

## **SISTEMA DE CONTROL DE GANANCIA SOLAR MEDIANTE MICROCONTROLADORES PIC: PRIMEROS RESULTADOS<sup>1</sup>**

**S. Flores Larsen<sup>2</sup>, D. Hoyos, J.C. Nieva y C.M. Valdiviezo**

INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa. - CONICET

Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital - Argentina

Tel. 54-387-4255424, Fax 54-387-4255489, E-mail: seflores@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Este trabajo presenta los primeros resultados del desarrollo de un sistema de automatización para la apertura y cierre de persianas de tipo americana. En el caso de edificios con estrategias solares de diseño, una automatización de este tipo es ideal debido a que permite aprovechar al máximo la energía solar disponible, evitar pérdidas energéticas debido al mal uso y optimizar el funcionamiento de los mismos. El sistema desarrollado utiliza tecnología de microcontroladores PIC de Microchip Inc. Se describe la tecnología de microcontroladores PIC utilizada, el módulo de control para las persianas y la interface gráfica que controla cada módulo. El diseño inicial brinda la posibilidad, en el futuro, de adicionar otro tipo de artefactos como módulos de carga de baterías mediante paneles fotovoltaicos, encendido de la iluminación interior, etc.

**Palabras clave:** ganancia solar directa, microcontroladores, automatización.

### **INTRODUCCIÓN**

La ganancia solar directa que ingresa al interior de las viviendas es uno de los factores que más influye en su temperatura interior (principalmente temperatura media y amplitud térmica diaria) y en el nivel de confort de sus habitantes. Es conocido el problema de viviendas que utilizan energía solar para su acondicionamiento térmico, cuyas eficiencias se ven disminuidas debido a que, por ejemplo, los usuarios dejan ingresar radiación excesiva en el interior de la misma provocando sobrecalentamiento (verano), deslumbramiento, o consumo innecesario de energía convencional debido al funcionamiento ininterrumpido de estufas que podrían estar apagadas en invierno (Flores Larsen et al., 2002; 2004a, 2004b; ). Este tipo de costumbres hecha por tierra el minucioso trabajo de diseño y análisis energético realizado para que el edificio funcione adecuadamente, aumentando el consumo de energía auxiliar, empeorando su eficiencia y llevando a sus habitantes a pasar grandes cantidades de tiempo fuera de la zona de confort higrotérmico.

Para optimizar este ingreso de radiación solar se desarrolló un sistema basado en la automatización de la apertura y cierre de persianas de tipo americana. En el caso de edificios con estrategias solares de diseño, una automatización de este tipo es ideal debido a que permite aprovechar al máximo la energía solar disponible, evitar pérdidas energéticas debido al mal uso y optimizar el funcionamiento de los mismos.

El sistema desarrollado utiliza tecnología de microcontroladores PIC de Microchip Inc., circuitos integrados programables de reducido tamaño con las prestaciones de una pequeña PC, que deben ser programados en un lenguaje especial (Angulo y Angulo, 1997; Cuenca et al., 1998). Se utilizan microcontroladores dedicados al control de cada una de las persianas. Se desarrollaron pequeños módulos que se ubican cerca de las ventanas y que se conectan a una PC en forma temporaria o permanente, de acuerdo a la elección del usuario. El diseño inicial brinda la posibilidad, en el futuro, de adicionar otro tipo de artefactos como módulos de carga de baterías mediante paneles fotovoltaicos, encendido de la iluminación interior, etc. En el futuro, se prevee interconectar estos módulos individuales mediante una red (bus serie I<sup>2</sup>C de Phillips) que proporcione al usuario información del estado de su vivienda mediante un programa visual simple e intuitivo manejado a través de una PC.

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

El módulo de cada ventana está comprendido por un microcontrolador PIC 16F873, un sensor de radiación ubicado en el exterior de la ventana, un sensor de temperatura interior (opcional) y una interface con el sistema mecánico (un pequeño motor, fines de carrera y acoples mecánicos) que está conectado a la persiana (ver Figura 1). La señal del sensor de radiación se acondiciona para que la tensión se encuentre dentro del rango que maneja el microcontrolador (0 a 5V). Este dispositivo recoge la señal analógica que le entrega el sensor a través de un conversor analógico digital de 10 bits incorporado al mismo y la compara con los valores que el usuario seleccionó, para determinar si la ventana debe abrirse o cerrarse y enviar al sistema mecánico la señal de control correspondiente. Actualmente está en proceso de prueba el sistema de acondicionamiento de la señal de control, que maneja la persiana mediante un sistema mecánico que permite subir y bajar dicha persiana.

<sup>1</sup> Trabajo financiado por CIUNSa N°1177 y 1332.

<sup>2</sup> Becaria de CONICET.

El usuario, mediante un programa visual amistoso, selecciona los niveles de radiación máximo, a partir del cual la persiana debe cerrarse, y mínimo, a partir del cual desea la persiana abierta. Si lo desea, el usuario puede incorporar al control un sensor de temperatura interior que funcione acoplado al sensor de radiación, de manera que la persiana se abra cuando las condiciones de radiación y de temperatura interior estén en el rango especificado por el usuario. Esta información se almacena automáticamente en el microcontrolador, para lo cual se realiza un proceso de grabación a través del puerto paralelo de la PC. Una vez grabado el microcontrolador, la PC puede apagarse y sólo necesitará ser encendida nuevamente si se desea cambiar alguno de dichos niveles. Esto permite que el sistema funcione independientemente de la PC.

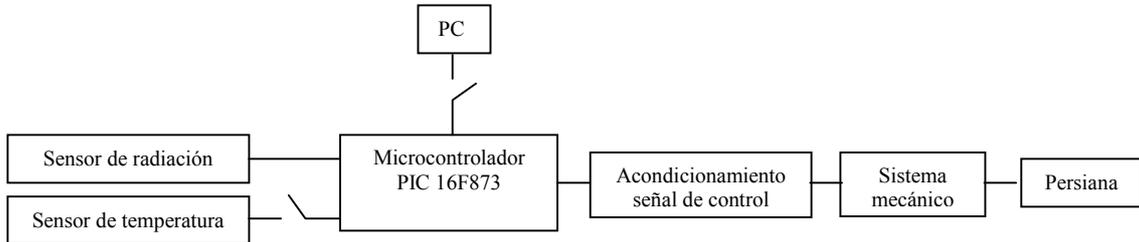


Figura 1: esquema del módulo de control de persianas.

Para sensar la radiación solar se utiliza una celda LDR, que varía su resistencia desde varios megaohms (en oscuridad) a algunos cientos de ohms (con buena iluminación). Estos dispositivos son muy económicos, pero tienen la desventaja de no ser lineales. En la Figura 2 se puede observar la relación entre la resistencia ( $\Omega$ ) y la irradiación ( $W/m^2$ ) para tres LDR de distintas características, obtenida experimentalmente con un medidor LICOR250. En la zona entre los 300 y 1000  $W/m^2$ , que abarca la mayor parte de la zona de trabajo, la respuesta del LDR puede considerarse lineal.

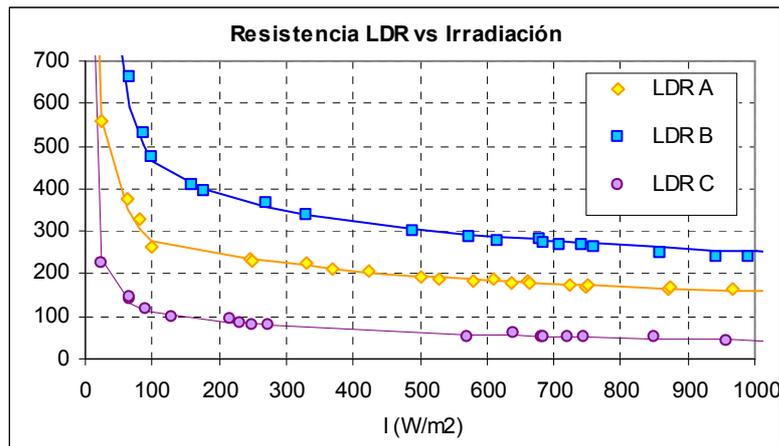


Figura 2: calibración de tres resistencias LDR diferentes. La irradiación solar se midió mediante un LICOR250. (marcadores: datos medidos; línea sólida: función de aproximación).

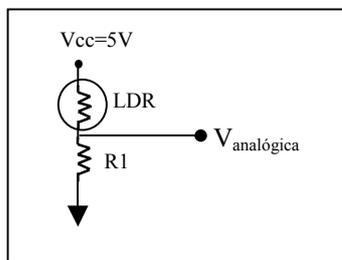


Figura 3: circuito de medida con LDR.  $V_{analógica}$  es la señal que ingresa al PIC.

El circuito de medida propuesto tiene el aspecto de la Figura 3. La resistencia  $R1$  debe elegirse de acuerdo al tipo de LDR. Se estudió la variación de la tensión de salida  $V_{analógica}$  (que es la que ingresa al CAD del microcontrolador) con respecto a  $R1$  y se determinó la  $R1$  óptima, que es la que permite la mayor sensibilidad a las variaciones de radiación del circuito. Las resistencias óptimas encontradas fueron: 170 ohm para LDR A, 270 ohm para LDR B y 50 ohm para LDR C (Flores Larsen y Hoyos, 2003).

Como la resistencia de la celda LDR y, en consecuencia, la tensión analógica que ingresa al microcontrolador, no tiene una variación lineal con la radiación solar recibida (lo cual se traslada a la señal digitalizada), es el soft del microcontrolador quien debe determinar si el nivel de radiación sentido es mayor que el nivel predeterminado por el usuario,

para así activar las señales de control para bajar las persianas. La tensión analógica que ingresa al microcontrolador cuando se utilizan las resistencias óptimas se graficó en la Figura 4. Se observa que el LDR más sensible es el LDR C.

El PIC 16F873 cuenta con un conversor análogo-digital (CAD) de 10 bits, con 6 canales de sensado y puertos digitales de entrada/salida de 8 bits (Microchip, 1994, 1995). El CAD fue probado con tensiones entre 0 y 5V, para lo cual se escribió un programa en lenguaje ensamblador propio de este tipo de microcontroladores. En la zona entre los 300 y 1200 W/m<sup>2</sup>, en que la respuesta del LDR puede considerarse lineal, la resolución del CAD es del orden de 6.3 W/m<sup>2</sup>, lo cual es más que suficiente para la aplicación en estudio. En la Figura 5 se muestra una fotografía del circuito impreso con el microcontrolador PIC.

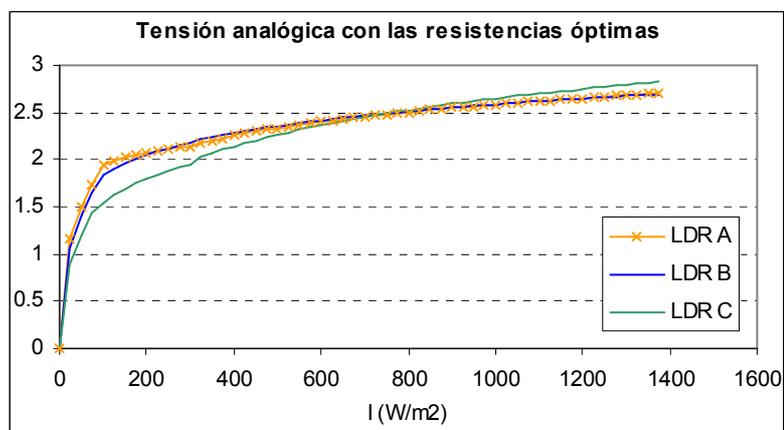


Figura 4: tensión analógica de entrada al CAD del 16F873 para cada LDR.

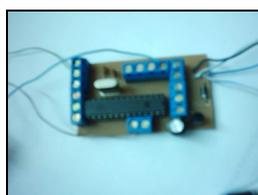


Figura 5: placa impresa con el microcontrolador PIC.

## DESCRIPCIÓN DEL SOFT

A fin de que el usuario interactúe de manera sencilla con este hard, se diseñó un entorno gráfico para Windows que permite dibujar un plano esquemático de la vivienda, ubicar los dispositivos que controlarán automáticamente la apertura y cierre de persianas y transferir la información desde la PC al dispositivo de control. El usuario selecciona por soft los niveles máximo y mínimo de radiación a los que desea que la persiana suba o baje, y el intervalo de temperatura a que desea mantener la vivienda. El soft se encarga de transferir estos datos al PIC, el cual sensa temperatura y radiación y decide qué acción de control realizar.

Para desarrollar el soft se utilizó VisualBasic, y se trabajó con dos módulos independientes: *HogArt*, que permite dibujar el esquema de la vivienda, y *CAV* (Control Automático de Vivienda), que permite ubicar los sensores sobre el esquema de la vivienda, modificar sus parámetros y comunicarse con el PIC para transferirlos.

### Breve descripción de *HogArt*

*HogArt* le brinda al usuario una herramienta gráfica con componentes sencillas, para realizar un esquema gráfico de su vivienda. No se buscó desarrollar un graficador de la potencia de Corel Draw o AutoCad, sino una herramienta muy simple y de uso intuitivo.

*HogArt* contiene un entorno gráfico con una única ventana, una Barra de Menú donde se encuentran todas las funciones, dos reglas (horizontal y vertical) con 4 medidas diferentes (píxel, centímetros, milímetros y pulgadas) y dos Barras de Herramienta adicionales (*Estándar*, con las funciones principales más utilizadas y *Dibujo*, con los objetos necesarios para dibujar el esquema). El programa permite hacer *zoom*, imprimir, tener una Vista Preliminar, etc.

Existen botones para dibujar una habitación (con sus paredes, ventanas y puertas), para agregar los accesorios (muebles, electrodomésticos, etc.) y textos (para agregar comentarios), los cuales pueden reubicarse o redimensionarse en el momento que sea necesario. Una vez finalizado el dibujo, el programa permite grabarlo (con extensión \*.NVC), reeditarlo cuando sea necesario, o exportarlo al programa *CAV*, presionando el botón *Exportar Imagen*.

### Breve descripción de CAV

Este programa contiene un entorno gráfico con ventanas múltiples para que el usuario pueda trabajar con varios proyectos en simultáneo (por ejemplo, en viviendas de dos o más pisos), una Barra de Menú donde se encuentran todas las funciones y una Barra de Herramienta Estándar con las funciones que más se utilizan.

Al comenzar un nuevo proyecto el usuario puede crear un esquema de la vivienda mediante *HogArt* o importar una imagen de un archivo gráfico (\*.bmp, \*.jpg, \*.jpeg, \*.gif, \*.wmf). Una vez incorporado el esquema, se insertan los controles gráficos de los sensores de temperatura y/o radiación. Estos controles gráficos contienen los valores máximos y mínimos de temperatura y radiación de los dispositivos, que el usuario puede configurar según sus necesidades. Una vez configurados los controles gráficos, mediante un botón de grabado el usuario envía la información al PIC a través del puerto paralelo. Cada vez que el usuario desee modificar los parámetros de los controles deberá encender la PC. Si dicha información no precisa modificación, la PC puede mantenerse apagada y el sistema funciona automáticamente.

El proyecto se almacena en dos archivos, uno con información sobre los controles gráficos (\*.C&C) y otro que contiene el esquema gráfico, ya sea generado por *HogArt* (\*.NVC) o por un graficador externo a la aplicación (\*.GRF). El proyecto puede ser modificado en el momento que el usuario lo requiera. El soft permite imprimir el esquema de la vivienda y la descripción y parámetros de los controles. En la Figura 6 se puede observar el esquema de una vivienda (realizado con *HogArt*), la ubicación de algunos sensores de radiación y temperatura y la barra de herramientas de *CAV*.

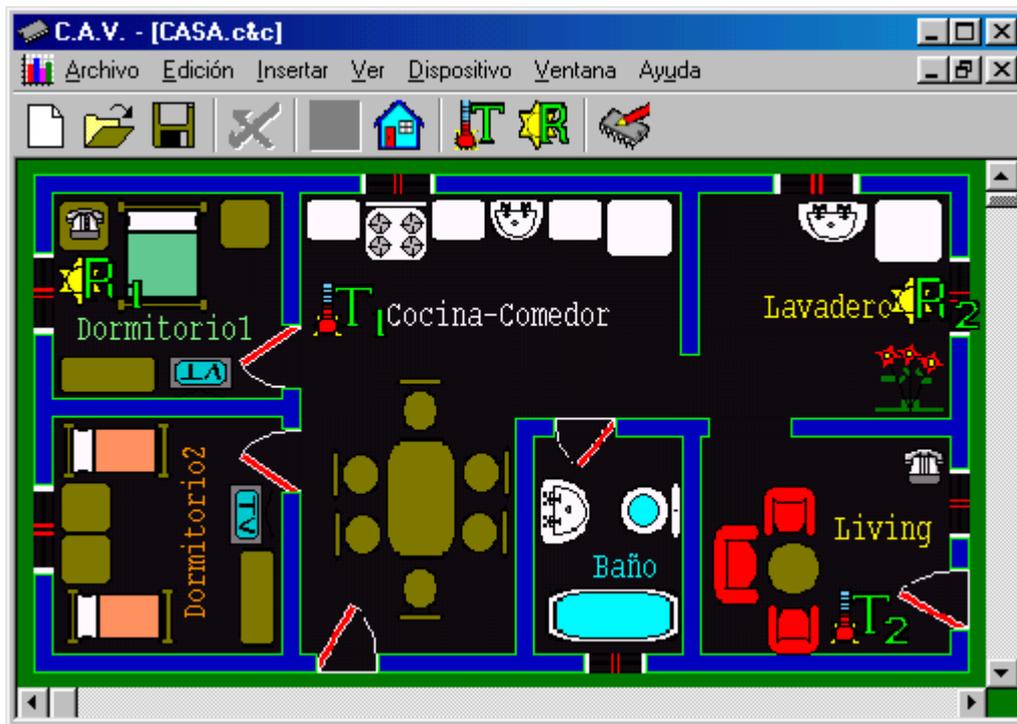


Fig 6: Una vista del programa CAV, en que se abrió un archivo gráfico realizado mediante *HogArt*, con la ubicación de los sensores de temperatura ( $T_1$  y  $T_2$ ) y radiación ( $R_1$  y  $R_2$ ).

### CONCLUSIONES

En el presente trabajo se aplicó tecnología de microcontroladores para el diseño de un sistema de automatización para control de ganancia solar directa. El sistema completo incluye un módulo con el microcontrolador, que se comunica con la PC a través del puerto paralelo y que permite transferir al dispositivo la información de configuración que seleccione el usuario. Un soft desarrollado especialmente permite al usuario contar con un esquema de su vivienda y de la ubicación de los módulos y sensores, configurarlos como desee y transferir la información desde la PC al microcontrolador de forma sencilla. Una vez grabado el PIC, la PC puede ser apagada, de forma que el módulo trabajará independientemente. Actualmente se encuentra en etapa de prueba el sistema mecánico que abrirá y cerrará la persiana.

En el futuro se pretende ampliar este sistema a una red de microcontroladores. Cada PIC funcionará como "esclavo" y la red será comandada por un PIC "maestro" mediante el protocolo I2C de comunicación serie desarrollado por Phillips. Mediante esta configuración, la PC se comunica únicamente con el "maestro", el cual se encarga de transmitir la información al "esclavo" correspondiente (ver Figura 7). Los microcontroladores PIC 16F873/4 ya tienen incorporados módulos para conexión I2C (Microchip 1994, 1995), con lo que la tarea de programación se simplifica enormemente.

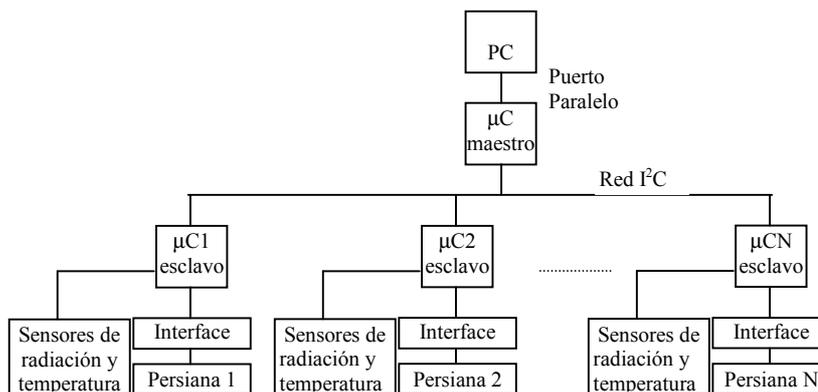


Figura 7: esquema del sistema ampliado a una red I2C.

## REFERENCIAS

- Angulo Usategui J.M., Angulo Martínez I. (1997). Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones, McGraw-Hill, Madrid.
- Carr J.J. (1984). Elements of microcomputer interfacing, Reston Publishing Company Inc., Virginia.
- Duffie A. y Beckman W. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons, Inc.
- Flores Larsen S., Filippín C. y Lesino G (2002). Simulación térmica de verano de un sector del bloque de residencias estudiantiles bioclimáticas en Santa Rosa, La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 6, ISSN 0329-5184, pp. 05.19-05.24, revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, año 2002.
- Flores Larsen S. y Hoyos D. (2003). Sistema de automatización para viviendas con estrategias solares de diseño: primeros avances. 10° Jornadas de Vivencia Universitaria, CIUNSa, 4 al 6 de Noviembre de 2003
- Flores Larsen S., Filippín C. y Lesino G (2004a). Monitoreo y simulación higrótérmica de verano de un conjunto de residencias estudiantiles bioclimáticas. I° Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e 10° ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ISBN 85-89478-08-04, San Pablo, Brasil, 18 al 21 de Julio de 2004.
- Flores Larsen S., Filippín C. y Lesino G. (2004b). Uso de acondicionamiento pasivo y calefacción en una escuela rural en Algarrobo del Águila, Argentina. XII Congreso Iberico y VII Congreso Ibero Americano de Energía Solar, pp. 97-102, ISSN CD 84-609-2264-2, Vigo, España, 14 al 18 de septiembre de 2004.
- Microchip Technology Inc. (1994). Embedded Control Handbook, USA.
- Microchip Technology Inc. (1995). PIC16/17 Microcontroller Data Book, USA.
- Cuenca E.M., Angulo Usategui J.M., Angulo Martínez I. (1998). Microcontroladores PIC, Editorial Paraninfo, Madrid.

## DIRECT SOLAR GAIN CONTROL WITH PIC MICROCONTROLLERS: PRELIMINARY RESULTS

**ABSTRACT:** The preliminary results of the development of an automation system for opening and closing of Venetian blinds are presented. When a building design includes passive solar strategies, the automation is an ideal way to profit the available solar energy, to avoid energy losses due to misuse of blinds and to optimize the functioning of buildings. The system uses PIC microcontrollers of Microchip Inc. The PIC implementation, the control module for Venetian blinds, and the graphic interface controlling each module are described. The design allows to include, in a future, other kind of systems, as modules for battery charging with photovoltaic panels, switching of electric lights, etc.

**Keywords:** direct solar gain, microcontrollers, automation.