

INVERNADEROS CON CULTIVO RENTABLES GREENHOUSES WITH PROFITABLE FARMING

Jorge Alberto Del Carpio Salinas¹, Samuel Gustavo Huamán Bustamante², Gabriel Closter Orellana³

RESUMEN

El proyecto consistió en el diseño y construcción de un sistema de cultivo hidropónico para evaluar el sistema de control de temperatura, humedad, riego y luminosidad en un invernadero de 50 m². Se cultivo tomates y lechugas, integrado a un cultivo de hongos comestibles "champiñones" durante los meses de Diciembre a Febrero. Los cultivos hidropónicos fueron alimentados a través de riego por goteo de solución nutritiva controlados con un equipo electrónico prototipo. El cultivo de "champiñones" fue alimentado con compost y regado a través de riego por goteo. Ambos cultivos fueron regados independientemente el uno del otro según el plan de riego programado. Las altas temperaturas registradas al interior del invernadero durante el día afectaron el adecuado crecimiento y productividad de los cultivos, además desbordaron el equipo de control de medio ambiente. Se diseñó y construyó una estación meteorológica que estuvo disponible al final del proyecto y fue una mejora del primer prototipo. Todos los equipos se conectaron en una red RS485, que está configurada para enviar valores digitales a un computador personal con una interfase de usuario para almacenar y administrar una base de datos en MYSQL.

Palabras clave: Invernadero, Cultivo hidropónico, Riego por goteo, Iluminación solar, Bus de campo RS485, Base de datos SQL, Estación meteorológica.

ABSTRACT

Designing and building a system of hidropónico cultivation was the purpose of this work to evaluate the system of control of temperature, humidity, watering and brightness in a hothouse of 50 m². There were cultivated tomatoes and lettuces, integrated to a cultivation of mushrooms eatable "mushrooms" during the months of December to February. The hidropónicos cultivations were fed through watering by leak of nutritious solution controlled with a team electronic prototype. The cultivation of "mushrooms" was fed with compost and watered through by leak. Both cultivations were watered the one of the other one independently according to the plan of programmed watering. The high temperatures registered to the interior of the hothouse during the day affected the appropriate growth and productivity of the cultivations; they also overflowed the team of environment control. Designing and building was made to a meteorological station that was available at the end of the project it was better version than the first prototype. All the teams were connected in a net RS485 that was configured to send digital values to a personal computer with user's interface to store and to administer a database in MYSQL.

Key words: Greenhouse, Hydroponic culture, Irrigation by dripping, Solar illumination, Bus of field RS485, Data base SQL, Weather station.

¹Dr., Ing., Jefe del Centro de Investigación y Desarrollo del Área de Procesamiento de Señales y Sistemas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería, ²Ing. de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería, ³Biologo de Universidad Nacional de Mayor de San Marcos.

INTRODUCCIÓN

Un invernadero es una estructura liviana que permite el aislamiento tanto térmico como de agentes u organismos contaminantes de cultivos [3], si además se introducen dispositivos, mecánicos eléctricos, para atenuar efectos adversos y asegurar la productividad, es costo adicional sobre el fruto.

Por lo tanto es conveniente elegir un Cultivo Rentable, en otras palabras, que el fruto tenga elevado valor en el mercado con respecto a otros frutos, además que soporte la aceleración de su crecimiento o productividad por medios artificiales [2] (como luz, temperatura o nutrientes). Uno de los productos preferidos en los invernaderos es el tomate, la lechuga la fresa y otros pocos más.

Debido a que un invernadero es un sistema referencial, (depende de las condiciones medio ambientales externas) usado normalmente en lugares fríos y/o áridos, intentaremos controlar parámetros medioambientales y dosificar automáticamente el riego sobre tres cultivos rentables: Tomate, Lechuga y Champiñón.

Por otro lado, es de nuestro interés observar el comportamiento en el interior y exterior del invernadero por medio de la construcción de una estación meteorológica que almacenará los datos en una computadora o en memorias

CULTIVOS ENSAYADOS DENTRO DEL INVERNADERO

Planificación

Las condiciones del suelo del lugar, con gran cantidad de cantos rodados, alto porcentaje de limo y arcilla, mal drenaje y estructura impedirían un buen manejo de cultivos. Se decidió por lo tanto, no emplear el suelo y probar por un sistema de cultivo hidropónico [12], el cual, no utiliza el suelo, sino que emplea un sustrato inerte como la arena gruesa, la cual fue elegida.

Biológico

La lechuga del cultivar "White Boston", es una lechuga de crecimiento rápido que luego de un periodo de almácigo de 3 semanas, está lista para su transplante al área de producción cosechándose

luego de 4 a 5 semanas. El tomate del cultivar "Río Grande", es un tomate de tamaño medio de unos 110 gramos en promedio, siendo del tipo indeterminado. Su producción es alta y la maduración de los frutos es casi pareja, y por ser una planta de crecimiento determinado muere luego de esto. El tomate del cultivar "Beefy Boy", es un tomate cuyos frutos de alrededor de 400 gramos, son los llamados de mesa y son muy cotizados, posee pocas semillas en su interior por su condición de híbrido y un dulce sabor. Es una planta del tipo indeterminado por lo que no muere luego de producir frutos, siendo la maduración de gradual. "Los Champiñones" [11], son de cepa del tipo de proceso de cultivo puro de la empresa Park Seed (USA), son comercializadas en bolsas de papel encerado y la cepa se encuentra inmersa en compost estéril.

Procedimiento

Se prepara la arena gruesa para su utilización como sustrato de cultivo [10]. El lavado se realiza hasta asegurar que la arena quedará completamente limpia. El compost se humedece periódicamente hasta su uso, para mantener su calidad y propiedades nutricionales.

Descripción del sistema de cultivo

Este sustrato (arena gruesa), fue colocado en dos estructuras de madera, llamadas camas, a una altura sobre 75 cm por sobre el nivel del suelo. Las dimensiones de estas camas fueron de 6 metros de largo por 1,2 metros de ancho por 0,1 de profundidad. Cada cama constaba de dos líneas de goteo de ¼" con unidades de goteo [14] regulables cada 40 cm. El riego por goteo estaba propulsado por una bomba sumergible de 50 vatios desde un taque de 200 litros conteniendo la solución nutritiva hidropónica.

El exceso de riego retornaría al tanque a través de un sistema de drenaje que consta de 6 orificios cubiertos con malla bajo las camas, y puesto que las camas poseen un declive hacia los orificios, la solución puede fluir hacia ellos y pasar a través de una tubería que la conduce de retorno al tanque de partida. Por debajo de esta estructura se preparó el espacio para el cultivo de los hongos, para lo cual, se cubrió el terreno con una manta de polietileno negro, llenándose 5 cm de compost.

El sistema de riego fue con dos cintas de goteo de 1/4" por cada unidad de 1,2 por 6 metros, no se utilizaron goteros sino que se probó hacer orificios con una aguja cada 40 cm [9]. Estas cintas eran alimentadas con una derivación de la bomba de 0,5 hp controlada con una válvula solenoide. Sobre la cama se transplantaron plántulas de tomate de ambas variedades, a fin de probar cual de ellas rendiría mejor en el sistema. Las plántulas fueron ubicadas en dos filas por cama, separadas por 40 cm entre las de la misma fila y una separación entre filas de 80 cm.

Se procedió a sembrar semillas de lechuga del cultivar White Boston a fin de aprovechar el espacio restante pues los tomates tardarían algún tiempo en desarrollar. El riego se realizó 2 veces al día: al amanecer y al atardecer y los excesos de solución retornaban al tanque de solución a través del sistema de drenaje. La semilla o inóculo de champiñones fue sembrada a distancias de 20 cm entre cada uno en el espacio inferior de 1,2 por 6 metros bajo cada cama. El riego fue realizado mediante la bomba de 0,5 HP, a través de una válvula solenoide.

Comportamiento

La arena gruesa, debido a su coloración oscura, capta fácilmente la radiación lo que elevaba la temperatura superficial que junto con la humedad retenida se propagaba fácilmente hacia toda la profundidad. En una primera etapa esta situación afectó al establecimiento de las plántulas de las especies. Esta situación de estrés implicaba un daño al sistema radical principalmente y deshidratación de la parte aérea de las plantas como se puede ver en la Fig. 1.



Fig. 1 Tomates madurando tempranamente debido a elevada temperatura.

Al ir desarrollando el follaje, las plantas ofrecieron una mejor cobertura o sombra al sustrato, el cual ya no manifestaba altas temperaturas. El desarrollo de las lechugas se vio afectado por las altas temperaturas a las que fueron expuestas. El efecto fue la elongación temprana del tallo representando una rápida maduración de la planta entrando a la etapa de maduración antes de alcanzar la talla comercial de la planta.

El cultivo de hongos, en especial de la especie trabajada, requiere alta humedad relativa (cercana a la saturación), y temperaturas que promedien en una primera etapa (crecimiento vegetativo) los 18°C, y en una segunda etapa los 22°C (crecimiento reproductivo).

Las temperaturas antes mencionadas son las ideales para el correcto crecimiento de esta especie, sin embargo, estas pueden variar disminuyendo la tasa de crecimiento así como la productividad. Las altas temperaturas a las que fue expuesto el cultivo sobrepasan el rango del cultivo por lo que mostró un nulo crecimiento.

MEDICIONES PREVIAS

Se debieron realizar mediciones previas para poder continuar con el diseño tanto del sistema hidropónico como de la parte electrónica.

Comportamiento de la iluminación

La primera etapa consiste en observar el comportamiento de la iluminación en el día y aproximarla mediante una ecuación en función a datos muy generales. La expresión obtenida permitirá definir cómo cambiar la iluminación artificialmente y hasta que punto se pueden variar rangos de tiempo como de energía empleada.

En la segunda etapa se desarrollará un programa de almacenamiento y se probará repetidamente hasta obtener un patrón para la iluminación.

Comportamiento de la iluminación en un día natural

Medida en lux en función a los segundos, siendo la amplitud máxima 700 lux, y desde las 0:00 horas hasta las 24 horas (86400 seg.); según la ecuación (1) y mostrada en la Fig. 2.

$$I(t) = 100 + \frac{700}{1 + \frac{7}{5 \times 21600^6} \times (t - 43200)^6} \quad (1)$$

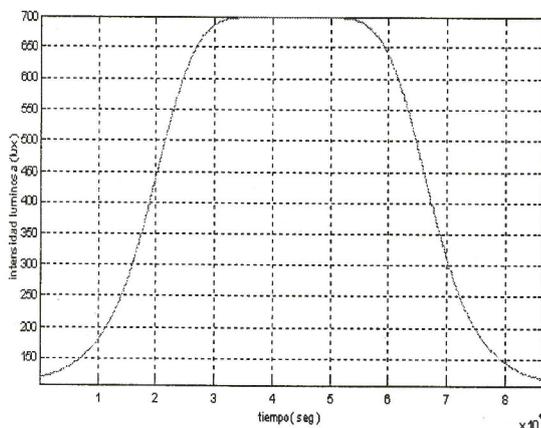


Fig. 2 Grafica aproximada del ciclo día-noche.

Ahora, si deseamos insertar “un día” más, dentro de un día natural, podemos hacerlo en las zonas oscuras (zonas bajas de la curva). Es bastante probable, según estudios biológicos, que muchas especies no soporten esta alteración del biorritmo o ciclo circadiano.

Toma de muestras a través de los sensores de Iluminación dentro del invernadero

Después de varias pruebas erróneas e inconvenientes eléctricos para grabar los valores de iluminación en la memoria, se logró realizar 5 mediciones dentro del invernadero, en diferentes horarios, los cuales empezaban en la mañana, en la tarde o en la noche, la Fig. 3 es representativa de los valores de iluminación en función del tiempo aproximado.

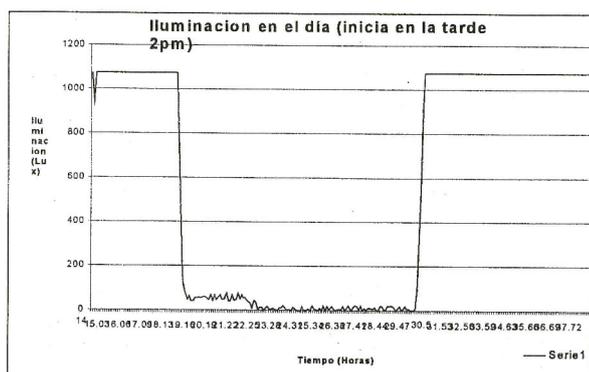


Fig. 3 Iluminación dentro del invernadero con un error máximo de 2,2% (iniciando la tarde).

La Fig. 3 se obtuvo mediante una corrección lineal, debido a que los sensores de iluminación no son lineales. Estas curvas son más pronunciadas que la supuesta en la ecuación (1), además se nota que el sensor no cubre el rango de valores de iluminación en un día.

La transición de iluminado a oscuro es de aproximadamente 30 minutos, lo que representaría una onda de forma trapezoidal. Los intervalos de luz y oscuridad son más o menos proporcionales y esto nos ayudara a temporizar el riego.

SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL DE RIEGO Y DEL PH

El ahorro del agua, así como también el cuidado en el balance adecuado de los nutrientes que se le deben proporcionar a los cultivos, es indispensable para lograr el máximo provecho de las plantas en un menor tiempo posible.

Sistema de control de riego por goteo

Es el encargado de transportar a los cultivos los nutrientes necesarios de forma eficiente y localizada [8] para lograr así el máximo provecho de éstos. Este sistema observa el momento preciso en el cual los cultivos requieren de una dosificación de nutrientes evitando de ésta forma. Por consideraciones de experimentación (y por tipo de cultivo) se considero dividir en dos subsistemas independientes

Control de riego por iluminación

El control de riego por iluminación, es utilizado para los niveles superiores de las camas de cultivo, las redes de agua, están diseñadas para retornar al tanque todo exceso de líquido de riego, motivo por el cual, se hace innecesario el control de la humedad.

En éste se ha considerado la activación del riego por goteo mediante la lectura de los sensores de iluminación, éste tipo de riego se activará 2 veces al día, aprovechando las características de la iluminación solar para sincronizar la regularidad del riego automático.

El riego se realiza a través de una bomba de agua sumergible y que se encuentra dentro del tanque y que se activa durante una hora.

Control de riego por humedad

Fue empleado para regar los niveles inferiores de las camas de cultivo y está diseñado para que mantenga la humedad del sustrato dentro de un rango programado [7]. Hay que tener presente que en los niveles inferiores de la cama de cultivo no existe un desfogue para el exceso de líquido, motivo por el cual, se debe tener mayor precisión en el control del riego. Se activará una bomba hasta proporcionar humedad adecuada. Se debe tener presente que se suministra solamente agua y que está almacenada en un tanque diferente al del sistema de riego por iluminación.

Sistema de control del PH

El sistema de control del PH, es el encargado de regular los nutrientes. El control del PH se realiza dentro del tanque para el riego por iluminación. El algoritmo elaborado para éste caso se encuentra en todo momento realizando la lectura del sensor de PH, manteniendo el grado del PH dentro de un rango aceptable para los cultivos (5.8 y 7.5), si el sensor diera una lectura fuera del rango, el algoritmo tomará la decisión de agregar agua o añadir una solución ácida mediante una bomba sumergible de 30 vatios.

Descripción de los sensores

Sensores de humedad.- Los sensores Resistivos [7], trabajan con una pequeña corriente alterna con acoplamiento capacitivo para luego rectificar y medir el nivel continuo por división de voltajes. La relación con la humedad se aproxima a una recta. Los sensores Capacitivos varían su capacitancia en función del medio al cual esté expuesto (dieléctrico), ésta característica puede ser aprovechada para obtener capacidades variables en función de la humedad en la tierra con la cual estará en contacto; ésta es otra forma indirecta de medición de humedad [13].

Sensor de PH.- Se ha conseguido un sensor de la marca OAKTON con cable BNC. Se debe tener en cuenta el ajuste dependiente de temperatura.

Dispositivos de potencia

Para realizar las tareas de riego de las camas de cultivo, es necesario el uso de dispositivos de potencia o también llamados actuadores y son dos:

- Válvulas solenoides y
- Bombas de agua.

Circuitos electrónicos

Los circuitos electrónicos que realizan la función del control de los parámetros están basados en el funcionamiento de tres etapas primordiales:

- Etapa de interfase para el microcontrolador
- Interfase de adaptación de los sensores
- Activación de los dispositivos de potencia. Ver Fig. 4.



Fig. 4 Fotografía de la caja metálica con Interfases para el microcontrolador, sensores, y periféricos.

Algoritmos de control

Se han desarrollado secuencias lógicas enlazadas a través de un lenguaje de programación llamado ensamblador, que nos permite, a través de un microcontrolador, realizar las rutinas de control de nuestro sistema.

Se han realizado tres algoritmos de control configurables por teclado y solo mostraremos el diagrama del más representativo, en la Fig. 5. Los algoritmos desarrollados son:

- Algoritmo para el control de riego por iluminación
- Algoritmo para el control de riego por humedad
- Algoritmo para el control del PH

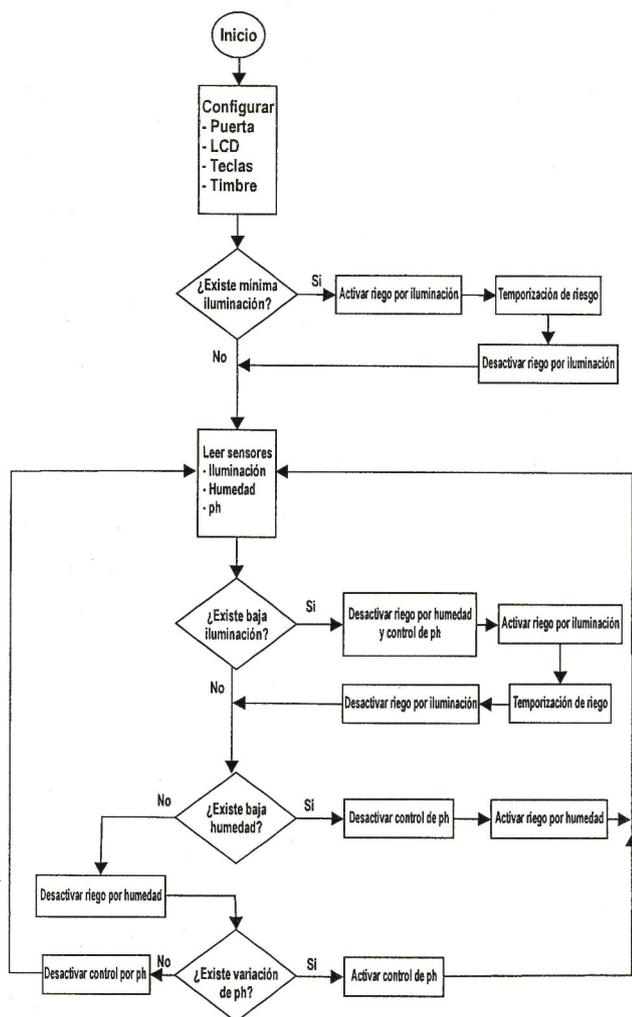


Fig. 5 Diagrama de flujo del programa de control.

RED INTER DISPOSITIVOS SOBRE UN BUS DE CAMPO

Elección el tipo de red entre los equipos

El control de parámetros en el invernadero podemos agruparlos en tres bloques:

Control de temperatura, humedad e iluminación;
Control de riego por goteo humedad y PH;
Estación Meteorológica.

Por lo tanto, son tres equipos que necesitan ser interconectados para compartir información y optimizar sus operaciones. Además, necesitamos enviar toda esta información a un computador personal para almacenarla en una estructura de datos. Como puede llegar a varios cientos de metros el tendido de cables, en las zonas rurales, la

mejor alternativa es la configuración de BUS que usa el protocolo físico (conexiones y niveles eléctricos) RS485 [1], con el cual podemos conectar hasta 32 equipos a distancias de 1200 metros e incluso 2000 metros.

Interfase electrónica

La red eléctrica de comunicación de datos sobre RS485, trabaja en modo Half Duplex, es decir; todos los dispositivos conectados a este bus lo hacen por medio de dos cables y con voltajes diferenciales entre estos dos cables, por lo tanto, se entiende que solo uno de ellos puede transmitir de modo asíncrono y el resto debe escuchar. Se estableció un protocolo de comunicación o dialogo llamado "Testigo de Bus", o también conocido como "Token Bus". Se diseñó un circuito que permite mantener en el estado de recepción por defecto, al circuito de comunicaciones y, además cuando detecte el envío de un dato automáticamente, conmute al modo de transmisión. Para esto, se usó un circuito mono estable no re-disparado, para asegurar que el modo de transmisión estará activo mientras dure un byte, incluyendo los bits de control. Se puede seleccionar solo dos velocidades: 4800 BPS por defecto y 19200 BPS.

Conversión de protocolos

Para proponer este circuito nos basamos en la necesidad de conectar equipos de comunicaciones como Modems, Computadores personales o microcontroladores que disponen de módulos de comunicaciones compatibles con RS232 y la necesidad de alcanzar grandes distancias. El mismo circuito electrónico, con varias conexiones, nos permitirá conectar un microcontrolador directamente a un puerto de comunicaciones serial, en resumen, puede configurarse en uno de tres modos: Modo RS232 a RS485, Modo TTL a RS485, Modo RS232 a RS232 (regenerador).

Subrutinas para el diálogo entre los equipos de control y monitoreo

La subrutina, en lenguaje ensamblador, de comunicación serie a través del bus RS485, debe tener la estructura lógica del testigo de Bus. Pero se ha planteado con base en los lineamientos generales de este protocolo, la estructura que se muestra en la Fig. 6. Esta secuencia de

programación, es producto de la simplificación del protocolo Testigo de Bus por cuestiones de tiempo y facilidad de integración a los diferentes programas, o códigos fuente de control y monitoreo.

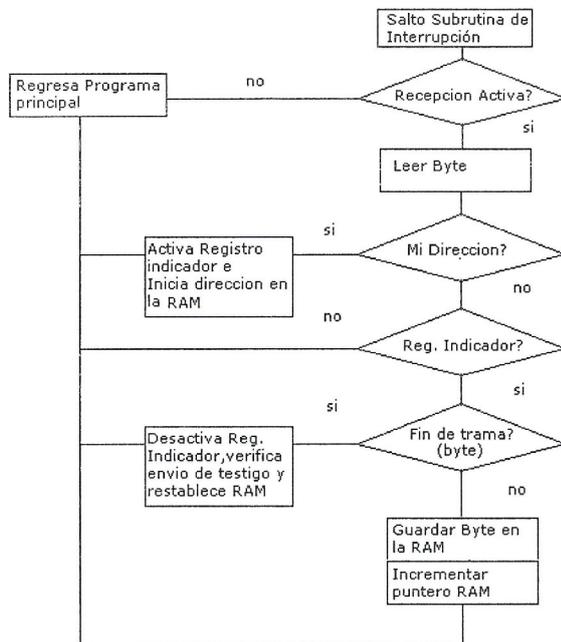


Fig. 6 Diagrama de Flujo de la subrutina de recepción por interrupción para cada byte recibido a través del bus de datos.

Dirección de Destino
Dirección de Origen
Testigo Libre u Ocupado
Datos.....
.....
Carácter de fin de trama

Fig. 7 Campos con los que cuenta una trama de datos.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Actualmente en el mercado existen múltiples sistemas desarrollados y destinadas al monitoreo climatológico, el objetivo del presente proyecto, es desarrollar un sistema remoto alternativo de bajo costo. Vamos a considerar una clasificación con respecto a nuestras necesidades. Nuestra estación cuenta con ocho sensores [4]:

- Sensor de Temperatura del aire (Termómetro)
- Sensor de Temperatura del suelo
- Sensor de Temperatura del sub-suelo

- Sensor de Humedad Relativa (Higrómetro)
- Sensor de Iluminación
- Sensor de Velocidad de viento (Anemómetro)
- Sensor de la Dirección del viento (Veleta)
- Sensor de nivel de lluvia (Pluviómetro)

Componentes de la Estación Meteorológica

Como ya mencionamos, la parte importante de una estación es la de los sensores. Pero hoy en día si el monitoreo y almacenamiento no es de manera automática, la información pierde su valor por que no es oportuna y aumenta el trabajo de recolección e interpretación. Los componentes de nuestra estación son [3, 5, 6]:

- Tarjeta de interfaz de sensores
- Tarjeta de interfaz con el microcontrolador
- Tarjeta de fuentes de alimentación
- Tarjeta de comunicación RS485
- Periféricos
- Torre de metálica
- Cajas de protección.
- Sub rutinas para el microcontrolador

Tarjeta de interfaz de sensores

Se ha diseñado y construido dos tarjetas, donde están los circuitos de interfase de los sensores, de acuerdo a su ubicación.

Sensores de temperatura.- Es un solo circuito de interfaz para el sensor y este se replicó tres veces para usarlos como termómetros de: Temperatura de Aire (0 a 60 °C), Temperatura del Suelo (Superficie, 0 a 60 °C), Temperatura de Sub Suelo (a 30 cm de la superficie, 0 a 60 °C). La medición del suelo y subsuelo son importantes también en el caso de la agricultura. El diodo zener LM335, es un sensor de temperatura preciso aunque no cuente con buena resolución y velocidad (según su hoja técnica), pero es fácil su adaptación y sobre todo es lineal.

Sensor de humedad relativa.- Físicamente el sensor es un encapsulado plástico, rematado en ambas caras por una serie de agujeros que lo comunican con el medio exterior. La membrana y las dos capas de oro constituyen en esencia el dieléctrico y las armaduras de un condensador plano. La razón de que el sensor se comporte de ésta manera es la permeabilidad de la humedad que ofrece las finas

capas de oro. El rango de humedad relativa es de 30 a 99%

Sensor de iluminación.- El sensor de iluminación es un LDR (Resistor detector de Luz). La relación entre el valor de iluminación (LUX) y la resistividad (ohmios) esta expresada de manera exponencial. Según las tablas, para este tipo de componentes, no podremos captar grandes valores de iluminación pero sí los niveles medios y bajos.

Para su mejor desempeño se ha calculado un valor de 470K que es un valor de aproximadamente 60 lux que la interfaz podrá detectar, llegando hasta valores de intensidad máxima de 2199 lux.

Sensor de velocidad de viento.- Las mediciones de las velocidades de viento se realizan normalmente usando un anemómetro de cazoletas. El anemómetro de cazoletas tiene un eje vertical y tres cúpulas esféricas que capturan el viento [5], siendo el número de revoluciones por segundo registradas electrónicamente de 0 a 60 m/s.

Sensor de dirección de viento.- La dirección del viento esta definida como la orientación del vector del viento en la horizontal. Se mide en grados de acuerdo a la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero. El instrumento que se va a utilizar para medir la dirección del viento es la paleta de viento [4]. El material es de plástico. La orientación va de 0 a 179° y 180 a 359° lineal por tramos.

Sensor de precipitación.- La interfaz de un sensor de presión diferencial de Motorola MPX2100DP usado para determinar la altura de las precipitaciones (en milímetros) del ambiente, mediante una adaptación de un cilindro de plástico con escala de capacidad (en litros), que almacena el agua de lluvia y está entre 10mm a 180 mm.

Periféricos

El Teclado matricial de 4x4, Pantalla LCD, la bocina de 12 voltios, que genera sonido cada vez que se pulsa una tecla, indica que la operación se ha realizado bien.

El sonido también podrá significar inicio de un proceso o fin, además de indicar errores.

Torre de Metálica

Debemos decir en general, que la construcción de una estación meteorológica, no es un trabajo sencillo, y tampoco su ubicación, debido a que la ubicación determina en muchos casos el tipo de sensor y viceversa, además del costo.

Ubicación

En esta sección explicaremos brevemente y dejaremos que las fotografías expresen la ubicación de los componentes. El primer bloque esta compuesto por seis sensores: 03 Sensores de Temperatura, 01 Sensor de Humedad Relativa, 01 Sensor de iluminación, 01 Sensor de presión para precipitación. Aquí los circuitos electrónicos están dentro de una caja metálica junto con la interfaz del microcontrolador, fuente de alimentación e interfaz de comunicación RS485. Los sensores en una caja de plástico con rendijas, a la intemperie. El Segundo Bloque consta de circuitos electrónicos y sensores para medir dirección y orientación de viento. Los circuitos van dentro de una caja de plástico y transductores ópticos junto con los mecánicos (veleta y eje con copones) fuera. Este circuito se alimenta desde el primer bloque a unos 20 metros de distancia. Ver Fig. 8.

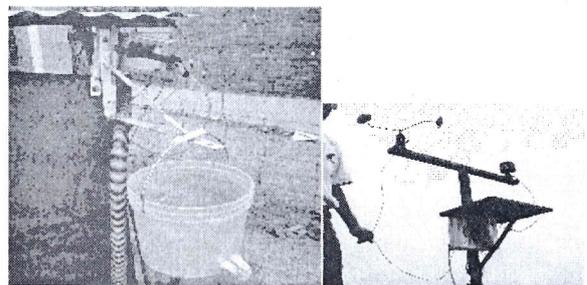


Fig. 8 Fotografía con sensores y su disposición.

Sub rutinas para el microcontrolador

El funcionamiento de cada función de conversión es de la siguiente manera: Primero, se limpian todos los registros a usarse en la operación de conversión, y luego dependiendo al sensor que corresponda se almacenan los valores de sus respectivas constantes que cumplan la ecuación de conversión de la ecuación (2).

$$f = \frac{a}{b} D - c \quad (2)$$

Donde a y b son factores de conversión y c, mueve la escala para arriba o abajo, pero no se opera con valores negativos.

INSTALACIONES

Construcción realizada

El pozo rectangular, fue cavado en tierra de 2 m de largo para producir humus. Los pozos cilíndricos, para los tanques de agua son dos.

Loza en la entrada al invernadero. Lozas para los Gabinetes. Se realizaron las Instalaciones siguientes:

- Tuberías subterráneas para cables de energía y datos.
- Tuberías aéreas para cables de energía y datos.
- Equipos de alimentación autónoma.
- Dos cajas metálicas (gabinete) para protección de los equipos. Ver Fig. 9.



Fig. 9 Gabinete mayor y menor con equipos eléctricos.

Las partes de las que esta compuesto el sistema de energía de respaldo, son el panel solar, la batería (o baterías), el cargador y el UPS (unidad de respaldo de energía). Ver Fig. 10.

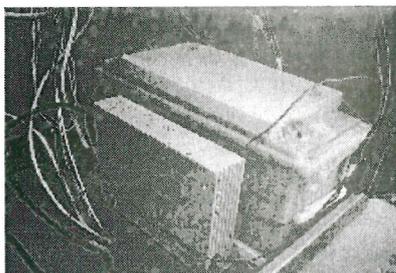


Fig. 10 Fotografía del UPS y la batería solar para la estación meteorológica.

DISEÑO Y GESTIÓN DE DATOS

El análisis previo de los requerimientos del proyecto nos llevo a la creación de una base de datos en un servidor proveedor que recolecta la información en tablas, campos, registros, relaciones y claves de acceso de las variables y los usuarios.

Interfaz de usuario con DELPHI

DELPHI separa en dos grupos los componentes de bases de datos: Los componentes de acceso a datos (que se encuentran en la pestaña Data Access) y los componentes visuales que muestran datos [15], (en la pestaña Data Controls).

El motor de base de datos BDE (Borland Database Engine)

En el manejo de las bases de datos en DELPHI, gran parte de responsabilidad es del Motor de Base de Datos de Borland (BDE). Lo que se consigue con esto es la independencia casi absoluta del código fuente con el tipo de base de datos que se use. Así, da igual que el programa se gestione en una base de datos en formato Dbase, o que sea Paradox.

Desarrollo de la base de datos "Invernadero"

En el desarrollo de la base de datos denominada "Invernadero", se utilizó el gestor de bases MYSQL.

Registro de la base de datos "invernadero" en el BDE

Luego de haber implementado la base de datos en MYSQL, se accede a ella a través de la interfaz de usuario. Nuestra misión fue registrar nuestra base de datos "Invernadero" en el BDE, para esto hemos usado el driver ODBC que nos permitió registrar la base de datos. La configuración del ODBC en 2000/XP, está en las herramientas administrativas como "Orígenes de datos (ODBC)".

Navegación en la interfaz de usuario

Para facilitar la navegación en la interfaz de usuario, se agregó varias herramientas que permitirán al usuario lograr sus objetivos con

mucha facilidad, y a la vez familiarizarse con el programa. Como se muestra en la Fig. 11.

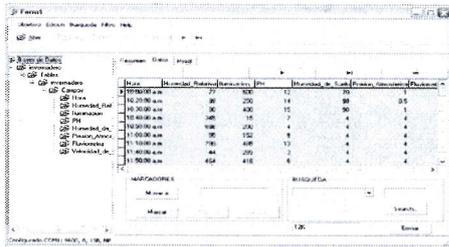


Fig. 11 Interfaz del programa explorador de datos en MySQL.

Transmisión de datos utilizando el puerto serie

La transmisión por el puerto serie es una opción barata y simple para la comunicación entre un computador y multitud de periféricos, como pueden ser equipos diversos como sensores, autómatas programables, dispositivos de medida, actuadores, etc.

Transmisión asíncrona

Las ventajas principales del método asíncrono consisten en que los diferentes caracteres pueden transmitirse a un ritmo variable, existen multitud de circuitos integrados (UART's) que simplifican notablemente la transmisión, por su sencillez, es un método estándar muy extendido.

Programa para la comunicación por el puerto serie

En la realización del programa se utilizó funciones del API WIN 32, puesto que estas garantizan la portabilidad de los programas que desarrollemos. Al trabajar con el puerto serie se distinguen 4 etapas.

1. Operación de Apertura.
2. Configuración
3. Acceso al puerto para leer o escribir:
4. Cierre del puerto para que otros programas puedan hacer uso de él.

Sistema de audio y alarmas en la interfaz de usuario

En la recepción de la trama de datos se ha tomado en cuenta parámetros que nos indican errores en el

proceso de transmisión, estos posibles errores son monitoreados desde la interfaz de usuario.

CONCLUSIONES

Se debe replantear la disposición del sistema de enfriamiento para este clima y por la inclusión de arena como sustrato, a fin de lograr eficiencia durante las horas de mayor temperatura. Esta situación implicaba un daño al sistema radical principalmente y deshidratación de la parte aérea de las plantas.

Se deberá agregar una abertura en la parte superior del invernadero cubierta con malla, para evitar el ingreso de plagas, pues, es hacia donde el aire caliente fluye por su menor densidad.

La Iluminación en el invernadero varía drásticamente en media hora, de tal manera que alcanzar la misma variación de rango, para introducir un día artificial, requiere mucha energía.

El control del riego por goteo, temporizado con los cambios de la iluminación del día resultó, eficiente.

La modificación y aplicación del primer prototipo modular, para los equipos del control de riego y estación meteorológica, resulta adaptable y de mínima complejidad.

Para lograr mínima complejidad y transmisión asíncrona con la tarjeta de conversión RS232 a RS485 para cualquier dispositivo con la interfase serial, fue necesario seleccionar solo dos velocidades de transmisión.

Si en una red de datos sobre Bus RS485, no se tiene cuidado con la adaptación de impedancias o un protocolo de dialogo cuidadoso, la red se carga u oscila.

En la implementación de la estación meteorológica, el componente que requiere más dedicación es el anemómetro, debido a la precisión para la construcción del soporte de metal y libre movimiento de los rodamientos.

El proceso de conversión a escala mediante subrutinas de cálculo introduce necesariamente un determinado error.

Las instalaciones eléctricas mecánicas e hidráulicas requieren bastante tiempo, criterio y herramientas para su realización

El uso de un lenguaje de programación visual con módulos profesionales, como el manejo de base de datos y de comunicaciones, simplifica y ordena tremendamente el proceso de almacenamiento y clasificación de datos.

El trabajo de programación, tanto para los microcontroladores como para un computador personal, requiere una dedicación de horas continuas, de otro modo el avance es redundante en la mayoría de los casos.

Todos los esquemas anteriormente mostrados son reproducibles en un 90%. El 10% restante no es reproducible por obsolescencia o falta de precisión.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Electricidad y Electrónica FIEE de la Universidad Nacional de Ingeniería por haber financiado este proyecto.

REFERENCIAS

1. **ANALOG DEVICE**, +5v Low Power EIA RS485 TRANCEIVER ADM 485, ADM485. pdf. www. Analog.com
2. **REVISIONES**, “Ritmos Circadianos de las Plantas”, Carretera de la Coruña km7, 28040 Madrid, España, 2000.
3. **Centro de Investigación y Desarrollo, Informe Final** “Sistema de Monitoreo y Supervisión Remota de Variables Climatológicas vía Internet”, FIEE-UNI, Lima, Perú, 2002.
4. **Del Carpio Salinas, J. A., Santa Cruz Rea, C. A.**, “Diseño de Sensores Meteorológicos”, Instituto de investigación – FIEE – UNI. Lima, Perú, 2003.
5. **Del Carpio Salinas, J. A., Martínez Chunga, R.**, “Sistema de monitoreo y Supervisión Remota de Variables Climatológicas Vía Internet”, Instituto de investigación – FIEE – UNI, Lima, Perú, 2003.
6. **Trueba, I.**, “Proyecto de una Estación de Desarrollo Completo Meteorológica Modular en España, en Internet, con dirección: <http://www.ivantrueba.com/proyectos/estacion/estacion.pdf>
7. **Irrrometer Company Inc.**, Sensor Watermark®, <http://www.irrometer.com>
8. **Razuri R., L.**, Diseño de Riego por Goteo”, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2000.
9. **Patiño Gardella, J. E.**, “Evaluación Hidráulica del Sistema de Riego por Goteo del Campo Chacarilla, UNALM, año 2000.
10. **Resh, H. M.**, “Cultivos Hidropónicos”. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1992.
11. **Mushworld.** <http://www.mushworld.com> (09 Jul. 2003).
12. **Resh, H. M.**, “Cultivos Hidropónicos”, Nuevas técnicas de producción. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, 1982.
13. **Sensores de Humedad para Suelos y Sustratos.** www.drcalderonlabs.com
14. **INIA. Ministerio de Agricultura**, “Manual de Implementos de un Sistema de Riego”, Lima, Perú, 2002.
15. **Cárdenas Luque, L.**, Base de Datos con Delphi, <http://rinconprog.metropoliglobal.com>

Correspondencia: jdeldcarpio@uni.edu.pe

Recepción de originales: Octubre 2005

Aceptación de originales: Diciembre 2005

