHT11 y su condensador de desacoplo, ya que el sensor se presenta en encapsulado para montaje superficial LCC (Lead Chip Carrier) y es difícil de quitar una vez soldado, así que mejor trabajar con pines mas standard como un SIL de 4 pines.



Como puede verse en el datasheet del SHT11 ,el chip dispone de 10 pines aunque solo se usan 4 de ellos y los demás se deberán soldar en pads al aire, simplemente para la sujeción del integrado.

El pin DATA corresponde a la salida/entrada de datos para comandar y leer el sensor y es un pin triestado por lo que necesita de una resistencia de polarización a Vcc (push-up). SCK se utiliza para sincronizar la transmisión y no dispone de frecuencia mínima [2].

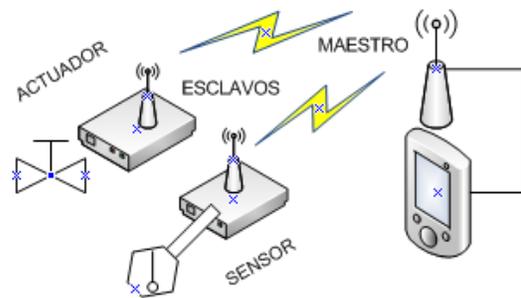


**COMUNICACIÓN INALÁMBRICA:**

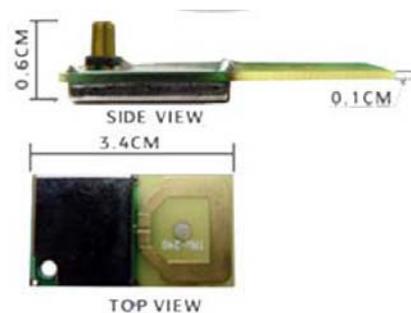
Durante la fase de desarrollo del equipo se fabrico un sistema de comunicaciones basado en una red de tipo maestro-

esclavo, en donde el módulo de comunicaciones maestro se colocó dentro de la unidad central y los módulos esclavos se situaron en algunos puntos estratégicos dentro del invernadero destacándose dos tipos distintos de funcionalidades:

- Modulos inalámbricos para sensado de variables.
- Modulos inalámbricos para el accionado actuadores.



El dispositivo base para los modulos de comunicación es un chip fabricado por “LAIPAC TECHNOLOGY INC” bajo la referencia TRF-2.4G el cual se puede apreciar en la figura . TRF-2.4G es un transceiver con antena incluida que transmite a una frecuencia configurable entre 2.4GHz y 2.524GHz, además trabaja con un voltaje de 3v y un consumo de apenas 25mA lo que lo hace ideal en equipos portables



**Distribución de pines**

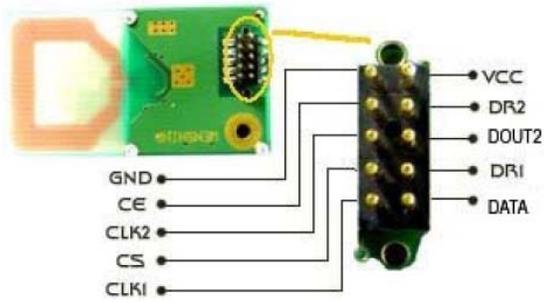


Figura1. Detalle del transceiver TRF-2.4G [3]

Cada modulo de comunicaciones integrado en el sistema, además esta conformado por un microcontrolador PIC16f628A de MICROCHIP que se encarga de administrar la operación del TRF-2.4G, este micro fue seleccionado por tener un modulo UART que nos permitía hacer una fácil integración con los demás sistemas involucrados además de su reducido tamaño.

En los siguientes diagramas de bloques se presenta una descripción de la arquitectura de los módulos de comunicación.

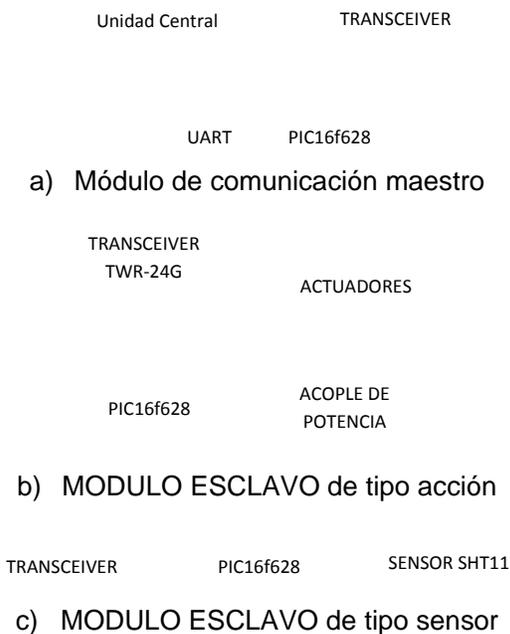


Figura 2. Módulos de comunicación inalámbrica

La función desempeñada por el microcontrolador ubicado en el modulo de comunicación maestro es la de recibir vía RS232 el comando requerido por la unidad central y empaquetarlo para que finalmente sea transmitido por el TWR-24G. De otro lado el microcontrolador del modulo de comunicación esclavo configura al TWR-24G en modo de recepción de manera que siempre esta escuchando por el canal de comunicaciones hasta que reciba un paquete que le haga ejecutar una acción como por ejemplo: encender el calentador o transmitir hacia la unidad central la lectura de temperatura.

### El circuito para el módulo de comunicaciones

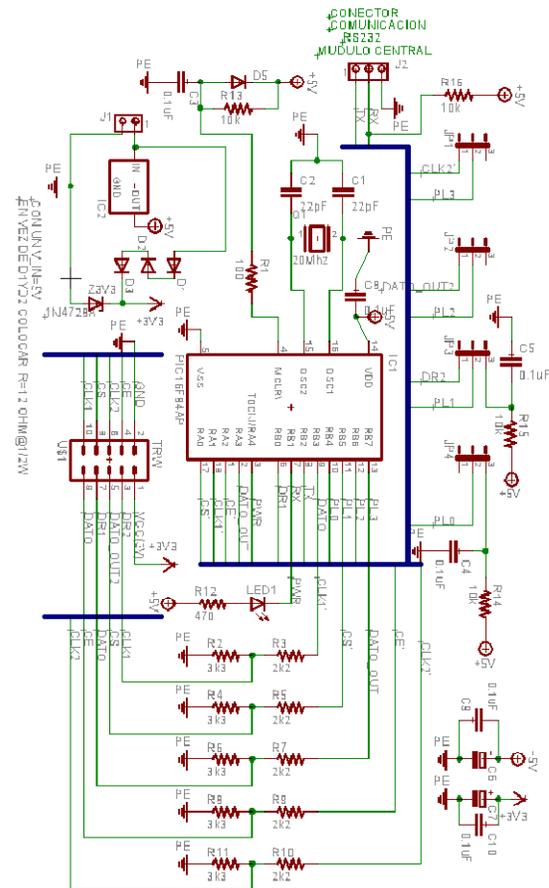


Figura3. Circuito para el modulo de comunicación inalámbrica

El esquema de conexiones que se muestra en la figura3,observese que todas las líneas de configuración que llegan al conector para el TRF-2.4G llevan divisores de tensión calculados para que a 5 Voltios de alimentación del PIC16f628 llegen justo 3 Voltios al transeiver además el pin DATA del transeiver se deriva con otro pin del PIC llamado DATA\_OUT con el fin de manejar separadamente los datos de salida y de entrada en el microcontrolador

## EL PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

La red de comunicaciones planteada posee un maestro y una cantidad máxima de 255 dispositivos esclavos, en donde la comunicación entre el maestro y el esclavo ocurre en forma bidireccional, como es típico cada modulo esclavo es etiquetado con un numero en este caso de longitud Byte el cual debe ser único dentro de la red para evitar conflictos por colisión de datos.

Tanto el comando de petición como la respuesta al comando (en caso de que exista) es transferido en forma de paquete que sigue el siguiente formato:

inicio 1Byte	capa de datos (4Bytes)		fin 1Byte
0xCA	DirEsclavo (2Bytes)	NumComando (2Bytes)	0xBA

El campo "DirEsclavo" contiene el numero asignado al dispositivo al cual va dirigido el paquete en forma Hexadecimal así por ejemplo si el paquete va destinado al esclavo numero 125 se colocan dos caracteres : '7' seguido de 'D' (puesto que d'125' = 0x7d).

El campo "NumComando" contiene la orden que debe ser ejecutada por el esclavo de acuerdo a la siguiente tabla de asignaciones

Nombre del Comando	Numero comando
Activación de puerto de salida {n}	An*
DesActivar puerto de salida {n}	Dn*
Lectura del Sensor1 (Temperatura)	S1
Lectura del Sensor2 (Humedad)	S2

\*: el valor de n determina el numero del puerto el cual es un carácter entre 0 y 3.

## La algorítmica

Durante la fase de desarrollo del modulo de comunicaciones en particular sobre las pruebas de comunicación se observo que en un enlace de dos transeivers TRW-24G el paquete recibido llegaba sin errores. Sin embargo no todas las veces que se transmitía un paquete ,este no siempre llegaba a su destino.

Tal situación es ocasionada por el sistema de detección de errores del TRW-24G, el cual cuando detecta corrupción de bits en el paquete recibido simplemente decide no entregarlo a la salida, sin embargo lo incomodo es que no informa del error sucedido.

Entonces desde el punto de vista del dispositivo esclavo no existe la posibilidad de saber si algún dato ha llegado corrupto, simplemente esta "sordo" para ese paquete que ha hecho perdido el transeiver. Lógicamente esto representaba una menor eficacia en el transporte de datos para lo cual se hizo necesario establecer la siguiente regla de juego para la terminal que está en proceso de envío de paquete:

“Cada paquete enviado debe tener una confirmación –de recepción correcta– desde la terminal de destino, en caso de no recibirla se reenvía el paquete hasta completar un número estándar de veces reenvíos”

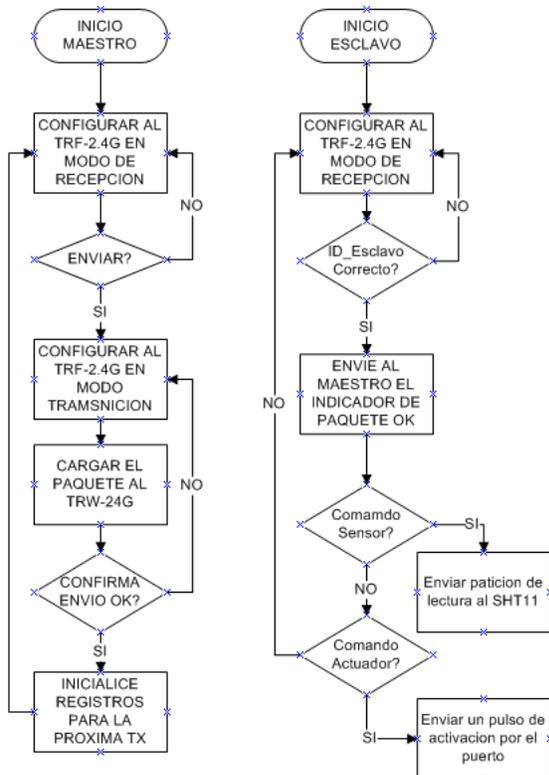


Fig 4: Algoritmo Módulos de comunicaciones

### Conclusiones:

El sistema de monitoreo y control en su primera etapa permite el registro de las variables temperatura y humedad, cálculo del punto de rocío y por medio del rocío es posible regar de forma indirecta un cultivo de setas ya que estas así lo requieren.

Se puede lograr controlar la Humedad Relativa, controlando temperatura por medio del encendido y apagado de calefactores, apertura de microaspersores de agua y apertura automática de ductos de ventilación.

En el sistema de control del ambiente de invernadero se pueden programar rutinas de para regadío directo, aireación por medio de ductos de ventilación y así lograr manejar los niveles de CO2. También encendido de lámparas para aumentar el tiempo de iluminación e incrementar la producción de los cultivos. El empleo de enlace inalámbrico se comprobó que es fiable a máximo 100m, lo cual es suficiente.

La elección de tecnología inalámbrica a facilitado enormemente las pruebas hechas y así mismo facilitará la instalación.

Queda de este proyecto implementar el software para gestión de los datos en el PC, diseñar y construir módulos que testeen CO2 para calcular la biomasa del cultivo, módulos de sensores de PH y de intensidad lumínica.

Queda poner a prueba el sistema en condiciones reales de trabajo para analizar fallas en el diseño.

Afortunadamente se cuenta con la colaboración y apoyo de las facultades de agronomía y diseño industrial para el mejoramiento de este sistema.

Se espera que con este proyecto que los estudiantes de la asignatura µcontroladores se vinculen activamente en su continuo desarrollo, esto permitirá un beneficio mutuo para los diferentes entes interdisciplinarios que apoyan y apoyarán este proyecto de automatización.

Con lo aprendido en un futuro cercano se espera contribuir a optimizar la economía agrícola de la región y del país.

### REFERENCIAS

- [1] Microsoft Encarta 2008
- [2] [www.x-robotics.com](http://www.x-robotics.com)
- [3] [www.laipac.com](http://www.laipac.com).

## Anexo A: Fotos del sistema de Monitoreo y control



Fig A-1 Detalle modulos construidos



Fig A-2 Detalle modulo control



Fig A-3 Despiece modulo control

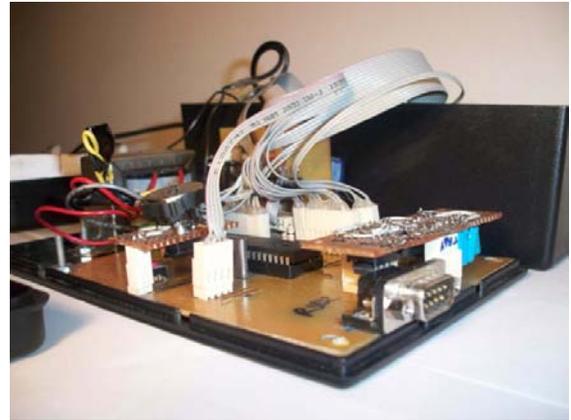


Fig A-4 puerto comunicaciones modulo control.



Fig A-5 Vista Transmisor maestro del modulo de control

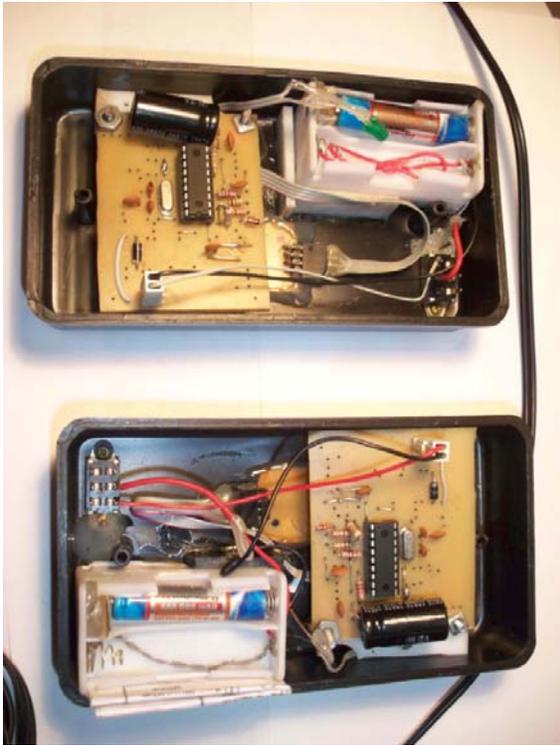


Fig A-6 Detalle modulos Sensores

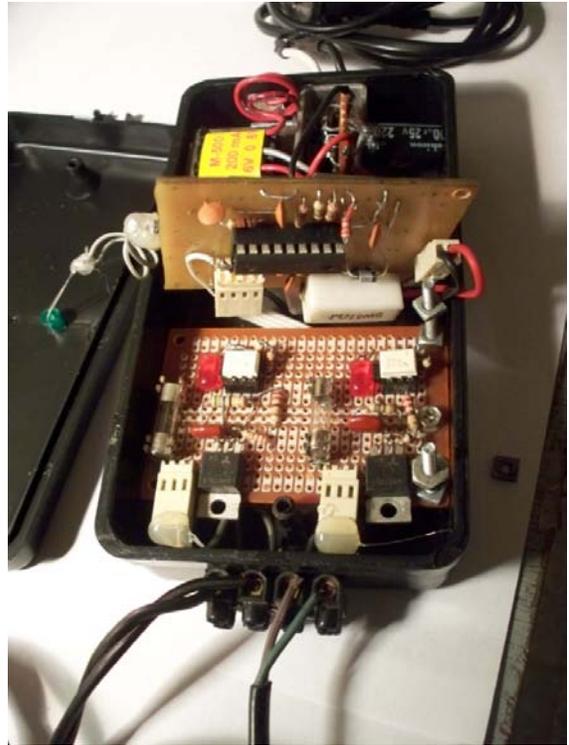


Fig A-8 Detalle modulo actuador despiece



Fig A-7 Despiece modulo actuador



Fig A-9 Pantalla inicial



Fig A-10 Pantalla principal



Fig A-11 Pantalla Vista General



Fig A-12 pantalla Créditos