

Tema 9 - Nuevas Tecnologías

DESARROLLO DE HARDWARE PARA UN CONTROL CLIMÁTICO AUTOMÁTICO, DE BAJO COSTO, DE UN INVERNÁCULO EN LA FICES UNSL

J. Carletto, V. Rodrigo

Laboratorio de Energías Alternativas – Universidad Nacional de San Luis -
Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales
Avda. 25 de Mayo 384 - 7530 Villa Mercedes - San Luis - Argentina
Tel - Fax: 054 2657 434545 Int. 127 - e-mail: jcarlet@fices.unsl.edu.ar

RESUMEN: Se presenta en este trabajo, el desarrollo de hardware de la construcción de un prototipo de control climático totalmente automático y teleoperado de bajo costo para un invernáculo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales de la Universidad Nacional de San Luis, se presentan los diagramas en bloque, circuitos electrónicos y esquemas de funcionamiento. Se presentan los principales problemas encontrados en la construcción, se entiende que el prototipo logrado cumple con todos los objetivos planteados, logrando un equipo de control climático de muy bajo costo y de altas prestaciones.

Palabras Claves: hardware de control climático, microcontrolador, control automático

INTRODUCCIÓN

Este desarrollo de hardware, se llevó a cabo para la presentación de trabajo final de la carrera Ing. Electricista-Electrónica en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico sociales perteneciente a la Universidad Nacional de San Luis. Se plantea como tema de trabajo final la realización de un prototipo de control climático automático y teleoperado para un invernáculo, el cual debía cumplir como requisito primordial el de ser de bajo costo, y el de utilizar los elementos existentes en el invernáculo.

Existe una extrema necesidad de que el invernáculo posea un control climático automático, y se identifica que para lograr un costo reducido bastaría simplemente con controlar los 3 parámetros identificados como principales o más importantes temperatura, riego e iluminación. (Carletto y Rodrigo, 2007)

El empleo de microprocesadores o microcontroladores como en este caso y el uso de computadoras personales, permite un control continuo y cuidadoso de los distintos parámetros. (Carletto y Parladorio 2004) En este trabajo, se muestra el montaje de hardware diseñado para llevar a cabo las estrategias de control pensadas para el mismo.

El desarrollo electrónico está compuesto por varios bloques que interactúan entre sí para formar el hardware completo que sustenta al control en software. El siguiente diagrama muestra la estructura del hardware con el flujo de energía y datos:

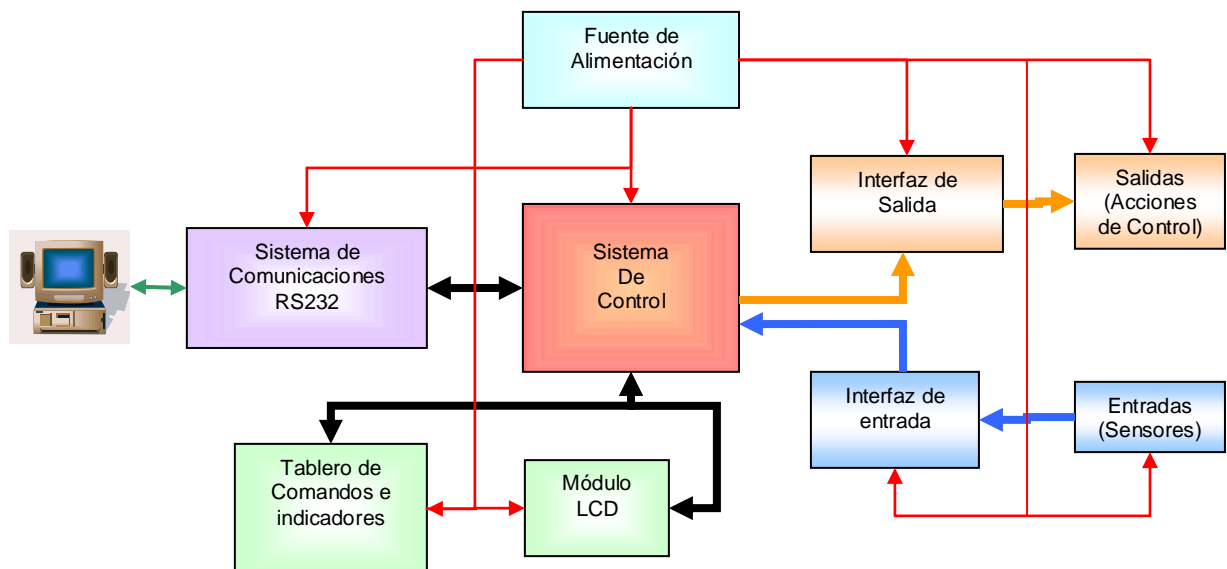


Figura 1: Diagrama de bloques del control completo

Como se observa, el hardware completo está formado por:

- El *Sistema de Control*: contiene un microcontrolador PIC 16F874 y es el cerebro del sistema.
- El *Sistema de Comunicaciones RS232*: el cual se comunica con la PC y permite realizar la teleoperación.
- La *Interfaz de Entrada*: es la encargada de realizar la adaptación de las señales de entradas provenientes de los sensores.
- La *Interfaz de Salida*: es la que maneja los TRIACs que generan las salidas de potencia.
- El *Tablero de Comandos y Módulo LCD*: brindan la interfase con el usuario, permitiéndole conocer el estado del control a cada instante.
- La *fuentes de alimentación* que abastece a todo el circuito de 5v y 12v.

El control, está formado por 5 placas de circuito impreso donde se montan los componentes, un disipador con ventilación forzada el cual alberga los 10 TRIACs de salida, las borneras de entrada y salida, y el tablero de control donde se encuentra alojado el Módulo LCD. A continuación se explicarán cada una de las etapas.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Esta fuente de alimentación, entrega dos niveles de tensión, 5 y 12 voltios de corriente continua, regulados y estabilizados. Los 5 voltios alimentan principalmente al microcontrolador, a la MAX232 utilizada para regular los niveles de transmisión y al módulo LCD. En cuanto los 12 voltios son los utilizados en la interfaz de entrada, en la alimentación de los amplificadores operacionales y para el Cooler que refrigera los TRIACs. La fuente cuenta también con un circuito de protección por corte de energía. En estos momentos se está trabajando para una adaptación para energías alternativas en cuyo caso esta etapa de la fuente será eliminada.

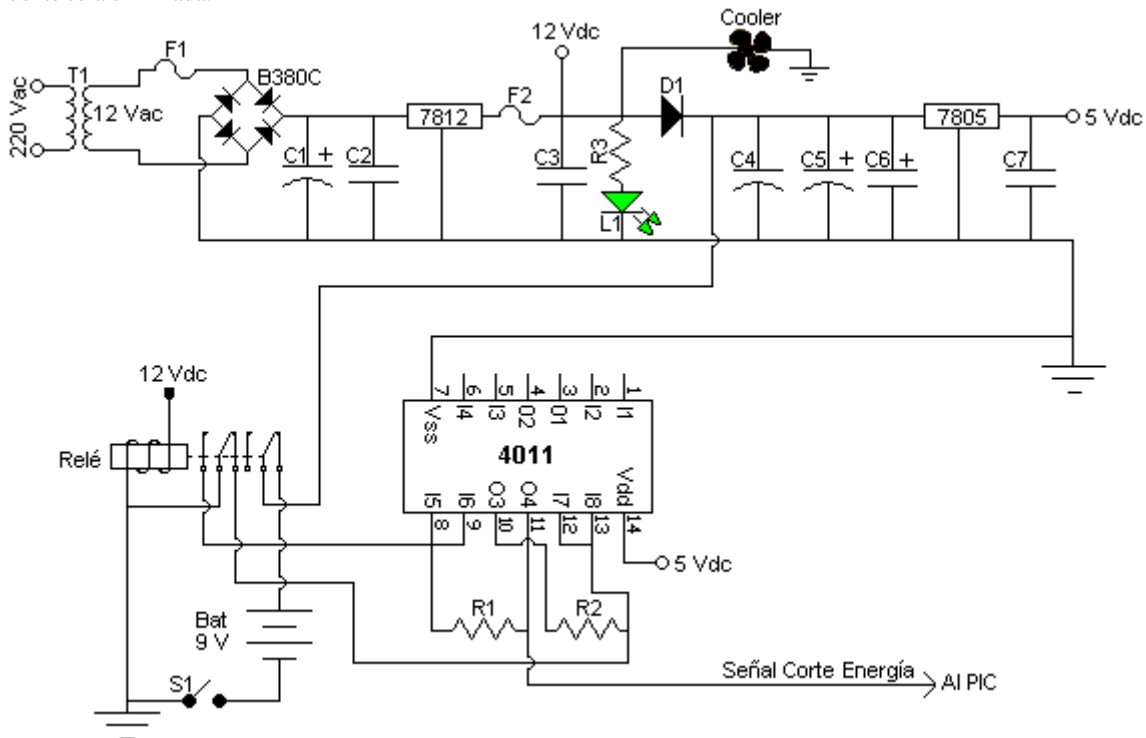


Figura N° 2: Diagrama electrónico de la fuente de alimentación

Como se observa, la fuente está formada por un transformador reductor de 220 Vac a 12 Vac, un puente rectificador, dos fusibles de protección, los dos reguladores de tensión con sus correspondientes capacitores de filtro y un sistema para el corte de energía. El Led L1 se ha incluido en el diseño de la fuente para indicar que el sistema está energizado.

En caso de un corte de energía el relé, conecta una batería de 9 voltios a la parte de 5 voltios del circuito, y por medio de un antirrebote formado con una 4011, le comunica al Microcontrolador de este estado. Los dos Capacitores C4 y C5 almacenan suficiente carga como para que la batería entre en funcionamiento antes de que el microcontrolador se quede sin Energía. El diodo D1 que se observa en la figura, evita que la batería alimente también el circuito de 12 voltios, con esto se evita la pérdida de datos en el microcontrolador, el cual entrará en normal funcionamiento una vez restaurada la energía externa. Actualmente se está trabajando para eliminar esta fuente para alimentar todo el circuito, directamente con energías alternativas.

SISTEMA DE CONTROL

Diseño del circuito principal de control

El sistema de control está formado por el microcontrolador PIC 16F874, en el cual se almacena los algoritmos que realizan los cálculos y comparaciones para ejecutar el control propiamente dicho. Este microcontrolador interactúa con la PC a través

de la norma RS-232 , con el Módulo LCD para visualizar los distintos estados del invernáculo, con la interfaz de entrada y la de salida. Se muestra a continuación el diagrama topológico del microcontrolador:

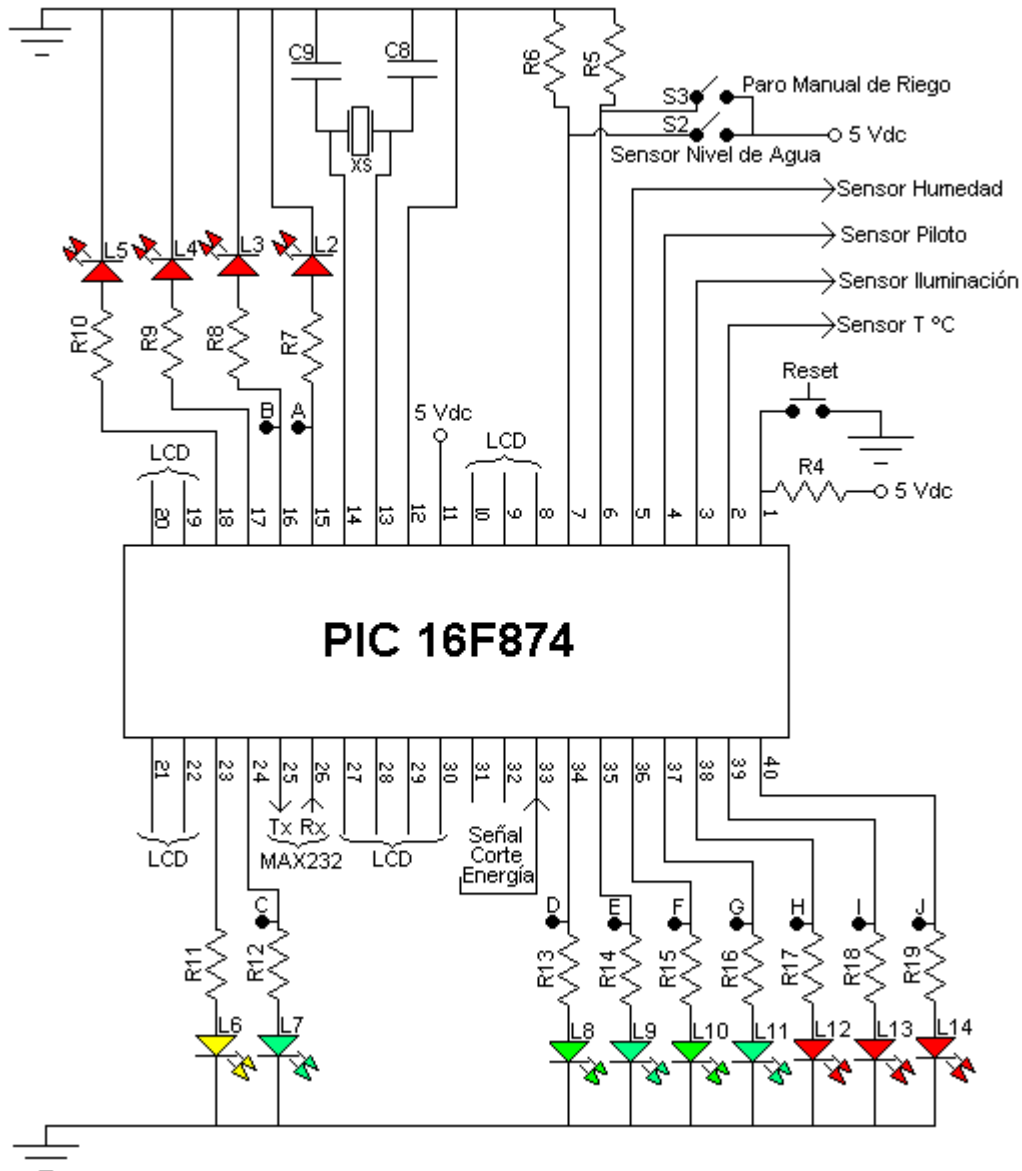


Figura N° 3: Circuito principal de control.

Como se observa, los 7 primeros terminales, junto con el terminal 33, son los destinados a las entradas. Los terminales 11 y 12 son los que brindan la alimentación eléctrica. El microcontrolador opera con un cristal de cuarzo XS, de 20 MHz, conectado entre sus terminales 13 y 14. Los terminales 25 y 26 son los encargados de la conexión con la PC, y el resto de los terminales son las salidas, a potencia e indicadores, y la conexión con el módulo LCD.

Todas las salidas están identificadas con A, B, C... I, J, y a su vez tienen los indicadores luminosos en el Panel de Monitoreo (Leds). La siguiente tabla identifica cada una de las referencias:

Referencias	Descripción
A	Alarma Sist. Calefacción Apagado
B	Alarma Sist. Riego Detenido
C	Sistema Calefacción
D	Sist. Iluminación Banco 1
E	Sist. Iluminación Banco 2
F	Sistema Riego
G	Sistema de Aire Acondicionado.
H	Alarma de Temp. Máxima.
I	Alarma de Temperatura Mínima.

Tabla N° 1: Identificación de las salidas del microcontrolador.

Conexión con la PC

La conexión con la PC, se realiza para configurar el control y monitorear el mismo desde la PC en forma remota. Para lograrlo, se utiliza la norma de comunicaciones RS-232 a través de un puerto serie de la PC como COM1, COM2, COM3, o COM4, el cual se elige mediante el software. Esta comunicación se realiza en forma serie asincrónica, a una velocidad de 9600 baudios.

La norma de comunicaciones RS232, es una de las normas mas populares y antiguas, que existe desde la década del 60', para las conexiones series. Una desventaja de esta norma, es que fija los valores de tensión para un uno lógico desde -3.0 voltios hasta -15.0 voltios, y desde +3.0 hasta +15.0 voltios para un cero lógico, por lo que no son compatibles con TTL. (Carletto y Parladorio 2004)

Debido a esta incompatibilidad entre la norma RS 232 y la tecnología TTL, es necesario convertir los niveles lógicos proporcionados por las líneas del microcontrolador con los exigidos por la norma RS-232. Esta conversión se realiza con un circuito integrado MAX232, cuyo diagrama topológico, se muestra a continuación.

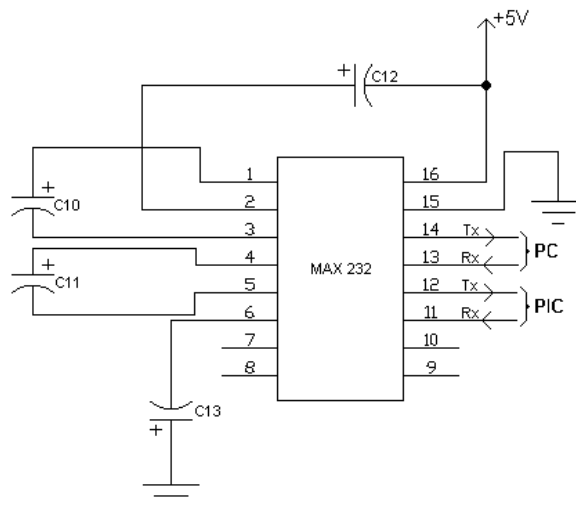


Figura N°4: Interfaz de conexión con la PC

Este circuito integrado, dispone de dos canales de entrada par niveles TTL, y dos canales de entrada para niveles RS-232 cada uno con sus correspondientes salidas. En este caso se hace uso solamente de un canal de entrada y uno de salida para cada nivel de tensión conectándose hacia el PIC y hacia la PC respectivamente.

Una línea de salida del PIC, aplica la información a transmitir (TTL) por la patita 11 de la MAX232; dicha información sale por la patita 14 pero convertida a niveles RS-232. Para el caso de la recepción de datos en el PIC, la conversión se hace inversamente.

La comunicación con la PC, se realiza por medio de un cable de tres hilos, (Tx, Rx y masa) tipo telefónico, mayado para evitar interferencias, que posee en el extremo de la PC un conector de 9 pines (DB9) hembra, y en el otro extremo, un conector RJ45 que se conecta al conector de la bornera de conexiones de entradas.

INTERFAZ DE ENTRADA – SENSORES

El sensor de temperatura utilizado es un sensor de estado sólido LM35, que posee una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a +150°C como amplitud máxima.

Teniendo en cuenta que el rango de temperaturas deseadas dentro del invernáculo, oscila entre 0° y 45°, el diseño se basó en un circuito propuesto en la hoja de datos del sensor. Nombrado como circuito sensor de temperatura remoto de dos cables con la salida referenciada a masa.

La tensión de salida que entrega el circuito sensor viene dada por:

$$V_{sal} = \left(10 \frac{mV}{^{\circ}C}\right) \times (T_{ambiente} + 10^{\circ}C)$$

Es decir trae un offset de 10 °C o 100 mV para cualquier temperatura medida. Esta tensión es necesario amplificarla convenientemente para condicionarla a un rango de tensión apropiado para módulo A/D interno del Microcontrolador (entre 0 y 5 voltios), por ello se hace necesaria una etapa intermedia de amplificación.

El circuito completo incluido el amplificador se muestra en el siguiente diagrama topológico:

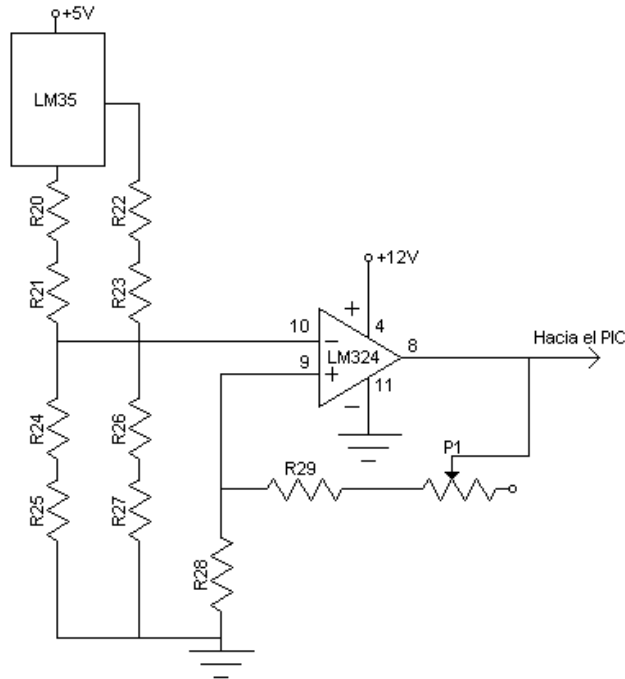


Figura N° 5: Circuito sensor de temperatura.

El circuito de amplificación implementado resulta ser un amplificador no inversor sencillo, realizado mediante un amplificador operacional LM324, que incluye 4 amplificadores en el chip compartiendo una misma alimentación. El amplificador se alimenta con una tensión de 12 V. No se lo alimenta con 5 V, debido a que el amplificador necesita estar alimentado por una fuente de tensión de al menos 1V superior a la tensión máxima de salida que se pretende del mismo, que es precisamente 5V.

Calibración del Sensor de Temperatura.

Para realizar la calibración del sensor de temperatura, se realizó una experiencia midiendo con el mismo la temperatura de un ambiente cerrado pequeño, la cual se comparó muestra a muestra con un termómetro digital de alta precisión marca Testo considerado como patrón. Considerando, que las temperaturas normales del invernáculo nunca serán inferior a 0° ni superior a 45°, se hizo variar la temperatura del ambiente de ensayo desde -3°C a 50°C, tomándose muestras cada 0.5° del termómetro patrón. La figura 6 muestra los resultados de este ensayo.

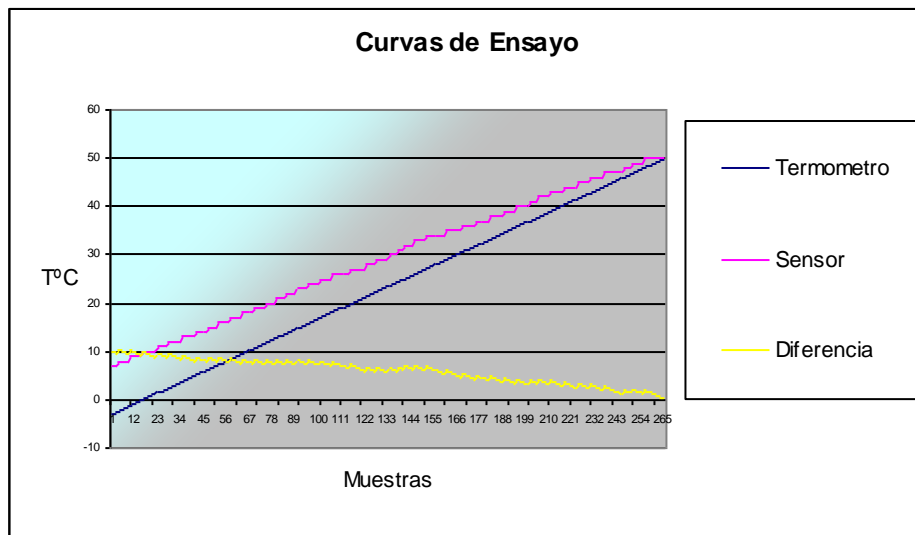


Figura N° 6: Curva de respuesta del sensor de temperatura

Si bien el sensor es bastante lineal, existe un error en la pendiente, que se hace insignificante a alta temperatura. Como puede observarse, a 0°C se tiene un error de casi 10°C por encima del termómetro patrón y a 50°C, un error de 0°C.

Con esta experiencia se pudieron ajustar los algoritmos dentro del microcontrolador para que los valores que se tomen coincidan con los de temperaturas reales. Luego del algoritmo de ajuste de curva de temperatura, se repitió el ensayo para verificar la funcionalidad de dicho ajuste, obteniéndose resultados mas precisos que los esperados, con errores promedio inferiores a 1°C.

SENSOR DEL PILOTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Este sensor se encarga de vigilar que el sistema de calefacción esté encendido. Está formado por una termocupla cuya señal se amplifica a través de un Amplificador Operacional logrando una salida entre 0 y 5 voltios.

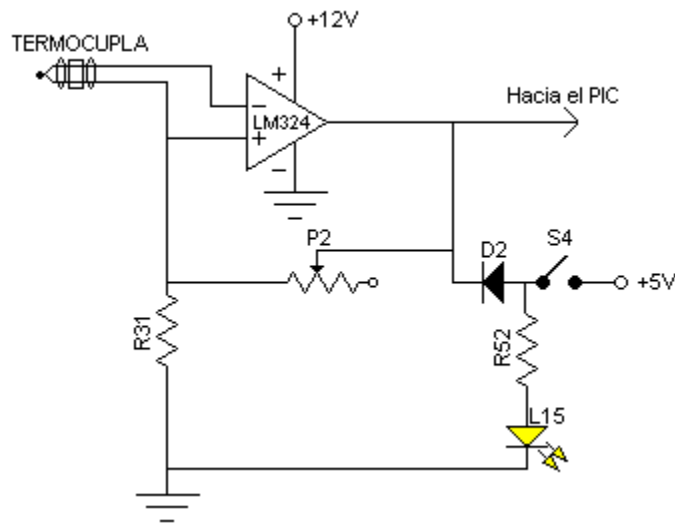


Figura N° 7: Circuito sensor del piloto del calefactor

La salida del amplificador se conecta a una entrada digital del Microcontrolador el cual interpretará dicha entrada como un 1 o un 0 dependiendo del nivel de tensión de salida.

El switch S4, se utiliza para épocas no invernales, (primavera y verano) donde no se considera necesario tener el sistema de calefacción encendido. Cerrando este interruptor, se establece una tensión de 5 voltios al Microcontrolador, por lo que este interpretará que el piloto está encendido, independientemente del valor real entregado por la termocupla. En el Panel de Monitoreo, se encenderá un led (indicado como L15 en el diagrama) de color amarillo indicando que el piloto está simulado. El diodo D2 que se observa en el circuito, evita que el indicador luminoso L15 se encienda cuando el piloto no se está simulando por intermedio de la llave.

SENSOR DE ILUMINACIÓN

Como sensor de iluminación, se utiliza un LDR (Light Dependent Resistor) o resistencia dependiente de la luz. Este LDR como su propio nombre indica es una resistencia que varía su valor en función del nivel de iluminación que incide sobre su superficie. A mayor intensidad lumínica incidente sobre la LDR menor será su resistencia y viceversa. Se muestra a continuación el diagrama esquemático del circuito:

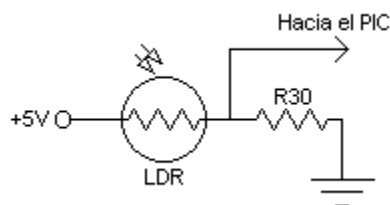


Figura N° 8: Circuito sensor de iluminación

El circuito consta de un divisor de tensión formado por el LDR y una resistencia (R30). Como la resistencia del LDR varía en función de la luz, la señal de salida del divisor hacia el PIC, también lo hará, y será dicho microcontrolador, el encargado de decidir si encender o no los bancos de iluminación. La resistencia R30 de valor óhmico = 4K7 ohms, se calculó experimentalmente buscando la mejor dependencia lineal entre el nivel de iluminación y la tensión hacia el PIC.

SENSOR DE HUMEDAD

El sistema está preparado para recibir una señal de entrada proporcional a la humedad del terreno, que varíe de 0 a 5 voltios. El sensor recomendado es del tipo resistivo, y se podría construir en forma artesanal, utilizando dos electrodos enterrados en el terreno, y aplicándoles una diferencia de potencial a través de una resistencia a fines de lograr un divisor resistivo. Por otro lado, se puede utilizar un sensor de humedad comercial, por lo que no se describen circuitos adicionales en este caso.

INTERFAZ DE SALIDA - ETAPA DE POTENCIA

La interfaz de salida es la encargada, de adaptar los valores de tensión de salida del microcontrolador, a valores capaces de manejar las alarmas y equipos del invernáculo. Está formada por los optoacopladores (optotriacs) y los triacs que forman la etapa de potencia, la cual está compuesta por las 10 salidas, 5 alarmas y 5 equipos.

Para el prototipo, se diseñaron las salidas de 220 Vac con una capacidad máxima de 8 Amp, pero debido a que el mismo es totalmente modular, bastaría cambiar esta etapa, compuesta por optotriacs y triacs por otra compuesta por optotransistores y transistores que trabajen en corte – saturación, para obtener salidas de corriente continua, así mismo, la combinación en cualquier número de ambas, daría salidas híbridas, es decir de corriente alterna para ciertas salidas y el resto de corriente continua.

Por simplicidad, la siguiente figura, muestra el esquema electrónico de una sola salida:

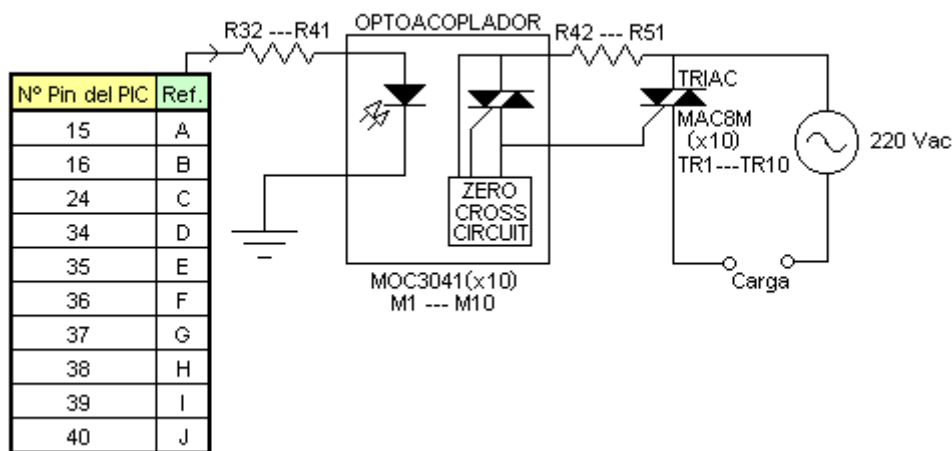


Figura N° 9: Circuito interfaz de salida

La tabla, situada a la izquierda de la figura, muestra las referencias utilizadas en el diagrama topológico del Microcontrolador. Como se observa, la salida del microcontrolador, a través de una resistencia, dispara el optotriac, el cual a su vez dispara el triac de potencia. Los optoacopladores respaldan al circuito de control, de quedar sometido a alta tensión ante eventuales fallas.

Los 10 optoacopladores junto con las resistencias correspondientes, se montan en una placa de circuito impreso, en cambio, los 10 Triacs de potencia, se montan en un disipador con ventilación forzada para evacuar las pérdidas por calentamiento que estos poseen.

Las salidas de los triacs se realizaron con cable de 1mm de color azul para los equipos y de color rojo para las alarmas y se conectan a los fusibles de protección del prototipo, montados sobre un circuito impreso muy simple, y de ahí hacia la bornera de conexiones.

PANEL FRONTAL – PANEL DE MONITOREO

El panel frontal alberga los interruptores de encendido del control, de encendido de la batería de seguridad, todos los indicadores luminosos, un botón de reset, para resetear el sistema de control, y el módulo LCD.

Observando este panel, se puede conocer a cada momento, no solamente el estado climático, sino también el estado de todos los artefactos y alarmas que intervienen en el control. También se podrá conocer, el estado del sistema de control, es decir si hay datos o no, si el control se encuentra operado en forma manual, o si el control se encuentra sin energía externa. También se puede operar el interruptor para establecer la simulación del piloto del sistema de calefacción.

En términos generales, el panel de control informa del estado del invernáculo y del propio sistema de control, e indica mediante leds de color verde un estado totalmente normal, mediante leds de color amarillo un estado de alerta, precaución o advertencia, y una falla del sistema o un desequilibrio climático mediante leds de color rojo.

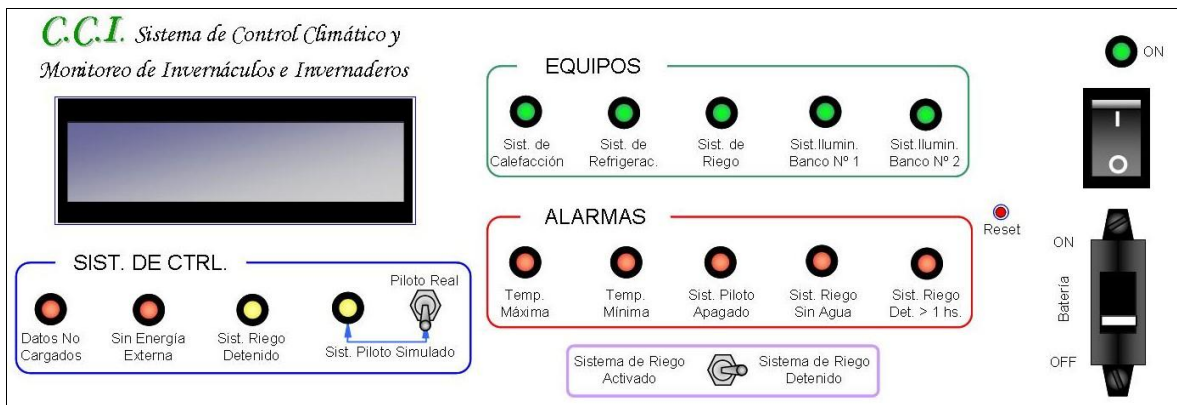


Figura Nº 10: Panel Frontal del control

Se ha implementado una pantalla de LCD Marca WINSTAR WH1602A en el panel frontal, para mejorar la comunicación en todo momento entre el sistema de control y el usuario por lo que no es necesario recurrir a la PC para conocer el estado climático y de los equipos del invernáculo. Este módulo es de dos líneas por 16 caracteres cada una.

Al encender el equipo el módulo indicará * NO HAY DATOS * / SETEE EL CONTROL hasta que se transmitan los datos desde la PC. A partir de este momento, el LCD mostrará en su primer línea el estado climático, es decir, los valores de Temperatura, Humedad e Iluminación y en la segunda línea, se mostrará, cada 3 segundos un mensaje distinto informando el estado de cada uno de los equipos que componen el control, es decir, que en 15 segundos, se puede conocer, no solo el estado climático sino también el estado de cada uno de los equipos. En caso de que alguna alarma esté encendida, la segunda línea del LCD será la encargada de informarlo eliminando la secuencia de mensajes de 3 segundos.

CONCLUSIONES

Se puede concluir, que se logró con un muy bajo costo, un sistema de control óptimo para dar soporte a las estrategias de control pensadas para el control automático de temperatura, iluminación y frecuencia de riego. Se cuenta con los sistemas de seguridad necesarios para el cuidado de todos los artefactos que componen el control.

Se considera, que este desarrollo marcará un punto importante en la búsqueda continua de aumentar la rentabilidad de un invernáculo, bien sea a través de un mayor rendimiento de los cultivos, buscando un aprovechamiento más eficiente de la energía y los recursos empleados, como así también se considera, que el diseño brindará una herramienta útil que permita mejorar los trabajos de investigación.

Se entiende que el prototipo logrado utilizando las últimas tecnologías en microcontroladores y demás dispositivos, es el puntapié inicial para seguir trabajando, desarrollando, e investigando en esta área de electrónica, control y teleoperación, ya sea para lograr futuras mejoras para nuestra facultad o para conseguir una salida comercial de estos productos.

REFERENCIAS

- Carletto J. Rodrigo V. (2007) Análisis de la necesidad de diseñar un control climático para un invernáculo en la FICES – UNSL (ASADES 2007)
- Carletto J. A. y Parladorio R. I. (2004). Desarrollo del control climático teleoperado de un invernáculo. Pp 27-56 Informe de trabajo Final carrera Ing. Electricista – Electrónica – UNSL FICES

ABSTRACT

This paper shown the development of hardware to build a prototype of fully automatic and low-cost climate control to a greenhouse at the Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales de la Universidad Nacional de San Luis, are presented diagrams Block, electronic circuits and patterns of operation. We present the main problems encountered in the construction, it is understood that the prototype meets all achieved its objectives, achieving a team of climate control for very low cost and high performance.

Keywords: climate control, greenhouse, microcontrolers, automatic control