

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UNIDADES MANEJADORAS DE AIRE ACONDICIONADO Y TABLEROS DE ILUMINACION DE EDIFICIOS

Juan Guillermo Patiño V.

Universidad Pontificia Bolivariana, Cq. 1 #70-01, Medellín, Colombia,
ing.geek@une.net.co, tel. (+574) 4911033.

Resumen: En este artículo se presentan los resultados obtenidos del desarrollo de un sistema de control automático diseñado para unidades manejadoras de aire acondicionado y tableros de iluminación de edificios. Se presenta la estructura del software de control y supervisión que transmite y recibe información de las tarjetas de adquisición y procesamiento de datos a través de una red de comunicación que permitirá optimizar el consumo de energía. Copyright © 2007 UPB.

Palabras Clave: RS-232, RS-485, P+I, Sistema de Control, Adquisición de Datos, Microcontrolador.

Abstract: this paper presents the results obtained of the development of a system of automatic control designed for manejadoras units of conditioned air and boards of illumination of buildings. One appears the structure of the control software and supervision that information of acquisition cards transmits and receives and data processing through a communications network that will allow optimizing the energy consumption.

Keywords: RS-232, RS-485, P+I, Control System, Data Acquisition, Microcontroller

1. INTRODUCCIÓN

El control automático ha sido cada vez más implementado en los últimos tiempos gracias a los beneficios que genera en los procesos productivos.

Uno de los sistemas utilizados en la mayoría de industrias y oficinas es el aire acondicionado, con el cual se pretende mantener un nivel de temperatura que proporcione sensación de bienestar a los usuarios. En este tipo de lugares, otro factor importante a considerar es la iluminación, especialmente cuando se trata de áreas extensas o que requieran gran cantidad de luz, en cuyo caso es necesario conservar una proporción entre el ahorro de energía y la calidad de luz suministrada.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de control automático con el fin de mantener las

condiciones ideales tanto en la temperatura interna del edificio como en los horarios de iluminación del mismo.

El sistema busca ser eficiente, con capacidad de responder rápidamente ante diversas perturbaciones y que pueda ejercer un óptimo control de las variables manipuladas.

La metodología que se lleva a cabo para el diseño y elaboración del proyecto, consiste en una etapa de investigación, una etapa de análisis y planteamiento de soluciones y finalmente la etapa de ejecución y desarrollo de las soluciones planteadas.

2. SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

2.1 Acondicionamiento del aire

En un recinto o local en el que se desea mantener un nivel de temperatura determinada, es necesario extraer el calor acumulado, este proceso se realiza introduciendo frío en dicho lugar, para esto se debe mantener una relación entre el calor expulsado y el frío que está entrando, con el fin de mantener un valor estable de temperatura.

2.2 Sistemas de aire acondicionado

El aire acondicionado es el proceso de tratamiento de aire que controla, en un local, la temperatura, la humedad, la renovación, el movimiento y la limpieza del aire; es algo más que enfriar solamente.

La refrigeración es necesaria en los edificios cuando estos tienen excedentes de calor y se desea expulsarlos al exterior, dichos excedentes provienen en principio, de los rayos solares y de ganancias térmicas internas que provienen de los sistemas de iluminación, de los equipos como las computadoras e incluso de las personas que lo ocupan.

2.3 Elementos básicos del sistema de acondicionamiento de aire

2.3.1 Equipo de producción de frío

Generalmente, los acondicionadores de aire funcionan según un ciclo frigorífico.

Los equipos de acondicionamiento poseen cuatro componentes principales:

Evaporador. Es un dispositivo que enfría algo mediante la evaporación de un fluido.

Compresor. Comprime el refrigerante en estado de vapor procedente del evaporador, aumenta la temperatura del vapor comprimido y posibilita la circulación del fluido refrigerante.

Condensador. El condensador tiene un papel inverso al del evaporador; el gas refrigerante procedente del compresor y entra en el interior de los tubos del condensador. Un ventilador toma aire del exterior y este pasa alrededor de los tubos.

Válvula de expansión. Dispositivo que permite igualar las presiones entre alta y baja, esto es aspiración y descarga del compresor. Su función es controlar el paso de refrigerante y separar la parte alta con la baja.

2.3.2 Unidades terminales

Son aquellos dispositivos que permiten que el aire salga y pueda ser distribuido en el recinto. Se clasifican en:

Difusores de techo. Ubicados en la parte del techo y tiene forma circular.

Difusores lineales. Son aberturas alargadas que se ubican en el techo o la pared.

Rejillas. Formadas por varias filas de láminas metálicas puestas de manera horizontal o vertical con posibilidad de orientarse con el fin de canalizar el aire impulsado.

Paneles perforados. Se trata de paneles ubicados en el techo.

2.3.3 Equipo de distribución

Formado por las tuberías y conductos encargadas de distribuir el aire.

2.3.4 Equipo de regulación

Son instrumentos que permitan regular o controlar de manera eficiente el nivel de aire con el objetivo de mantener un valor determinado de temperatura. Para regular el sistema de aire acondicionado se utiliza un elemento regulador, encargado de medir los valores de temperatura y compararlos con el valor definido o set point.

2.3.5 Elementos finales de regulación

Son conocidos como elementos finales de control llamados válvulas, cuya función es variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable (Creus, 1997).

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Antecedentes

Actualmente, en la ciudad de Medellín, la automatización de los sistemas de aire acondicionado y de iluminación no son muy comunes, son pocos los lugares en los que se han implementado sistemas automáticos para estos procesos.

La mayoría de edificios que cuentan con aire acondicionado, utilizan control manual para realizar variaciones en el nivel de temperatura, es decir, constantemente es necesario realizar ajustes en el sistema para mantener una temperatura adecuada, y para compensar las variaciones debidas a cambios en la temperatura ambiente que influyen en la temperatura interna del edificio y en otros factores como la cantidad de personas que lo habiten, los computadores u otros aparatos que emitan calor y puedan afectar la temperatura del ambiente.

Lo mismo ocurre con el sistema de iluminación, específicamente con el encendido y/o apagado de las luces, el cual es operado manualmente por una persona que debe desplazarse por todo el edificio para realizar esta labor cada que sea necesario.

3.2 Diseño del proyecto

Fundamentalmente está conformado por una unidad de control central que se comunica con los sistemas de control de aire acondicionado y de iluminación a través de una red de comunicación.

En la figura 1 se muestra en forma básica la disposición de los elementos que conforman el sistema de control automático.

Sistema de control central



Figura 1. Composición del sistema de control.

3.2.1 Diseño del controlador de temperatura

El control de la temperatura del aire se inicia con la obtención del modelo dinámico del proceso y la selección y el diseño del controlador adecuado para regular la variable controlada.

Para el control de la temperatura se diseña un Control Proporcional más Integral (PI). En este tipo de controlador, la señal de salida experimenta un salto inicial proporcional al error actuante y a continuación presenta una variación gradual a una velocidad proporcional al error (García, 2002). Una característica principal de este tipo de control es que puede eliminar errores en régimen permanente.

La ecuación del control PI está dada por:

$$m(t) = K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right] + M_0 \quad (1)$$

Donde:

$m(t)$: Salida del controlador.

$e(t)$: Señal de error actuante.

K_c : Ganancia del controlador. (Parámetro de ajuste).

T_i : Tiempo Integral en min/repetición o repeticiones/min. (Parámetro de ajuste).

M_0 : Salida del controlador para error nulo.

Método de diseño del controlador. El control PI se realiza mediante el método de asignación de polos. Este método busca que el sistema en lazo cerrado posea un comportamiento dinámico específico. Esto exige que la ecuación característica del sistema sea igual a un polinomio $Q(z)$ propuesto según especificaciones de diseño (García, 2002).

Para el diseño de este controlador se deben seguir los siguientes pasos:

Formar la ecuación característica del sistema incluyendo el controlador a diseñar:

$$1 + D(Z)HG(Z) = 0 \quad (2)$$

Donde:

$HG(z)$: Función de transferencia de pulso de la planta.

Seleccionar los polos dentro del círculo unitario, se forma la ecuación característica de acuerdo a los requisitos del diseño. Esta ecuación debe ser del mismo orden que la del sistema planta-controlador.

$$(Z - p_1)(Z - p_2) \dots (Z - p_n) = 0 \quad (3)$$

Donde:

$p_1, p_2, \dots, p_n$: Polos de lazo cerrado deseados.

Se comparan uno a uno los coeficientes de igual potencia en z en las ecuaciones 4 y 5, esta comparación genera n ecuaciones simultáneas, que al resolverlas se obtienen parámetros del controlador.

Para obtener el modelo del proceso se utiliza el método de la curva de reacción. Experimentalmente el modelo del recinto, para el sistema de control de aire acondicionado, se puede aproximar a un modelo de primer orden con retardo así:

$$G_p(S) = \frac{0.56e^{-1.25S}}{4.45S + 1} \quad (4)$$

Donde:

$G_p(S)$: Función de transferencia en tiempo continuo.

Los tiempos están en minutos.

Para discretizar el sistema se toma como periodo de muestreo $T = 2$ min.

En el proceso real se muestrea cada 10 segundos, debido a que el PIC puede hacerlo sin que esto implique alto costo computacional.

El modelo discreto del proceso, con $t=2$ min es:

$$HG(Z) = (1 - Z^{-1})Z^{-n} \left\{ \frac{G_p(S)}{S} \right\} \quad (5)$$

Como $\frac{G_p(S)}{S}$ tiene la forma $\frac{a}{S(S+a)}$

Se evalúa la transformada z modificada así:

$$\frac{1}{Z-1} - \frac{e^{-aT}}{Z - e^{-aT}} \quad (6)$$

El modelo discreto del proceso, es decir, la ecuación con la que se discretiza es:

$$HG(Z) = \frac{0.08686Z + 0.11586}{Z^2 - 0.6379Z} \quad (7)$$

Para el diseño se asume, para el sistema en lazo cerrado, un coeficiente de amortiguamiento $\xi = 0.6$ y tiempo de establecimiento $t_s = 15$ min.

Así, los polos de lazo cerrado deseados son:

$$|z| = e^{-\pi\xi\omega_n} = 0.5866 \angle 20.37^\circ \quad (8)$$

Con la ecuación 9 se cumple con el criterio de que $16^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$

$$\theta = 57.3\omega_n T \sqrt{1 - \xi^2} = 20.37^\circ \quad (9)$$

$$z = |z|(\cos\theta \pm j\sin\theta) = 0.5499 \pm 0.2041j \quad (10)$$

La ecuación característica planta-controlador es:

$$1 + D(z) \cdot HG(Z) = 0 \quad (11)$$

Se obtiene:

$$a = 0.3758009969, Q1 = -1.116369109 \\ Q0 = 1.868512584,$$

$|a| < 1$ cumple otro criterio

Con los parámetros obtenidos, la ecuación del controlador PI es:

$$D(Z) = \frac{M(Z)}{E(Z)} = \frac{q_0 Z + q_1}{Z - 1} \quad (12)$$

Donde:

$M(Z)$: Salida del controlador.

$E(Z)$: Error actuante.

q_0 : Parámetro del controlador.

q_1 : Parámetro del controlador.

Es decir:

$$D(Z) = \frac{1.8685Z - 1.1163}{Z - 1} \quad (13)$$

En la figura 2 se puede ver la respuesta del sistema y el controlador ante una entrada. En esta gráfica se observa que el tiempo de estabilización se da a los 15 minutos.

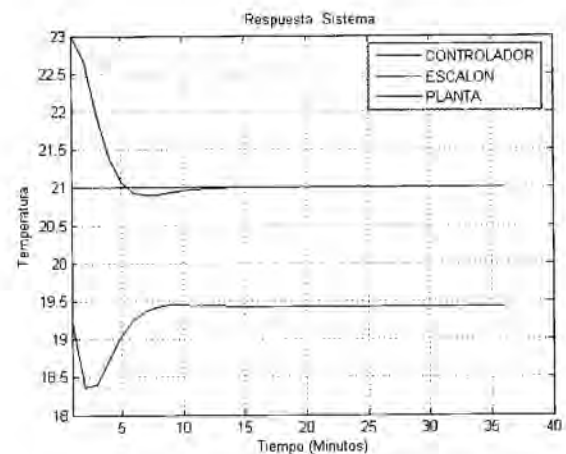


Figura 2. Sistema Planta – Controlador.

La figura 3 representa la respuesta del sistema al modificar el valor del set point. En la gráfica muestra la estabilidad que consigue el sistema 15 minutos después de haber variado el set point.

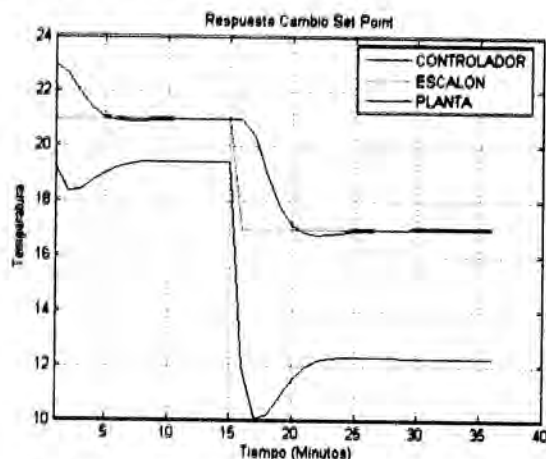


Fig. 3. Respuesta del sistema con variación del set point.

La velocidad de respuesta del sistema ante una perturbación se observa en la figura 4. Se aplica una perturbación 20 minutos después de estar estabilizado el sistema, se puede notar que luego de la perturbación el sistema toma 10 minutos para alcanzar nuevamente su estabilidad.

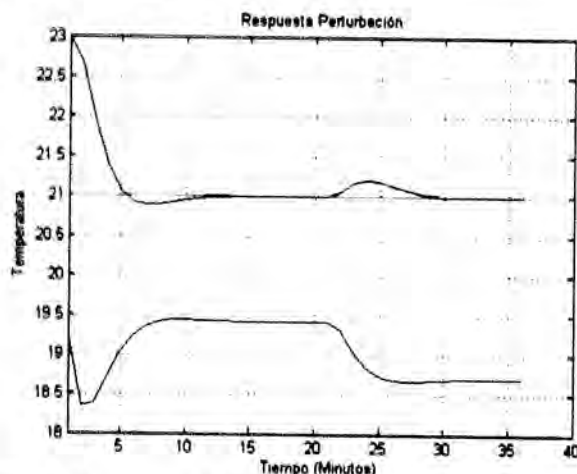


Fig. 4. Respuesta del sistema ante una perturbación.

3.2.2 Control de aire acondicionado

Se diseñan y realizan el software, las tarjetas y circuitos para llevar a cabo el control, el cual está conformado por:

Diseño de tarjetas de control de aire. La figura 5 indica la estructura que compone el control para el sistema de aire acondicionado.

Consta de cuatro sensores de temperatura cuya información es almacenada en una tarjeta de adquisición y procesamiento, la cual, envía los datos para ejercer el control sobre la UMA a través de la electroválvula. La programación del sistema de control es realizada desde el sistema central.

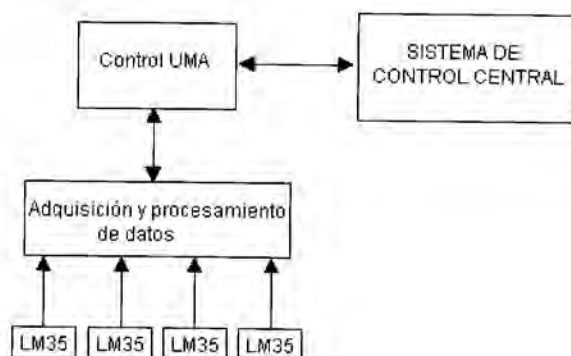


Fig. 5. Diagrama de bloques de la tarjeta de control de aire acondicionado.

Sensores. Los sensores utilizados para medir la temperatura son los LM35, un dispositivo sensible a la temperatura, el cual transmite señales análogas de temperatura en el rango de 2°C a +40°C al PIC.

Se dispone de cuatro LM35 que son distribuidos alrededor del recinto. (National Semiconductor, 2009)

Adquisición y procesamiento de datos. A esta tarjeta llegan las señales emitidas por los sensores de temperatura. El microcontrolador PIC 16F876A que se encarga de procesar la información proveniente de los sensores. (OHBA, 1992)

Las señales análogas de temperatura son capturadas por el microcontrolador, que toma esta información de los sensores con un periodo de muestreo de 15 segundos. Estos datos son llevados al convertidor análogo-digital que tiene el PIC internamente y de esta forma el valor de temperatura se transforma en una señal digital de voltaje.

Una vez convertidas, las cuatro señales de voltaje son promediadas por el microcontrolador y el resultado obtenido es almacenado en su memoria.

Posteriormente, el microcontrolador efectúa el algoritmo de control con los parámetros que se han ingresado desde el control central, durante este proceso se compara el valor de temperatura que fue almacenado con el set point programado.

Según sea la diferencia entre ambos valores, el PIC suministra una señal de acción de control al controlador y se determina la operación que se debe efectuar sobre la electroválvula, bien sea abrir o cerrar y en qué porcentaje debe hacerlo.

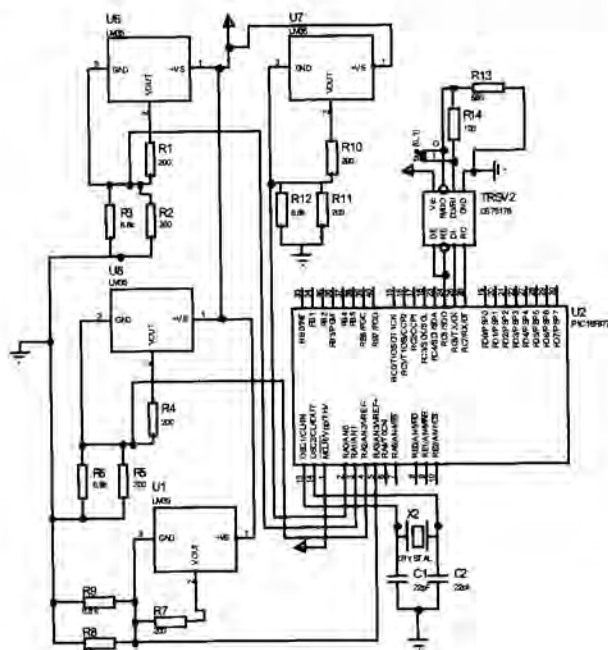


Fig. 6. Diagrama esquemático de la tarjeta de adquisición y procesamiento de datos.

Control UMA. Las señales provenientes de la tarjeta de adquisición y procesamiento de datos son recibidas por los transceiver de la tarjeta de control de la UMA. Estos son los encargados de enviar la señal de acción a dos relés de estado sólido para activar la electroválvula. Ver la figura 8.

El uso de los relés, se hace con el fin de controlar una potencia grande con un consumo en potencia reducido.

Los relés de estado sólido utilizados son TD24A05R, los cuales manejan una señal de control entre 4 y 32V DC y corrientes hasta de 5 amperios. Según sea la señal de mando (abrir o cerrar), se activa uno de los dos relés correspondientes a cada acción.

El controlador debe poder mover la electroválvula y con esta variación debe afectar la medición en la temperatura.

La figura 7 describe una estructura en bloques del programa de control de aire. A partir del diseño de este diagrama se desarrolla el programa con sus respectivas instrucciones.

El diagrama de flujo posibilita entender y representar de manera resumida el programa realizado.

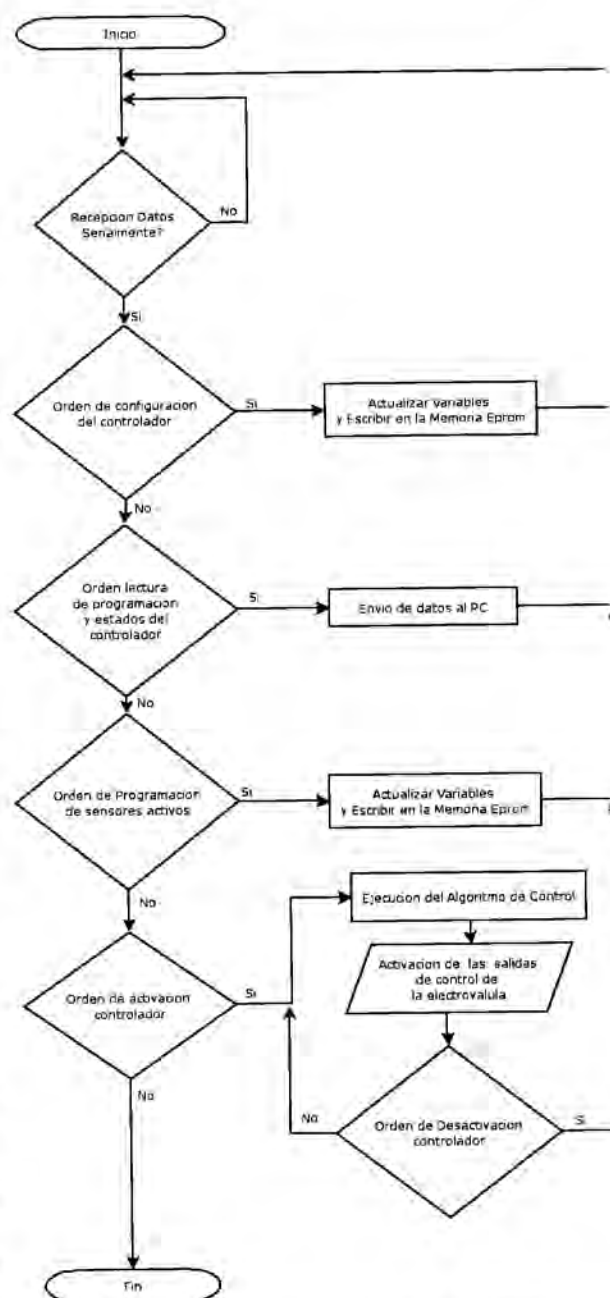


Figura 7. Diagrama de flujo del control de aire.

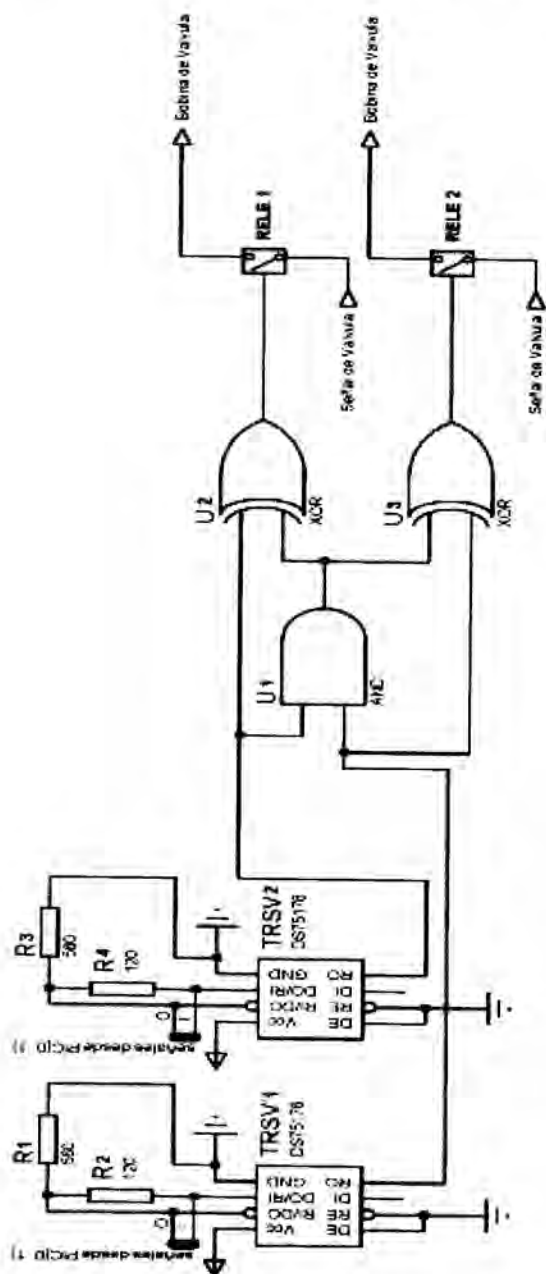


Figura 8. Diagrama esquemático del control de la UMA.

3.2.3 Control de iluminación

La tarjeta encargada del control de la iluminación es representada en la figura 9 y 10. En su forma más simple consiste en un microcontrolador que se comunica a través del transceiver con el sistema de control central. Adicionalmente, cuenta con un reloj con el que se pueden establecer los horarios de encendido y apagado de las luces.

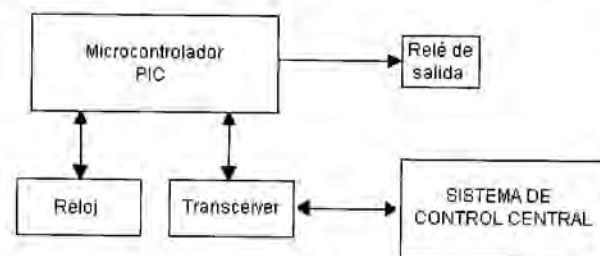


Figura 9. Diagrama de bloques del control de iluminación.

PIC 18F452. El PIC transmite y recibe información a través de la red de comunicación.

La programación del microcontrolador es realizada desde el sistema central, desde allí se introducen diferentes comandos que son los datos de entrada con los que se programa el microcontrolador. (Microchip, 2009)

A través del PIC es posible configurar el reloj de tiempo real DS1307.

El DS1307 envía al PIC información de tiempo real que cuenta los segundos, minutos y horas e informa datos de calendario como: fecha, mes, día de la semana y año. Estos datos son almacenados en memoria del microcontrolador para mostrarlos en el sistema central en el momento que sean requeridos.

Además de la configuración del reloj, en el PIC se almacenan los horarios de encendido y apagado de las luces en los diferentes sectores que conforman cada piso.

Cuando el PIC almacena un horario de encendido y apagado de luces, permanece en una lectura continua del reloj para comparar el dato que lee con el dato guardado y de esta manera ejecutar las instrucciones establecidas. (ANGULO, 2000)

Los datos de salida del PIC son transmitidos al transceiver, que se encarga de transportarlos a la unidad central.

Las salidas de potencia para el control de iluminación se realizan a través de un relé de estado sólido, el cual permite controlar directamente los dispositivos de gran consumo eléctrico, como las lámparas.

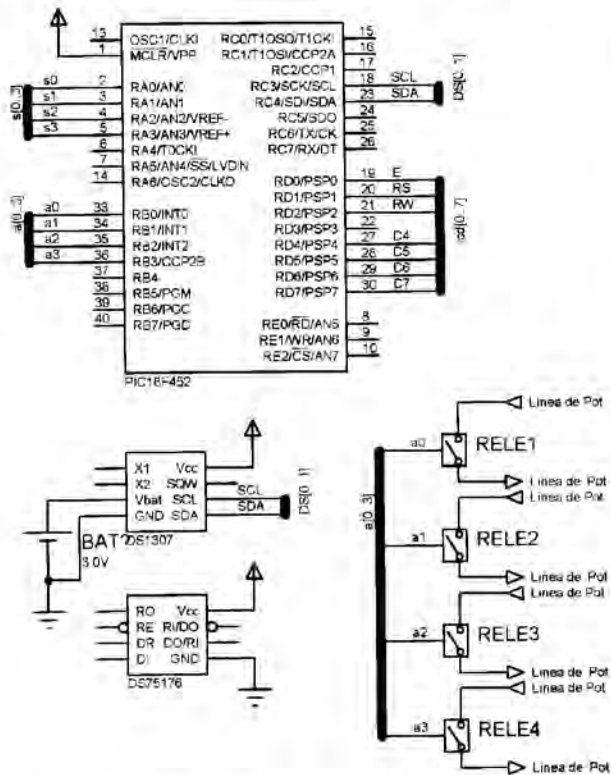


Figura 10. Diagrama esquemático de la tarjeta de iluminación.

La figura 11 describe una estructura en bloques del programa de control de iluminación. A partir del diseño de este diagrama se desarrolla el programa con sus respectivas instrucciones. Además de representar de manera resumida el programa, el diagrama de flujo permite encontrar con mayor facilidad los errores de programación.

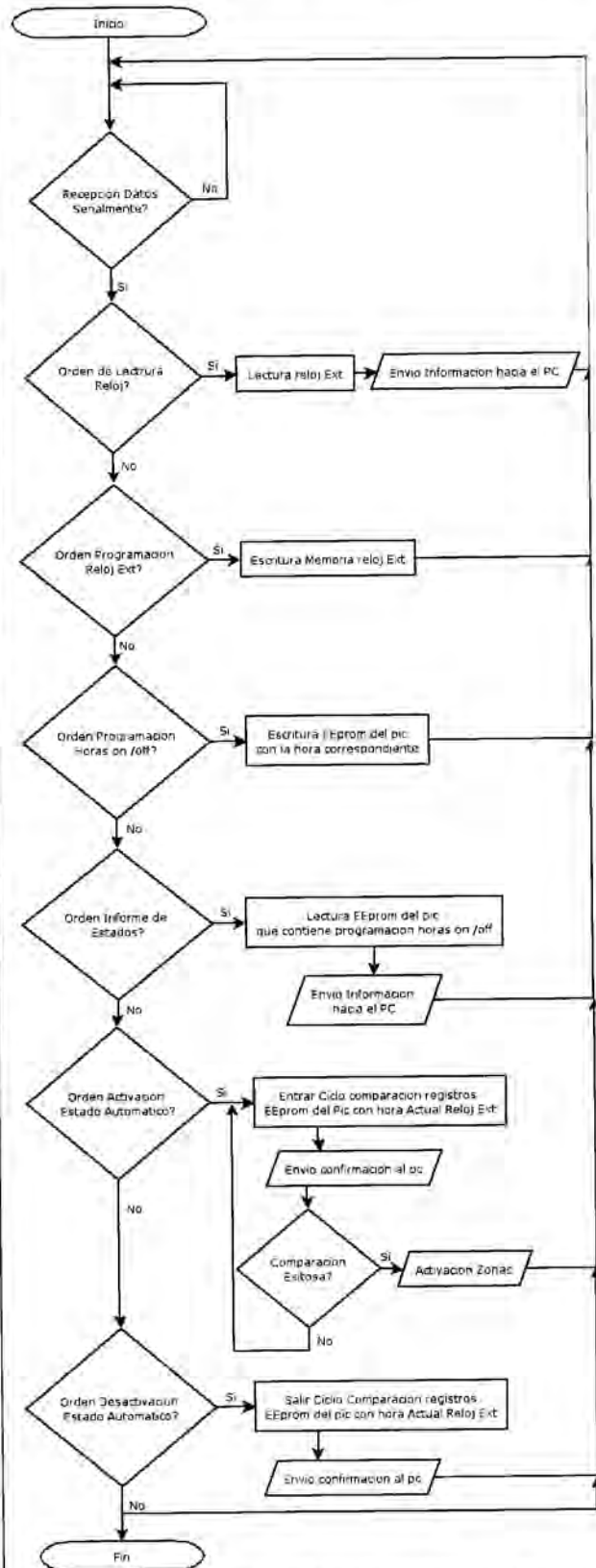


Figura 11. Diagrama de flujo del control de iluminación.

3.2.4 Red de comunicación

El soporte fundamental para el funcionamiento de este proyecto, es la posibilidad de conectar diferentes tarjetas de adquisición de datos sobre una misma línea de transmisión y de recepción de datos.

La línea de transmisión de información debe llegar al puerto serial de la computadora maestra para lograr la comunicación y el acceso entre ésta y las diferentes tarjetas de adquisición y control. Estas tarjetas de red deben estar conectadas al mismo bus de datos y deben tener capacidad de decidir en qué momento cada uno de ellos puede hacer uso de la red para transmitir la información que le corresponde hacia el equipo maestro.

Para realizar este tipo de transmisión, es de suma importancia la interfaz serial utilizada, debido a que en el diseño propuesto para este proyecto se requiere conectar varias tarjetas en red. Esto se dificulta si se tiene en cuenta que cualquier computadora tipo PC posee al menos un puerto serial del tipo RS-232. Con este tipo de interfaz sólo se pueden tener conectados dos equipos; de este modo no es posible cumplir el objetivo de conectar varias tarjetas de control en la red.

Otro aspecto fundamental que se debe tener en cuenta en la interfaz es la distancia a la que ésta permita extender la red, porque en este caso se requiere transmitir información a gran distancia sin que se afecte la calidad de los datos que se envían. Por esta razón se utiliza una interface serial RS-485 que permite comunicar las diferentes tarjetas y equipos a distancias de hasta 1500 metros. Además, con la interfaz del tipo RS-485 se pueden conectar hasta 32 equipos transmisores/receptores. (GOLDIE, 2002)

Una red RS-485 se puede construir de dos formas: de dos o de cuatro hilos. En este diseño se maneja la primera opción, ya que el funcionamiento en este modo es más eficiente y básicamente porque la necesidad del proyecto es una transmisión half duplex a dos hilos.

Cada tarjeta de adquisición y control que conforma la red es identificada con un código, de esta manera cuando la computadora maestra haga una petición para obtener información de una tarjeta, es escuchada por

todos los módulos conectados sobre la red, pero solamente aquella tarjeta a la que le corresponde el código envía el dato que se le ha pedido.

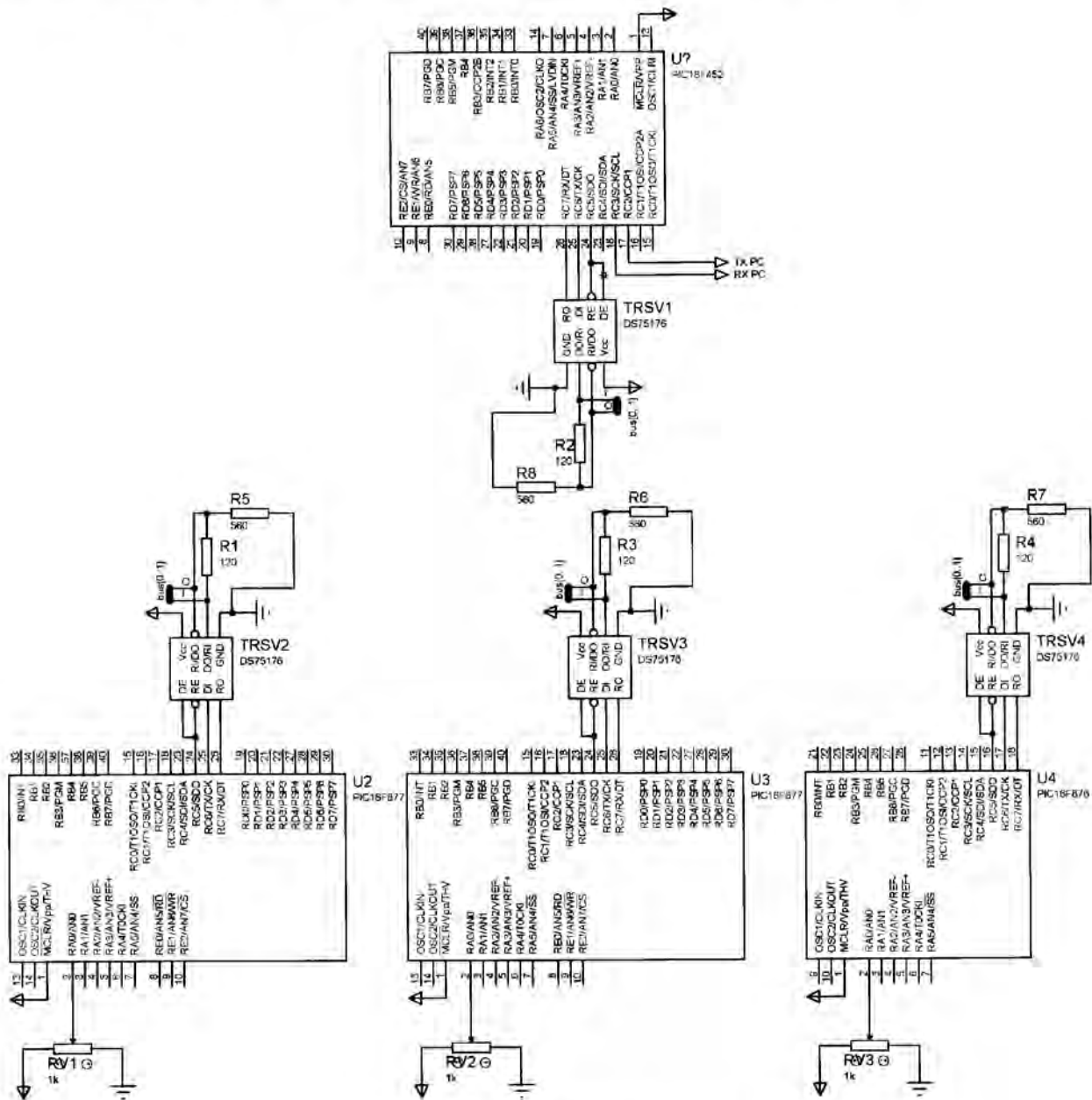
Lo anterior se hace porque sobre la red pueden estar conectados hasta 16 circuitos idénticos y debe existir alguna forma de diferenciarlos en el momento en que la computadora requiera conocer el valor o el estado de un dispositivo en particular. Para esto, el microcontrolador que compone cada circuito, tiene en su programa fuente su respectivo código de identificación, con el cual el usuario puede seleccionar una tarjeta determinada.

El cable utilizado para la transmisión es una línea de par trenzado con impedancia de 120W, por esta razón en los transceiver que se muestran en la figura 12 se realiza un arreglo con resistencias de 120W con el fin de hacer el acople con la línea. Las resistencias de 560W se usan para reducir las reflexiones del voltaje que pueden hacer que el receptor tenga una mala lectura en niveles de la lógica. Al eliminar las reflexiones se puede lograr que las corrientes iniciales y finales sean iguales.

Interfaz RS-485. En lo referente a la interfaz RS-485, cada tarjeta posee un circuito integrado SN75176 en modo transceiver. Estos dispositivos se encargan de hacer la conversión entre los niveles TTL del microcontrolador y las señales de tipo diferencial que se utilizan en la línea RS-485.

Convertidor de RS-232 a RS-485 de 2 hilos. Dado que la red de sensores está implementada con la norma RS-485, debe existir un circuito que convierta nuevamente dichas señales al formato RS-232 para conectar el computador en la red.

Esto, implica convertir las señales de tipo diferencial a niveles TTL a través de un circuito integrado SN75176 y mediante otro circuito integrado MAX232 convertir niveles TTL en los niveles de tensión adecuados para el puerto RS-232 del computador. (GOLDIE, 2002).



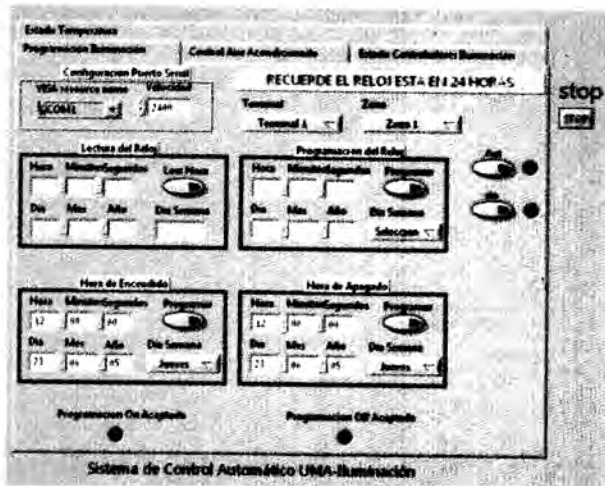


Figura 13. Programación de iluminación.

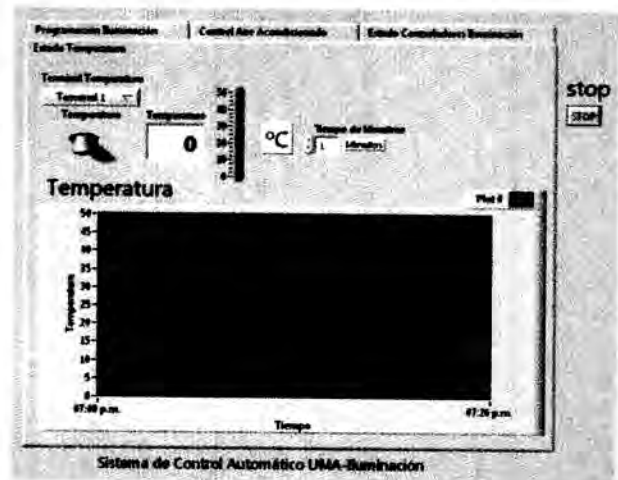


Figura 16. Estado de temperatura.

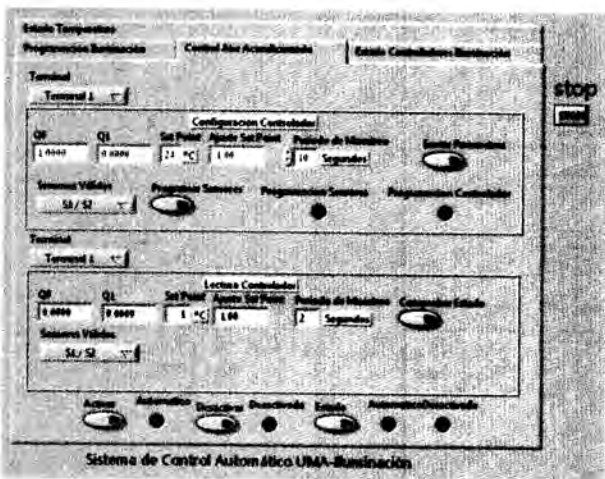


Figura 14. Control del aire acondicionado.

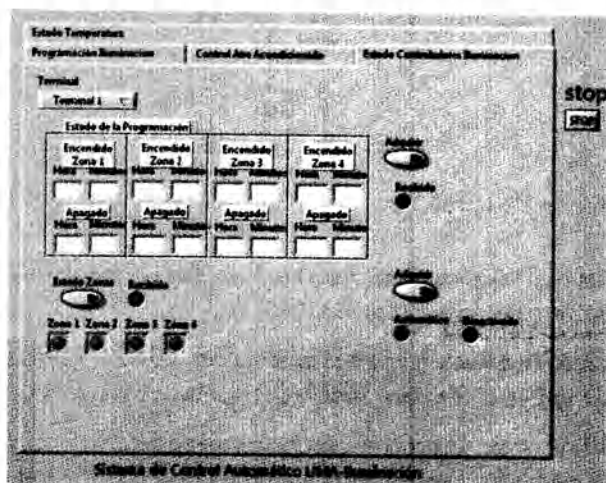


Figura 15. Controladores de iluminación.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el desarrollo del proyecto se logra obtener un mejor manejo en el campo de los microcontroladores, tanto para su programación como para conocer sus múltiples funciones y beneficios.

Su uso hace posible el ahorro de componentes electrónicos, de tal manera que el hardware del sistema se reduce notablemente, debido a que las funciones de control realizadas por otros dispositivos, son realizadas por el microcontrolador.

Algunas características importantes del microcontrolador son el procesamiento de las señales que puede llevar a cabo y la amplia posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos.

Comprobando así que los microcontroladores son dispositivos muy versátiles lo que indica que pueden ser utilizados en muchas aplicaciones.

Mediante el control P+I se logra obtener un sistema eficiente con el que es posible realizar un buen control de temperatura. El tiempo de establecimiento del control es adecuado, lo que genera la estabilidad del sistema automático en corto tiempo. Por otro lado, el sistema logra responder rápidamente a las perturbaciones, manteniéndose sin sobreimpulsos.

Finalmente, el óptimo control del proceso es logrado también mediante la interacción del software Labview con el software utilizado para el microcontrolador.

Al evaluar la iluminación en un área de trabajo es importante tener en cuenta los niveles recomendados para la actividad visual a desarrollarse en dicho lugar, de modo que se asegure la realización de esta tarea con eficacia y confort.

Conseguir una buena iluminación implica criterios básicos referentes a la disposición de la luz, las condiciones del alumbrado y la superficie a iluminar.

El desarrollo de una interfaz grafica de supervisión y control acoplada a un hardware de adquisición de datos y control incrementa el ahorro de energía, la velocidad de ejecución de las señales de control, y obtener un sistema más confiable y eficiente.

Para obtener una supervisión más amplia se podría implementar otro tipo de red, que garantice un sistema aun más confiable y de mejor calidad, que permita trabajar a mayores distancias utilizando comunicación tipo USB. Estos cambios se hacen con el fin de tener la posibilidad de supervisar los reportes del estado del sistema desde cualquier PC a través de la Internet.

Se debe seguir trabajando sobre este tipo de sistemas para lograr un sistema completo en el que sea posible integrar dispositivos alarmas u otros dispositivos de seguridad.

5. REFERENCIAS

- CREUS, Antonio. (1997). *Instrumentación industrial*. España: Marcombo S.A, 750 p.
- DORF, R. (1977). *Sistemas Automáticos de Control*. Fondo Educativo Interamericano S.A., México.
- GARCÍA, Luis Eduardo. (2002). *Control digital. Teoría y práctica*. Medellín: Politécnico Colombiano JIC, 350 p.
- GOLDIE, John. (2002). National Semiconductor Corporation. Application Note 1057. AN012882.
- OHBA, R. (1992). *Intelligent sensor technology*. Chichester (U.K): John Wiley & Sons.
- LAJARA VIZCAÍNO, José Rafael; Pelegrí Sebastian, José. *Labview: entorno gráfico de programación: LabVIEW 8.20 y versiones anteriores*. México: Alfaomega, 2007.
- LÁZARO MANUEL, Antoni y Rio Fernández, Joaquín del. *LabVIEW 7.1: programación gráfica para el control de instrumentación*. Madrid: Thomson, 2005.
- ANGULO USATEQUI, José María. *Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de aplicaciones*. Segunda Edición. Editorial Mc Graw-Hill. 1999.
- ANGULO USATEQUI, José María. *Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de aplicaciones*. Segunda Parte. Editorial Mc Graw-Hill. 2000.
- <http://www.national.com>, Consultado en Agosto de 2009.
- <http://www.microchip.com/>, Consultado en Agosto de 2009.