

AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADERO PARA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA CON TECNOLOGÍA DE PUNTA A BAJO COSTO.

Greenhouse automation for agricultural production with cutting-edge technology at low cost.

Paulo Andrés Rincón Vieda¹

Jesús Andrés Silva Plazas²

Alejandro Fabián Torres Camacho³

Resumen

Los invernaderos son utilizados para aumentar la calidad, el rendimiento y el proceso productivo de un cultivo. Además le permiten al agricultor tener un control eficiente de los factores ambientales, plagas y enfermedades mejorando la productividad del sembrador. Dicha situación ha encauzado al centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila a implementar y desarrollar un invernadero con tecnología de punta a bajo costo, a partir del uso de energía renovable, componentes electrónicos y equipos tecnológicos. Además se diseñó una aplicación móvil bajo el sistema operativo Android, capaz de monitorizar y supervisar el estado del invernadero.

Para llevar a cabo la automatización del invernadero se utilizaron paneles solares, sistema que permite la generación y distribución de energía a todos los equipos y componentes electrónicos. Igualmente se programó una tarjeta microcontroladora Arduino, que tiene por objetivo controlar el sistema de riego, sistema de ventilación, variables de temperatura y humedad. La información suministrada entre el invernadero y los dispositivos de monitorización es almacenada y administrada por la aplicación móvil.

Palabras Claves: *Invernadero; sensores; automatización; monitoreo; Android.*

1 Ingeniero de Sistemas y Especialista en Seguridad de la Información. Paulorincon@misena.edu.co.

2 Ingeniero de Sistemas, Estudiante de Maestría en Gestión de la Tecnología Educativa en la Universidad de Santander. Jesusilpla@misena.edu.co.

3 Ingeniero Electrónico. Aftorres325@misena.edu.co.

Abstract

Greenhouses are used to increase the quality and yield of the agricultural production, and to have a greater efficient control of the environmental factors, pests and diseases. Different plants are cultivated in it, allowing to improve the productivity to the farmer. For that reason, at Centro Agroempresarial y Desarrollo Pecuario del Huila, a greenhouse has been implemented and developed with cutting-edge technology at low cost, using renewable energy, electronic components, technological equipment and at the same time has developed an Android operating system mobile application, which is able to monitor and check the performance of the greenhouse.

The greenhouse automation process was carried out by using solar panels to generate energy for all electronic equipment and components, and an Arduino microcontroller card was programmed to control the irrigation system, ventilation system, temperature and humidity. The information supplied by the greenhouse and the monitoring devices will be stored and managed with the mobile application

Keywords: *Greenhouse; Sensors; automation; Monitoring; Android.*

Introducción

En los últimos años se han desarrollado muchos proyectos alrededor de la instrumentación y monitoreo en invernaderos, los más destacados se encuentran en países como España (A. Barriga, 2001) donde se diseñó un sistema de medida de humedad del suelo para aplicaciones en el control de riegos. En México (P. García, 2002)], en el Centro de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara, desarrollaron un proyecto

que permitió automatizar cualquier cultivo de frutas, flores, verduras y árboles; las señales adquiridas de los sensores de temperatura y humedad relativa fueron filtradas, amplificadas y digitalizadas para ser procesadas a través de un microcontrolador.

Estos proyectos se diseñan con el fin de ahorrar considerablemente el agua que se utiliza en el riego de plantas; en Perú (G. Berenz, 2007), se desarrolló un sistema para adquirir las variables físicas de un invernadero

usando telemetría. La adquisición se hace por medio de un microcontrolador que es conectado a un teléfono celular, el cual transmite las variables a través de llamadas de datos, usando el estándar Hayes (Comandos AT que son protocolos de comunicación). De igual forma se han desarrollado proyectos similares en Ecuador (F. Porras, 2006) y Argentina (Padovani, 2004), donde se implementaron sistemas de instrumentación para diversos cultivos de plantas, flores y verduras.

En Colombia se encuentran también trabajos de investigación en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bogotá (R. Agudelo, 2005) dónde se automatizó un sistema de riego por goteo para flores, se empleó un módulo de transmisión RF donde la información es programada por el operario del invernadero o es adquirida por las mediciones de humedad del suelo. El diseño se basa en la adquisición de las señales a través de microcontroladores, las cuales son enviadas vía RF a una estación remota donde se controlan y supervisan los estados de las variables a través de una herramienta computacional. En Medellín¹, en la Universidad de la Salle, se diseñó un sistema inalámbrico para el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa de un invernadero. Dicho diseño consiste en una red de dispositivos de medición, sus señales son adquiridas por medio de microcontroladores, localizados específicamente, los datos de las mediciones se entregan vía radiofrecuencia a una computadora de administración por software y en

Bucaramanga², se estudia la forma de racionalizar la cantidad de agua requerida por una planta además de la automatización de los sistemas de riego.

A pesar de que el tema es ampliamente conocido a nivel nacional e internacional, en el centro del departamento del Huila no se cuenta con invernaderos que cumplan con características tecnológicas para el desarrollo de cualquier tipo de cultivo. Actualmente el agricultor controla artesanalmente las condiciones de humedad y temperatura del invernadero abriendo periódicamente las válvulas surtidoras de agua; este control no es muy preciso porque la temperatura y la humedad del invernadero no siempre son los adecuados ya que no existe un sistema con el cual se pueda verificar el valor de la temperatura o humedad, si no que el agricultor del invernadero toma las decisiones por simple experiencia, la cual no siempre es exacta.

Con este proyecto se busca crear un sistema de control a través de energías alternativas (energía solar) que garanticen las condiciones del invernadero, optimizando el desarrollo del cultivo. En ese sentido la búsqueda está centrada principalmente en automatizar la humedad del suelo por medio del riego, y controlar la temperatura ambiente por medio de sensores accionados por extractores y ventiladores.

Este proyecto se vincula a la investigación Colombiana como posible prototipo de bajo costo adaptable a los

1 C. Pérez y L. Vargas. "Dispositivo de bajo costo para la medición de la velocidad del viento". Revista Facultad Nacional de Agronomía. No. 62 (Suplemento 2). 2009.

2 D. Rozo. "Control y monitoreo de variables ambientales utilizando PLC y Scada". Revista de Tecnologías de Avanzada. Vol. 2, fasc. 2, pp. 71-79. 2003

requerimientos del campo al tiempo que se perfila como una opción para los campesinos y sus cultivos en pro de la mejora técnica y económica.

En el diseño de este prototipo de invernadero se consideraron cinco (5) factores para cumplir con las condiciones requeridas:

- Mantener la temperatura y condiciones de humedad adecuadas.
- Controlar el sistema de riego y ventilación.
- Fácil interfaz con el usuario.
- Bajo costo de materiales.
- Utilización de energía alternativa.

Metodología

• Estructuración del invernadero.

La construcción del invernadero se realizó por el instructor Eduardo Cubillos Gaitán y aprendices del

programa SENA Emprende Rural en la granja que se encuentra ubicada en el Batallón de Infantería No. 26 Cacique Pigoanza, donde se construyó un macro-túnel tipo marquesina, el cual es considerado como una de las mejores estructuras por su sistema anaeróbico. Dicho sistema resulta ser muy resistente a las corrientes de aire situación que lo establece como apto para el cultivo de hortalizas y tomate. El macro-túnel consta de 1 nave de 8 metros de ancho por 40 metros de largo, para un área total de 320 Metros cuadrados.

El invernadero tipo macro-túnel se construyó en guadua, la estructura está anclada y sostenida por 6 varillas de 12 milímetros, desde las cuales se sujetan guayas aceradas de 1/8 de pulgadas en proporción de 8 líneas por nave. La cubierta del macro-túnel fue instalada en polietileno tres estrellas verde calibre No 7 en tiras de 10 metros de ancho por 55 metros de largo. Las cubiertas, culatas y laterales fueron recubiertos por tela sombra al 6 Val 85% color blanco por 4 metros de ancho.



Figura 1. Invernadero Macro-Túnel.
Fuente: Autores.

- **Configuración de controles electrónicos y sensores.**

El prototipo electrónico de automatización consiste en sistemas embebidos Arduino UNO-R3³, el cual está programado mediante microcontrolador ATMEGA para recepción y envío de datos, ya sea digitales o análogos (Figura 2).



Características:

- Microcontrolador ATmega328.
- Voltaje de entrada 7-12V.
- 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM).
- 6 entradas análogas.
- 32k de memoria Flash.
- Reloj de 16MHz de velocidad.

Figura 2. Microcontrolador Arduino UNO-R3.

Fuente: Arduino. Arduino UNO-R3. [Figura]. Recuperado de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

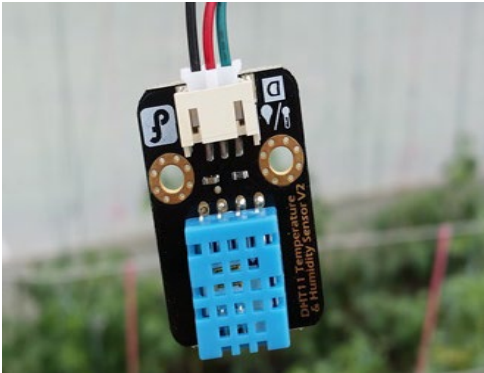
Esta tarjeta microcontroladora Arduino UNO-R3 permite manejar de forma adecuada todos aquellos sistemas instalados en el invernadero como: sistema de riego, sistema de ventilación (para mantener los niveles adecuados de temperatura), humedad relativa y calidad del aire. Con ello se busca conseguir la mejor respuesta del cultivo y por tanto mejorar en el rendimiento, precocidad, calidad del producto y calidad del cultivo.

A continuación, explicaremos detalladamente cada uno de los sensores que se implementaron para el control y monitoreo del proyecto:

El sensor DHT11 es un dispositivo que funciona para medir la humedad relativa como la temperatura (Figura 3). Presenta en el mercado un valor económico para ser implementado en estos proyectos del sector agropecuario.

El sensor de humedad y temperatura ambiente DHT11 se conecta con el microcontrolador Arduino UNO-R3, que proporciona una señal digital precisa, ingresando por los pines analógicos del Arduino y así mismo poder procesarla dando orden al actuador (ventiladores y extractores), obteniendo una mejor productividad.

3 El Arduino es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino Uno R3 puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de tu computadora.



Especificaciones:

- Módulo de sensor de temperatura y humedad, DHT11
- Opera con un rango de voltaje de 3V a 5V
- La máxima corriente usada durante la conversión es 2.5mA
- Mide temperatura entre 0°C hasta 50°C, con precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$
- Mide humedad entre 20% RH hasta 90% RH, con precisión de 5%
- La frecuencia de muestreo es no mayor a 1Hz (una vez por segundo)
- Es compatible con tarjetas Arduino
- El pin de salida (DATA) es digital
- Dimensiones de la tarjeta son 3.2cm x 1.4cm

Figura 3. Sensor DHT11.

Fuente: Autores.

Para controlar la humedad del suelo se utiliza el sensor WATERMARK 200TS. Este es el encargado de tomar las medidas en algunos puntos estrategicos del invernadero, enviando señales digitales o análogas para ser procesadas por el Arduino, permitiendo el funcionamiento de las electroválvulas o el sistema de riego por goteo. Estas señales se compensan con la ayuda del

sensor WATERMARK 200ts, haciendo de este un sistema óptimo, preciso y exacto.

Para hacer funcionar el sensor WATERMARK 200TS se requiere de un adaptador WATERMARK 220SS-VA, para realizar el trabajo de las presiones que genera el suelo húmedo hacia el sensor de humedad y temperatura, obteniendo una salida analógica (0-2.8V / 0-2.39cb(kPa)), estas salidas son lineales.

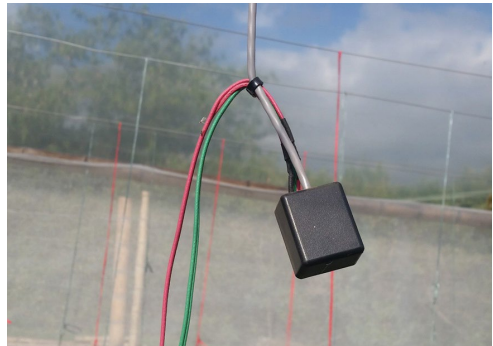


Figura 4. Adaptador WATERMARK 220SS-VA.

Fuente: Autores.

El WATERMARK⁴ es diseñado para ser un sensor permanente en el suelo que monitorear y lee tantas veces como sea necesario el ambiente adaptado a un dispositivo portátil o estacionario. Internamente instalado proporciona algo de búfer para el efecto de los niveles de salinidad que se encuentran normalmente en los cultivos agrícolas de regado junto con sus paisajes.

⁴ En uso desde 1978, el sensor patentado WATERMARK es de una resistencia eléctrica de estado sólido de detección dispositivo que se utiliza para medir la tensión de agua del suelo. Cuando la tensión cambia con el contenido del agua, la resistencia también cambia. Esta resistencia puede medirse utilizando el sensor WATERMARK.

El sensor de temperatura Modelo 200TS (Figura 5) es un dispositivo resistivo que responde a los cambios de temperatura. A medida que la temperatura se calienta, la resistencia disminuye. La relación de ohmios de resistencia a la temperatura es constante y construido en los dispositivos de lectura IRROMETER, que se utilizan para interrogar al sensor. El sensor de temperatura 200TS es un termistor de precisión encerrado en resina epóxica para aplicaciones de enterrado directo.



Especificaciones:

- 0-200 Rango de Centibares
- Caja de acero inoxidable
- Estado completamente sólido
- No se desuelven en el suelo
- No es afectado por temperaturas bajo cero
- Compensación interna para niveles de salinidad que se encuentran comúnmente
- Bajo costo
- Fácil de usar
- Sin mantenimiento

Figura 5. Sensor de Temperatura WATERMARK 200TS.

Fuente: Autores.

El Sensor WATERMARK 200SS (Figura 6) es un dispositivo de estado sólido de resistencia eléctrica de detección que se utiliza para medir la tensión de agua del suelo. Cuando la tensión cambia con el contenido de agua la resistencia también cambia. Esta resistencia puede ser medida usando el Sensor. Convierte la salida del sensor en una señal de tensión lineal calibrada. Esta se utiliza para automatizar los controladores de riego y equipo de monitoreo de humedad del suelo.



Especificaciones:

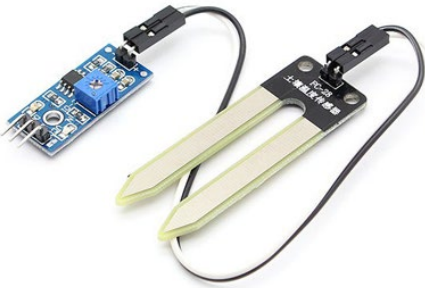
- 0-200 Rango de Centibares
- Caja de acero inoxidable
- Estado completamente sólido
- No se desuelven en el suelo
- No es afectado por temperaturas bajo cero
- Compensación interna para niveles de salinidad que se encuentran comúnmente
- Bajo costo
- Fácil de usar
- Sin mantenimiento

Figura 6. Sensor WATERMARK 200SS.

Fuente: Autores.

El sensor que mide la humedad del suelo es el sensor FC-28. Es ampliamente empleado en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo.

El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero tampoco es necesario para controlar un sistema de riego.



Especificaciones:

- 1 x módulo sensor de humedad del suelo FC-28.
- 1 x placa de control.
- 2 x cables macho – hembra para la conexión del sensor

Figura 7. Sensor de Humedad del Suelo FC-28. **Fuente:** Eodos. PFG – Sensor de humedad FC-28. [Figura]. Recuperado de <https://eodos.net/proyectos/sensor-de-humedad#.WZtiNCILTIU>

El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral.

El valor concreto depende del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como por ejemplo, fertilizantes. Además, no todas las plantas requieren la misma humedad, este sensor FC-28 es conectado al arduino recibiendo señales analógicas para la adquisición y comparación de la humedad del suelo y así poder accionar el sistema de riego mediante parámetros propuestos por el usuario final.

• Sistema de riego

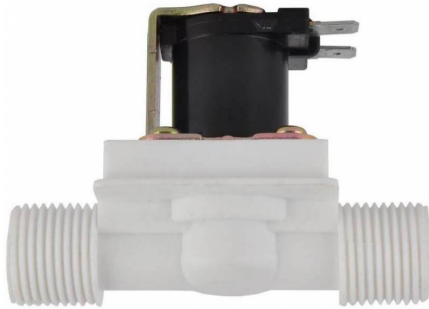
El método de riego que se adecuó es el sistema de goteo tipo interlinea con goteros de 2 litros/hora cada 10 centímetros y 2 líneas de riego por surco. El sistema de riego funciona por bombeo, por medio de una electrobomba de 3/4Hp desde un tanque de 1000 CM³. Se utiliza un filtro de malla de 200 mesh en 1 pulgada, sistema de inyección de fertilizantes por vacío a la succión de la bomba, el sistema de control está compuesto por 2 muñecos en PVC de 1" y válvula plástica o metálica en igual diámetro. Las líneas de riego de cada bloque por goteo son interconectadas mediante mangueras de 16 milímetros para facilitar el drenaje.



Figura 8. Sistema de Riego por goteo. **Fuente:** Autores.

La automatización del control del este sistema de riego está diseñada mediante RELES Y ELECTROVALVULAS. Las señales de control son enviadas por el arduino hacia un primer relé. Cuando el suelo este a una determinada humedad es primordial energizar la

electroválvula de corriente continua (12V/24V) que funciona para el riego. Cuando el sensor detecte que la humedad sea la pertinente se cierra la electroválvula des-energizando el relé, dando el mejor riego para el cultivo.



Especificaciones:

- 1/2" Nominal NPS
- Presión de trabajo: 0.02 Mpa – 0.8 Mpa
- Temperatura de trabajo: 1 °C – 75 °C
- Tiempo de respuesta (open): ≤ 0.15 sec
- Tiempo de respuesta (close): ≤ 0.3 sec
- Voltaje de actuación: 12VDC (ver tabla)
- Vida útil: ≥ 50 millones de ciclos
- Peso: 4.3 oz
- Dimensiones: 3" x 2.25" x 2"

Figura 9. Electroválvula.

Fuente: Electronilab. Electroválvula – Valvula Selenoide Agua 12VDC. [Figura]. Recuperado de <https://electronilab.co/tienda/electroválvula-valvula-selenoide-agua-12v-dc-12/>

El Relé es un dispositivo mecánico capaz de comandar cargas pesadas a partir de una pequeña tensión aplicada a su bobina. Básicamente la bobina contenida en su interior genera un campo magnético que acciona el

interruptor mecánico. Ese interruptor es el encargado de manejar la potencia en sí, creando en el circuito electrónico la labor de “mover” la bobina. Permite así aislar mecánicamente la sección de potencia de la de control.



Especificaciones:

- Medidas 19x15,5x15mm
- Salida: 10A/ 120V AC 10A/ 24V DC 7A/ 250V AC
- bobina de 5 Vcc
- Número de Pines: 5
- Terminales de aguja
- Fabricado en plástico sellado con resina epóxica

Figura 10. Relé de 5 Voltios.

Fuente: Proyectos Electrónicos. Relés 5 voltios DC. [Figura]. Recuperado de <https://www.abcelectronica.net/productos/relés/5vdc/>

- Sistema de automatización de temperatura ambiente mediante extractores

La ventilación en los invernaderos es un tema importante en los resultados de los diferentes cultivos. El aumento de la temperatura y la humedad causa daños a las siembras, perjudicando su calidad y en muchos casos los procesos del agricultor se retrasan.



Figura 11. Extractor de aire.
Fuente: Autores.

La automatización de la ventilación y el control de temperatura ambiente del invernadero se realizan mediante relés, contactores y extractores. Las señales de control son enviadas por el Arduino hacia un primer relé. Cuando la temperatura del ambiente este a un valor determinado se energiza el contactor actuando las líneas de fuerza para accionar los extractores que funciona para extraer e ingresar aire.

Cuando el sensor DHT11 detecta que la temperatura disminuye apaga el sistema de ventilación buscando que la humedad sea la pertinente. Posteriormente se cierra la electroválvula des-energizando el relé, dando el mejor riego para el cultivo.



Especificaciones:

- Tensión Nominal.: 50/60 HZ, hasta 690 V
- Uso.: Maniobras de circuitos a distancia; protección de circuitos contra sobrecargas, en combinación con un relé térmico; maniobra y control de motores.
- Categorías de empleo.: AC-3, AC-4;
- Altitud.: 2000m
- Temperatura ambiente.: -5°C +40°C
- Categoría de montaje.: III

Figura 12. Contactor.
Fuente: Revista digital. Diferencia entre relés y contactores. [Figura]. Recuperado de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-reles-contactores/>

- **Energía alternativa (paneles solares)**

Los paneles solares fueron ubicados en un lugar estratégico donde reciben el sol la mayor parte de tiempo. Están en un espacio con inclinación de 20 grados sobre el eje sur para mayor eficiencia de recepción de rayos ultravioleta. Ya teniendo ubicado los paneles solares se conectan a un controlador recibiendo la energía eléctrica producida por estos



Figura 13. Panel Solar
Fuente: Autores.

quienes se encargan de distribuirla por el banco de baterías y el inversor, este convierte la energía de corriente directa a corriente alterna (110V).

Este sistema de energía alternativa se implementa para satisfacer y reducir los costos de energía consumida por el invernadero y para evitar pérdida de datos producida por algún tipo de apagón.

Especificaciones:

- capacidad de batería de 10kwh
- capacidad de uso 70% = 7.1kwh
- salida continua de 3.5kw
200wp Kit fotovoltaico
Potencia de pico: 3.5kW

- **Estación meteorológica**

La Estación Meteorológica Davis Instruments⁵ con transmisión inalámbrica fue instalada en la parte interior del invernadero con el fin de monitorear y administrar los datos del cultivo. En este espacio el agricultor puede tener información precisa y confiable, además observar la

información de las siguientes variables (Temperatura y Humedad interior y exterior, Velocidad y dirección del viento, Temperatura de sensación y punto de rocío, Lluvia actual y acumulada diaria, mensual y anual, Intensidad de lluvia, Presión atmosférica actual y tendencia, pronóstico meteorológico, fase lunar y hora de puesta y salida del sol) con base a estas variables el agricultor podrá tener un pronóstico de cosecha, floración, además los datos de la evolución de la planta, su desarrollo dentro del hábitat; todo esto a través

⁵ Davis ha estado proporcionando soluciones de agricultura de precisión para la comunidad agrícola y ganadera durante años. EnviroMonitor, una extensión natural de nuestras capacidades, aprovecha el poder de la agricultura de precisión.

de la consola VANTAGE PRO2. Este tipo de tecnologías ayudan al agricultor a tomar decisiones en tiempo real.



Figura 14. Estación Meteorológica.
Fuente: Autores.

Especificaciones:

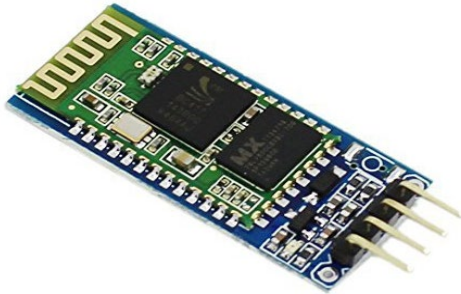
- Tecnología radio de espectro ensanchado por salto en frecuencia para una transmisión de datos fiable desde el conjunto integrado de sensores hasta la consola.
- Conjunto de sensores exterior resistente a la corrosión y a todas las condiciones meteorológicas.
- Panel solar para alimentar el conjunto de sensores durante el día. Un súper condensador integrado proporciona energía por la noche y una pila de litio sirve de respaldo en caso de necesidad.

- **Comunicación e implementación del aplicativo móvil**

El sistema de información fue diseñado y desarrollado en Android como plataforma móvil para el desarrollo de dispositivos móviles. Ha teniendo una importante aceptación por sus características en rendimiento, diseño, siendo completamente libre y gratuito para su uso.

La comunicación del Arduino con el dispositivo móvil está diseñada a través de tecnología bluetooth con referencia HC-06 que trabaja a una velocidad de 9600 (baud rate), transmitiendo los siguientes datos:

- Humedad relativa.
- Humedad del suelo.
- Temperatura ambiente.



Especificaciones:

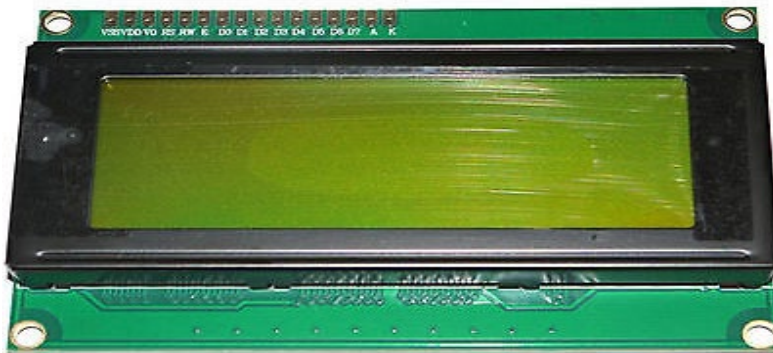
- Referencia: HC-06
- Pines: 4 (RXD, TXD, GND, VCC)
- Versión bluetooth: 2.0 +EDR
- Frecuencia: 2.4Ghz
- Puerto de comunicación: UART/USB
- Voltaje de operación 3.3V
- Dimensiones: 4.4 x 1.5 x 0.2 cm
- Peso: 10 g

Figura 15. Bluetooth HC-06

Fuente: Prometec. módulo bluetooth HC-06. [Figura]. Recuperado de <http://www.prometec.net/bt-hc06/>

Tenemos un alcance de 30 metros con línea de vista para la comunicación efectiva sin pérdida de datos. La recepción de los datos se visualiza a través de una pantalla LCD

4*20, con un módulo de comunicación I2C para lograr controlar y enviar los datos a la pantalla por medio de dos pines (SDA y SCL).



Especificaciones:

- Alimentación: 5v.
- Caracteres: 4 filas x 20 caracteres alfanuméricos.
- Fondo de pantalla: azul.
- Color de los caracteres: blanco.
- Dimensiones del display: 75 x 26 mm útiles (97 x 40 mm en total).
- Dimensiones de la placa: 98 x 60 mm.
- Módulo I2C / IIC pre soldado en la parte trasera.

Figura 16. Pantalla LCD 4*20

Fuente: Autores.

Este sistema operativo Android proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones que accedan a las funciones del teléfono (como el GPS, las llamadas, bluetooth, etc.). De esta manera el trabajo fue desarrollado mediante el lenguaje de programación JAVA para el desarrollo de la funcionalidad del aplicativo móvil, lo que nos asegura que podrá ser ejecutado en una variedad de dispositivos, tanto como presentes como futuros.

El diseño de la interfaz del usuario fue diseñado con el lenguaje de etiquetado extensible denominado (XML), formado por un conjunto de elementos básicos de visualización, coloquialmente conocidos como pantallas de la aplicación, permitiendo integrar diferentes elementos de interacción con el usuario: textos, botones e imágenes, etc.

Vale agregar que la aplicación realiza un almacenamiento automático de todos los datos de las variables de los sensores en una base de datos. MYSQL es el sistema gestor de base de datos de código abierto más popular del mundo, utilizado para este proyecto, ofrece los servicios de almacenamiento y control de tablas, requeridos para registrar los datos adquiridos desde el Arduino.

Una vez descrita y conocidas las herramientas básicas que permiten crear el aplicativo móvil en Android, es necesario emplear un entorno de programación capaz de compilar el código de la APP y así mismo tener un instalador APK de la aplicación.

La aplicación Móvil del invernadero ha sido desarrollada bajo

el software ANDROID STUDIO en su versión 2.3, programa compuesto por un conjunto de herramientas de programación de código abierto multiplataforma y gratuito.



Figura 17. Aplicativo Móvil SAMAC.
Fuente: Autores.

La anterior (Figura 18) muestra el resultado de programar los elementos que compone la aplicación:

Como primer elemento tenemos dos botones, uno de conexión llamado bluetooth y otro de salir de la aplicación, seguidamente visualizaremos las variables de monitoreo del invernadero como: temperatura ambiente, humedad ambiente y humedad suelo, con sus correspondientes valores recibidos desde el microcontrolador Arduino UNO-R3.

Conclusiones

- El invernadero macro-túnel fue construido en guadua teniendo en cuenta que es material forestal que se encuentra a la mano de los agricultores, los principales interesados en este tipo de construcción; de esta manera se disminuyen los costos ya que para poseer un invernadero automatizado se tenía que recurrir a la importación de los mismos a unos altos precios no accesibles al productor agrícola promedio de la región.
- El agricultor podrá implementar y tecnificar sus cultivos haciendo uso de estas tecnologías de fácil acceso y bajo costo tales como sensores de humedad, temperatura, módulo Arduino, unidad meteorológica para automatizar el invernadero en busca de un mayor rendimiento o productividad de los diferentes cultivos que se deseen cosechar.
- La implementación de elementos electrónicos ayuda a controlar y monitorear diferentes variables (humedad-temperatura) donde se permite la recepción de datos mediante una aplicación móvil con sistema operativo Android. De esta manera el experto podrá analizar los datos y determinar la calidad de la producción de su cultivo.
- Dentro del proceso de investigación aplicada se pudo confirmar que la automatización de los invernaderos ayuda a agilizar los procesos agrícolas al tiempo que optimiza y controla ejes climáticos que pueden ser asumidos como

posibles amenazas en el marco del proceso de siembra y maduración. Asimismo, se comprobó la eficacia que tienen este tipo de métodos a la hora de producir y cuidar un fruto.

Referencias

- A. Barriga, J. C. (2001). Sensor de Humedad del Suelo de Bajo Coste para Control de Regadíos. Obtenido de <http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/microele/iberchip/pdf/21.pdf>
- F. Porras, M. N. (2006). Plan de negocios para una empresa que comercializara y construirá sistemas para el control ambiental de invernaderos. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/720>
- G. Berenz, L. G. (2007). Lectura remota de las variables de un invernadero usando telemetría. Obtenido de <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/telemetria/lecturaremota-invernadero-telemetria.pdf>
- P. García, V. L. (2002). Proyecto invernadero. Division De Electronica Y Computacion.
- Padovani, E. F. (2004). Sensor de humedad conductivo en sólidos con aplicación en invernaderos. Obtenido de <http://iaci.unq.edu.ar/seminarios/Archivos/FligerPadovani.pdf>
- R. Agudelo, D. C. (2005). Automatización del sistema de riego para el cultivo de flores tipo exportación. Bogotá.