

PROCEDIMIENTO PARA AUTOMATIZAR UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR UTILIZANDO DISPOSITIVOS GENÉRICOS Y UN ALGORITMO DE CONTROL

R. Vázquez*, R. Spotorno, A. Robledo, J. Pochettino, F. Benítez
GITEA - Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadadas
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia
French 414. 3500 Resistencia-Chaco. República Argentina
Tel: +54 3722 432928. / Fax: +54 3722 432683/ e.mail: ray_vazquez_2005@hotmail.com
*GUDA-Grupo Universitario de Automatización-Facultad Regional Resistencia

Recibido: 09/08/12; Aceptado 27/09/12

RESUMEN: Se expone un procedimiento para automatizar un sistema de climatización por compresión de vapor con implementación de desecantes sólidos regenerados con energía solar. El método consiste en articular un algoritmo genérico de automatización con un hardware de bajo presupuesto. Se emplea un diagrama de flujo que facilita la tarea de programación en un lenguaje de alto nivel. Además utiliza un compilador de microcontroladores denominado CCS C en la creación del software encargado de manejar dispositivos electromecánicos y mediciones analógicas. Finalmente se graba el software de control en un desarrollo electrónico denominado dispositivo genérico.

El algoritmo utilizado es de código fuente abierto y los conocimientos necesarios en la implementación del hardware de control requieren solo un nivel medio en el área de la programación y electrónica. El procedimiento descrito permite a un investigador reducir el tiempo y esfuerzo en el desarrollo de hardware y software, confiando a los proyectos desarrollados con estas características una versatilidad y potencia elevada.

Palabras clave: climatización, regeneración, automatización, algoritmo de control.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en las regiones subtropicales húmedas como la región del nordeste argentino, se ha producido un crecimiento evidente de las necesidades de climatización en los edificios por una mayor exigencia de las condiciones de confort.

Climatizar mediante un sistema de compresión de vapor puede ser un método eficiente. Sin embargo, la energía de entrada es trabajo suministrado mecánicamente y, por tanto, costoso.

Con la finalidad de reducir los elevados consumos de energía eléctrica en los sistemas de climatización por compresión de vapor, el GITEA (Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadadas), realizó estudios y ensayos de un equipo experimental de climatización con la introducción de desecantes sólidos (sílica gel).

Spotorno et al (2010), reportaron los primeros estudios termodinámicos, realizados para el clima del NEA, sobre la mejora de la eficiencia de sistemas de climatización por compresión de vapor mediante deshumidificación del aire de proceso utilizando desecantes sólidos (sílica gel).

Además Spotorno et al (2011), reportaron los resultados experimentales de un equipo de climatización por compresión de vapor, luego de acondicionar un porcentaje de la corriente de aire de proceso mediante un panel que contiene sílica gel.

La característica más importante del proceso de adsorción de agua por parte de los desecantes es su reversibilidad, mediante regeneración a temperaturas entre 55 °C y 149 °C, Bula y Juvinao (2004). La elevada disponibilidad de radiación solar en la región del NEA, permitirá realizar el proceso de regeneración del material desecante (sílica gel), mediante un colector solar de placa plana.

En el presente trabajo se expone un procedimiento para automatizar un sistema de climatización por compresión de vapor de 5.23 kW de potencia, con la introducción de desecantes sólidos, aprovechamiento geotérmico (agua subterránea) y regeneración del material desecante mediante energía solar y aprovechamiento del calor residual del condensador del sistema de climatización.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

La figura 1 muestra un esquema general del sistema de aire acondicionado (split), habitación a climatizar, colector solar de placa plana utilizado para calentar el aire necesario para la regeneración del material desecante, la cámara de secado del material desecante e intercambiadores de calor.

La climatización de la habitación se realiza mediante un split de 5.23 kW de potencia. Un porcentaje de aire de retorno (15 % o 30%) con un elevado contenido de humedad aportado por las personas presentes en dicha habitación, se extrae de la misma a través de una rejilla regulable comandada mediante un motor paso a paso, para dirigirse al sistema desecante donde se encuentra alojado el panel de sílica gel, material encargado de deshidratar el aire de retorno.

El aire sale del sistema desecante con un contenido bajo de humedad absoluta, pasando luego a través de dos intercambiadores de calor por el cual se hace circular agua subterránea a una temperatura aproximada de 25°C, para luego ingresar al evaporador del split.

La necesidad de hacer circular el aire a la salida del material desecante a través de los intercambiadores de calor, se debe a que el proceso de secado del aire es exotérmico, aumentando su temperatura en aproximadamente 20°C respecto a la temperatura de salida del aire de la habitación, con lo cual aumentaría la carga sensible del mismo.

Cabe aclarar que mientras se realiza el proceso de acondicionamiento del aire de la habitación, otro panel del sílica gel saturado de humedad se encuentra regenerando mediante la circulación de aire caliente proveniente de un colector solar de placa plana, en el que se hace ingresar el calor residual del condensador del equipo de climatización. El efecto de precalentamiento del aire que se produce en el condensador debería, al menos en principio, reducir la superficie del colector solar necesaria y por consiguiente, disminuir costos asociados a la construcción del mismo. Para los días de baja radiación solar, en el circuito de regeneración del material desecante se instalaron tres resistencias eléctricas cuya potencia total es de 1200 W, a fin de suministrar la energía adicional a la que aporta el colector solar.

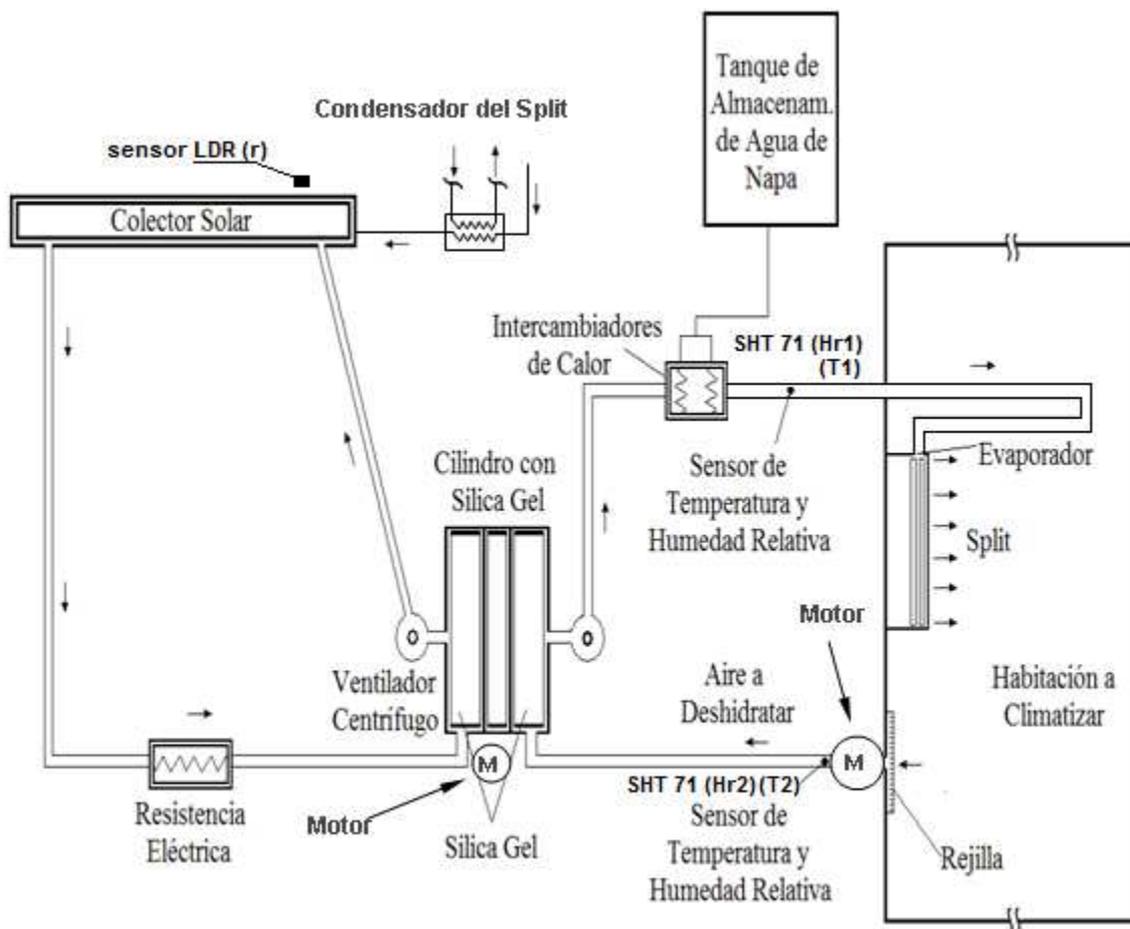


Figura 1: Esquema del sistema de climatización y regeneración del material desecante

La automatización del sistema de climatización se desarrolla a partir de un diagrama simplificado como se muestra en la figura 2 descrito por Areny R (1994). La perturbación representa la carga térmica que existe en la habitación, la información de las variables de estados como por ejemplo la temperatura y humedad relativa se realizan mediante sensores. El dispositivo de control es el encargado de articular las mediciones analógicas y la automatización. La acción de comandar una electroválvula, motor de corriente continua y los relés mecánicos se realiza mediante un acondicionador de señal.

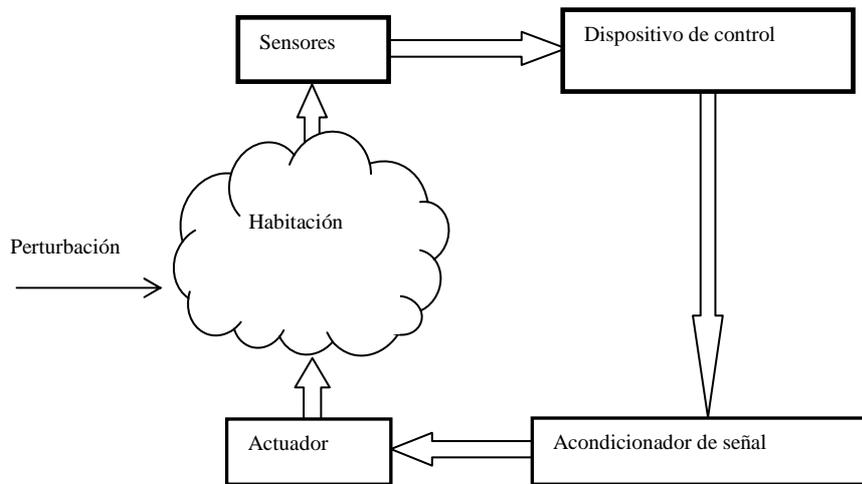


Figura 2: Esquema simplificado del modelo de control automático de la habitación

El algoritmo encargado de controlar los sensores y mecanismos electromecánicos de la instalación se obtiene a partir de código fuente abierto. Es decir, los códigos utilizados pasaron por una etapa de optimización y depuración. Para articular las diferentes líneas de programa que realizan tareas de medición y control se recurre al uso de compiladores.

Los proyectos diseñados con este tipo de procedimiento permiten a investigadores con bajos conocimientos de programación y electrónica, desarrollar software de control automático con un mínimo esfuerzo. El desarrollo del software se acompaña con un hardware de bajo presupuesto denominado dispositivos genéricos.

Es posible implementar las tareas de automatización utilizando otros recursos de control, como por ejemplo los PLC (controlador lógico programable), pero el costo en el desarrollo del sistema se elevaría en forma significativa.

Los dispositivos genéricos son desarrollos tecnológicos que se caracterizan por su sencillez en su software y robustez en su hardware. El núcleo de control es un microcontrolador.

Para implementar los dispositivos genéricos en áreas del control automático, se debe conocer el algoritmo que permita a un programador desarrollar un software para establecer una relación entre las variables analógicas sensadas y la acción de control, dicha tarea se denomina clasificación.

Existen diversas teorías relacionadas a la forma de clasificar las variables de estados y asociarlas posteriormente a una acción de control como por ejemplo la activación de un relé. En este trabajo solo se contempla la lógica condicional asociados a algoritmos desarrollados en diagrama de flujo.

Los diagramas de flujo facilitan programar los microcontroladores de forma rápida y sencilla. Existen en el mercado herramientas de programación en un entorno gráfico e interactivo, un ejemplo de ello es el Niple. Dicho programa ofrece dos modos de trabajo según el nivel de experiencia o conocimiento técnico del usuario. El primero se denomina usuario inicial y el segundo usuario experto. Contempla la posibilidad de crear y guardar librerías de usuario para trabajar en otros proyectos. La limitación que tiene este tipo de procedimiento es la generación de archivos de lenguaje de bajo nivel que dificulta la utilización de números con punto flotante y funciones matemáticas.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO DE CONTROL

El automatismo del sistema de climatización se realiza articulando un algoritmo, como se muestra en la figura 3, con un hardware denominado dispositivo genérico de bajo presupuesto. Vázquez et al (2012).

Los bloques representados en la figura 3 facilitan las tareas de programación para desarrollar el software de control. El bloque denominado A es el encargado de gestionar la adquisición de información wireless entre el master y el esclavo. Las variables radiación solar (r), humedad relativa (Hr1) y temperatura (T1) visualizado en la figura 1 se transmiten del esclavo al maestro. Éste obtiene la humedad relativa Hr2 y temperatura T2. Luego las variables muestreadas son promediadas.

El bloque B clasifica los estados térmicos de la habitación y habilita la acción de control en C, D y E.

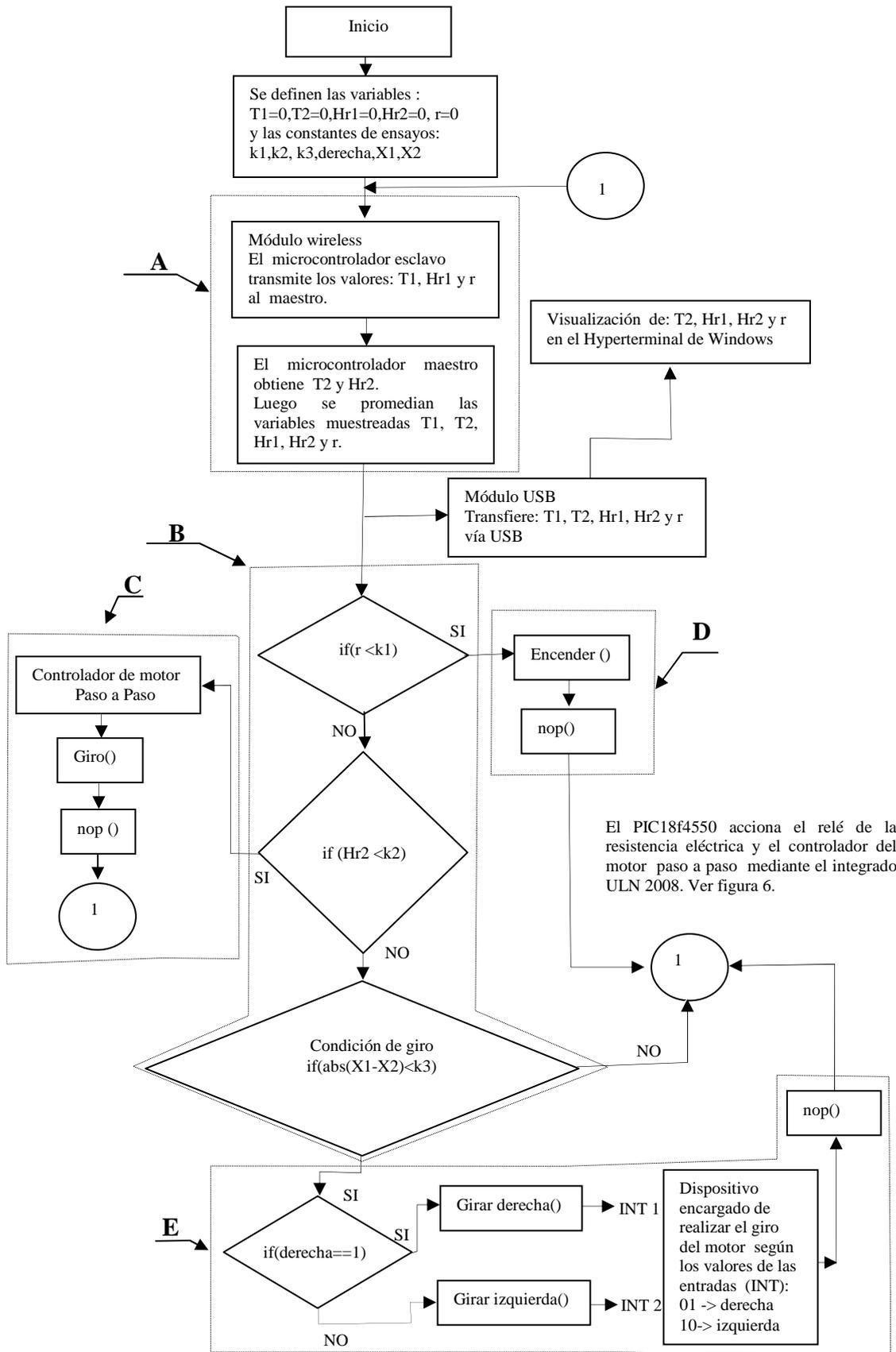


Figura 3: Algoritmo de control adaptado para climatizar una habitación

El bloque C controla el porcentaje de obstrucción de flujo de aire en el conducto ubicado en la rejilla de la habitación comparando Hr2 con k2. El bloque D acciona las resistencias eléctricas en aquellos días cuando la radiación solar es baja. Finalmente el bloque E realiza la acción de giro del cilindro cuando el sílica gel se satura de agua.

Condición de giro del cilindro que contiene sílica gel

Para realizar el giro del cilindro se tiene en cuenta que aproximadamente después de una hora y media de ensayo el panel de sílica gel se satura de agua, perdiendo su capacidad de adsorción. En ese momento el otro panel de sílica gel que se encuentra en el proceso de regeneración se lo hace girar, teniendo en cuenta la siguiente condición:

$$X1 - X2 \leq \% k3$$

Donde k3 es una constante de ensayo que se obtiene a partir de la diferencia de las humedades absolutas del aire a la salida y entrada del sílica gel (valor aproximado de 0.1 g_{agua}/kg_{as}). La humedad absoluta se obtiene a partir de la fórmula que está en función de la temperatura y la humedad relativa. Spotorno et al (2008).

El software de alto nivel denominado C facilita el cálculo de X1 y X2 debido a sus librerías matemáticas. En este sentido el Niple tiene una limitación en relación al punto flotante y la utilización de funciones matemáticas trascendentes como por ejemplo la exponencial.

En la figura 4 se representa una parte del bloque B donde clasifica la condición de giro del cilindro. Los valores de X1 y X2 se obtienen aplicando las ecuaciones escritas en las líneas de programa 108 y 109.

```

101 //Funciones encargadas de obtener las temperaturas y el grado de saturación
102 //del aire húmedo.
103 T1=gettermohigrometro(1);//Función encargada de obtener la temperatura del sensor 1.
104 Hr1=gettermohigrometro(2);//Función " " " el grado de saturación del sensor 1.
105 T2=gettermohigrometro(3);//Función " " " la temperatura del sensor 2.
106 Hr2=gettermohigrometro(4);//Función " " " el grado de saturación del sensor 2.
107 //Fórmula que obtiene la humedad absoluta según T y Hr
108 X1=(0.622*((0.0085*exp(0.0527*T1))*Hr1/100/(1.013-((0.0085*exp(0.0527*T1))*Hr1/100))))*1000;
109 X2=(0.622*((0.0085*exp(0.0527*T2))*Hr2/100/(1.013-((0.0085*exp(0.0527*T2))*Hr2/100))))*1000;
110 //Condición de giro del tambor de sílica gel
111 if(abs(X1-X2)<k3)//El valor de k3 se obtiene de ensayo.
112 {
113 if(fin_carrera_derecha_on)//Si el fin de carrera en el lado derecho del tambor esta en ON.
114 {
115     giro_tambor_izquierda();//Función encargada de girar el tambor a la izquierda.
116 }
117 if(fin_carrera_izquierda_on)//Si el fin de carrera en el lado izquierda del tambor esta en ON.
118 {
119     giro_tambor_derecha();//Función encargada de girar el tambor a la derecha
120 }
121 }

```

Figura 4: Código fuente encargado de realizar el giro del cilindro según la condición termodinámica de la habitación

Para implementar el software en la instalación se utiliza el compilador CCS C descrito por Brejio (2011). Luego empleando un grabador se transfiere el archivo a un hardware de control como se visualiza en la figura 5.

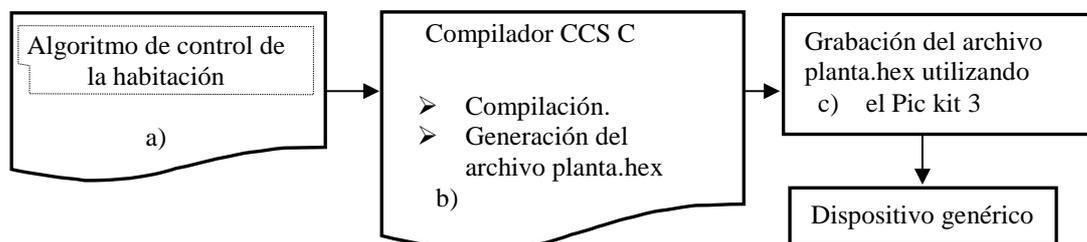


Figura 5:a) Algoritmo de control de climatización de la habitación

b) Compilador CCS C para microcontroladores

c) Grabador Pic kit 3 encargado de transferir el software de control automático al dispositivo genérico

El dispositivo genérico de la figura 6, posee un termohigrómetro SHT71, un LDR y un transceptor de alta frecuencia denominado TRF 2.4Ghz desarrollado por la empresa LAIPAC TECHNOLOGY. El SHT71 es un simple chip multisensor de humedad relativa y temperatura, el módulo comprende una salida digital calibrada. El compilador CCS C posee una serie de librerías que realizan conversiones analógicas digital de diez bit empleando funciones integradas permitiendo cuantificar la

señal analógica a digital como lo detalla Pérez et al (2008). La comunicación se realiza en forma transparente entre el master y el esclavo por medio de la antena wireless. Se destaca la comunicación vía USB debido a que en una primera etapa de automatización los valores Hr1, Hr2, T1, T2 y r se transmiten a una notebook para estimar las constantes k1, k2 y k3.

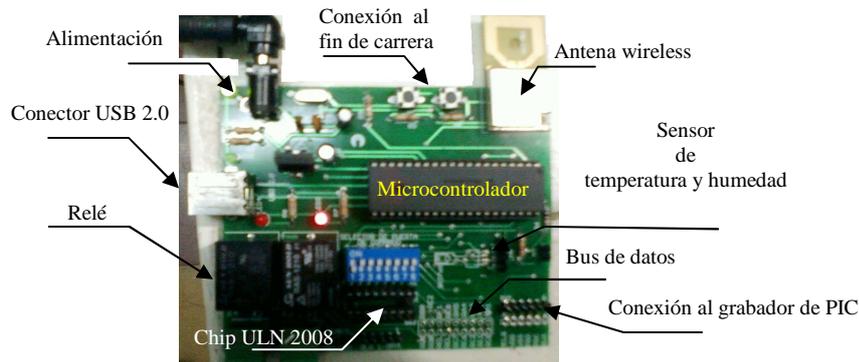


Figura 6: Dispositivo genérico de bajo presupuesto encargado del control electromecánico

PROCEDIMIENTO

Para realizar las tareas de medición, comunicación y control se utilizó un microcontrolador PIC18f4550 de la empresa Microchip. En la selección del microcontrolador intervinieron diversos factores como por ejemplo: capacidad de conectividad, números de puertos, conversión analógica digital de diez bits, bajo consumo, herramienta de desarrollo, disponibilidad de utilidades de software, herramientas de depuración y el soporte técnico del fabricante.

Se utilizan dos dispositivos genéricos, el primero es configurado como maestro y el segundo como esclavo. En una primera aproximación los valores adquiridos por los sensores y las tareas de control automático de cada hardware son emulados empleando un software de comunicación denominado hyperterminal de Windows.

La automatización de la planta debe trabajar como un solo sistema, y por ello se realiza una serie de ajustes para optimizar el software de control. En la figura 7 se muestra un esquema de trabajo en la puesta a punto del sistema electromecánico.

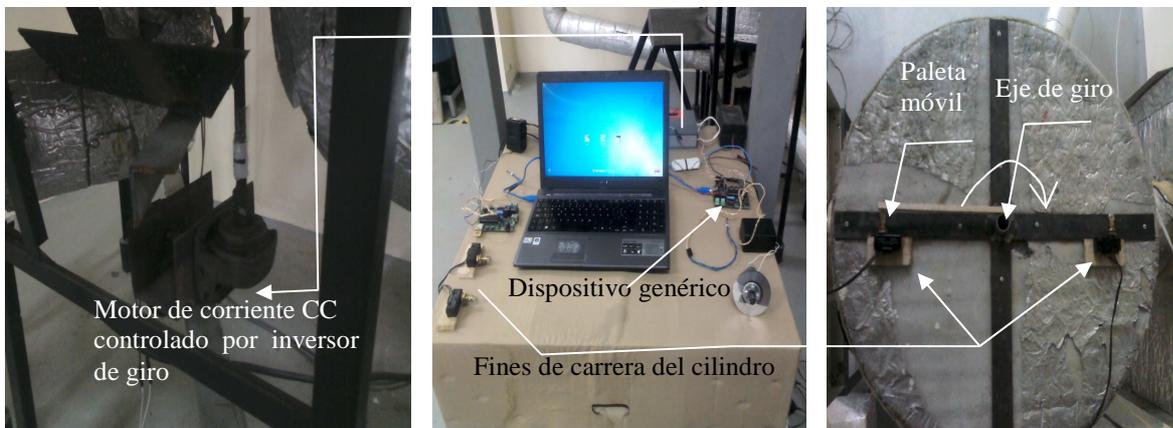


Figura 7: Esquema de trabajo en tareas de control y puesta a punto

Una vez obtenido un funcionamiento satisfactorio, se retira la notebook y el sistema funciona en forma automática.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un procedimiento para automatizar un sistema de climatización por compresión de vapor con implementación de desecantes sólidos regenerados con energía solar y calor residual del condensador, utilizando dispositivos genéricos de bajo presupuesto articulado con un software de alto nivel desarrollado a partir de un diagrama de flujo.

La metodología proporciona a un investigador, poco experimentado en programación y electrónica, implementar un sistema de automatización en forma sencilla. Debido a que los dispositivos genéricos se caracterizan por su adaptabilidad, confiriendo a los proyectos desarrollados con estas características una versatilidad y potencia elevada.

Las herramientas tradicionales de diseño de software y la comprobación del sistema no puede realizarse hasta obtener el desarrollo del prototipo real, esto genera semanas de retraso en el proyecto. Además, si se localiza algún inconveniente en el diseño de hardware, la totalidad del proceso debe repetirse.

Usando el desarrollo descripto se puede comenzar tan pronto como el diagrama de flujo este terminado, y la combinación de software y hardware se verifican antes de acoplar los dispositivos genéricos en el sistema de climatización.

Se eligió al compilador CCS C debido a su versatilidad y sencillo manejo. En especial se destaca el uso de librerías matemáticas que permitieron implementar la fórmula de humedad absoluta para aplicarla en la condición de giro del cilindro.

El presupuesto del proyecto es decir: los dos dispositivos genéricos, dos termohigrometros, seis relés mecánicos, motor paso a paso, motor de corriente continua y el control de sentido de giro asciende a un monto de \$1500. En ese sentido es posible utilizar un PLC, pero en este tipo de control no se justifica su utilización por su elevado costo y recursos.

REFERENCIAS

- Areny R. (1994). Sensores y Actuadores de Señal. 1ª edición. Capítulo 1 pp 25. Editorial Marcombo. Madrid. España.
- Breijo G. (2011). Compilado C CCS y Simulador PROTEUS para microcontroladores PIC. 1a edición. Capítulo 1 pp1. Editorial Marcombo. Madrid. España.
- Bula Silvera y Juvinao J.(2004). Comportamiento del gel de sílice como filtro deshumidificador en sistemas de acondicionamiento de aire por compresión de vapor. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. pp. 73-83.
- Pérez G., Alvarez A., Campos R. Ferrero J., Ortega G.(2008). Instrumentación Electrónica. 2 a edición. Capítulo 24 pp 635. Editorial Thomsom. Madrid. España.
- Spotorno R., Masdeu N., Pochettino J., Figueredo G., Benítez F. (2008). Primeros resultados experimentales de la operación continua de una planta piloto de climatización solar. Avances en energías renovables y medio ambiente. V 12 03.39-45.
- Spotorno R., Busso A., Figueredo G., Pochettino J., Benítez F. (2010). Primeros estudios termodinámicos en la mejora de sistemas de climatización por compresión de vapor mediante deshumidificación del aire de proceso utilizando desecantes regenerados con energía solar. Avances en energías renovables y medio ambiente. V14 03.11-18.
- Spotorno R., Busso A., Pochettino J., Figueredo G., Benítez F. (2011). Mejora de la eficiencia de un climatizador por compresión utilizando desecantes sólidos regenerados con energía solar. Avances energías renovables y medio ambiente. V15 03.25-31.
- Vázquez R., Robledo A., Toledo P., Masson L., Mariguetti J., Canali L.(2012). Desarrollo de un procedimiento para diseñar dispositivos genéricos multipropósitos. II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes. ISBN: 978-950-42-0142-7.

ABSTRACT

A procedure to automate a vapor compression air conditioning system with regenerated solid desiccant implementation of solar energy is exposed. The method consists of the articulation between generic algorithm automation with low hardware budget. A flow diagram is employed which facilitates the task of programming in a high level language. Furthermore, microcontroller compilers called CCS C are used to create the software responsible for managing electromechanical devices and analog measurements. Finally, the control software is recorded in an electronic development called generic device.

The algorithm used is an open source code and necessary knowledge of the hardware control implementation requires only a medium level in the area of programming and electronics. The procedure described allows a researcher to reduce time and effort in developing hardware and software, giving the developed projects with these features a high versatility and power.

Keywords: air conditioning, regeneration, automation, control algorithm.