

Desarrollo de sistema de control inteligente para administración de potencia generada por paneles solares

CARRILLO-GAONA, Ricardo Eduardo*†, MORA-DEL BOSQUE, Jessica Esperanza, LIÑAN-GARCÍA, Ernesto y GOMEZ-JIMENEZ, Ramón

Centro De Desarrollo Y De Estudios Avanzados Delta, Facultad De Sistemas De La Universidad Autónoma De Coahuila, Facultad De Sistemas De La Universidad Autónoma De Coahuila,

Recibido Julio 5, 2017; Aceptado Septiembre 20, 2017

Resumen

En la actualidad la automatización es utilizada en las ramas industriales, al igual como en ambientes no industriales: casas habitación, oficinas, escuelas, hospitales, etc. En el ámbito de la investigación de energías verdes, la automatización unida a diferentes herramientas nos permite mejorar los sistemas ya existentes. Un ejemplo son los sistemas de paneles solares, pueden ser autónomos o interconectados con CFE, en el primero se cuenta con un banco de baterías las cuáles serán las encargadas de suministrar energía al momento de que la producción decaiga, mientras que en el sistema interconectado la casa se alimentará de los paneles y CFE, la ventaja de este método es que si la producción supera al consumo este excedente se vende a CFE. El sistema propuesto permite cambiar el tipo de alimentación, entre la energía producida y la suministrada por CFE, teniendo un sistema inteligente capaz de decidir en qué momento utilizar cada una de las fuentes, comparando la energía producida, almacenada y demandada; tomando la decisión de en qué momento energizar con CFE o con los recursos producidos, a un conjunto de aparatos críticos, permitiendo que el excedente se almacene y solo se consuma la cantidad mínima necesaria.

Panel, IA, Solar

Citación: CARRILLO-GAONA, Ricardo Eduardo, MORA-DEL BOSQUE, Jessica Esperanza, LIÑAN-GARCÍA, Ernesto y GOMEZ-JIMENEZ, Ramón. Desarrollo de sistema de control inteligente para administración de potencia generada por paneles solares. Revista del Desarrollo Tecnológico 2017, 1-3: 1-7

Abstract

To supply energy a house by applying energy from two sources: a solar panel system and a public electricity network. The solar panel refers to a panel designed to absorb the sun's rays as a source of energy for generating electricity by using a battery bank. The system can be autonomous or interconnected to the public electricity network. When is autonomous, the system supply energy from a battery bank. When is interconnected with the public network, the systems supply energy from the solar panels and the Federal Commission of Electricity. At the time that production declines, the interconnected system will supply energy to the home of the two sources. The advantage of this approach is that if production exceeds consumption, the surplus is sold to CFE. The proposed system allows to exchange the energy source in a dynamic way in relation to the energy consumption of the house. This system is intelligent and it decides when to use one source or another. Performs a comparison of energy produced, stored and demand. The system makes the decision to supply the energy of the house in function to the consumption of the energy of the house.

Solar, Energy, IA

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ricardo.carrillo1989@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Un sistema fotovoltaico (SFV) o de energía solar mejor conocido como sistema de paneles solares, tiene como finalidad la transformación de la energía solar en energía eléctrica, directamente a través de la transformación de la radiación solar o indirectamente por medio de la transformación del calor producido por la radiación en energía eléctrica.

Esta transformación se realiza mediante las celdas de Silicio mono cristalino, la cual es la tecnología más utilizada en la fabricación de paneles solares, siendo formado por un conjunto de celdas, también llamadas obleas, las cuales producen 0.5 volts de corriente continua (Vcc) y la corriente (I) que entrega está directamente relacionada a las dimensiones de esta, el voltaje producido por las oblea es insuficiente e incompatible para alimentar a los aparatos eléctricos que se encuentran en cualquier casa habitación y/o en la industria dado que estos se alimentan con voltaje de corriente alterna (Vca) y los valores nominales son de 120, 220, 440 Vca.

Dado que las obleas no son capaces de producir estos niveles de voltaje y corriente, estas son interconectadas en serie para aumentar el voltaje y encapsuladas en módulos individuales, los cuales posteriormente se conectan en paralelo para aumentar la corriente producida por el sistema en general, los arreglos comerciales más típicos se muestran en la tabla 1.

Número de celdas en serie	Potencia producida
36	20 a 200 W
54	100 a 200 W
60	200 a 300 W
72	260 a 320 W
80	250 a 330 W
96	310 a 350 W

Tabla 1 Configuraciones de módulos comerciales de paneles solares

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del CEENER 2016

Existe una amplia gama de SFV siendo el de un uso más común el sistema fotovoltaico interconectado a la red (SFVI), el cual ésta formado por un módulo de paneles fotovoltaicos, un inversor y un medidor bidireccional como se muestra en la figura 1, el primero produce la energía eléctrica y el inversor debe adecuarla tanto en el tipo, nivel y frecuencia, toda energía eléctrica producida debe de tener los valores especificados por la CFE para México los cuales son 110-127 Vca a 60 Hz.

Cumpliendo con estas condiciones, CFE proporciona un medidor bidireccional, el cual mide tanto la potencia consumida y la potencia suministrada, si el consumo excede la potencia suministrada quedará un saldo negativo, a retribuir ante CFE, en caso contrario si se suministra más de lo que se consume quedará un saldo a favor a consumirse en un tiempo máximo de 12 meses, no pudiendo convertirlo en efectivo y al termino del año el saldo a favor desaparecerá en caso de no utilizarse.

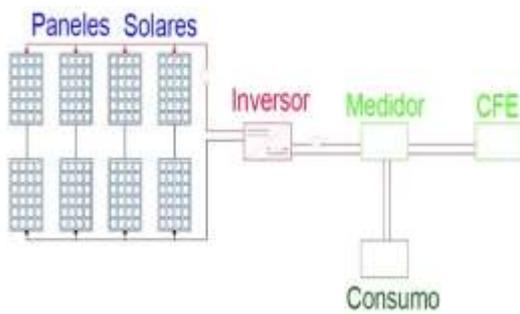


Figura 1 Estructura del sistema interconectado

Fuente: (Cardozo Piña, 2014)

Lo que genera una área de oportunidad, debido a que el aporte inyectado a las líneas de la paraestatal al cumplirse el año de vigencia no podrá ser recuperado, un sistema de alimentación híbrida nos permitirá eliminar el suministro de nuestro energético a CFE, permitiendo controlar con que fuente de alimentación se le suministrara la potencia a uno o varios aparatos en concreto, no controlando el encendido o apagado del mismo, solamente controlando el tipo de alimentación, almacenando el exceso de producción para nuestro propio consumo en un futuro, eliminando los factores del contrato de interconexión y el tiempo de vigencia del recurso.

En la segunda sección se explica la etapa de selección y programación del hardware, así como el protocolo de comunicación seleccionado, en la tercera sección se describirá la estructura de los microcontroladores, los cuales administraran diferentes áreas de la casa habitación, en la cuarta sección se muestra la interfaz gráfica diseñada para el usuario y por último en la quinta y sexta sección se muestran los resultados obtenidos y las conclusiones de los experimentos realizados.

Microcontroladores

El microcontrolador seleccionado para el desarrollo del sistema de control fue el PIC16F877A, basándose en la comparación que muestra en la tabla 2 y la experiencia en proyectos anteriores, se programó utilizando un lenguaje de alto nivel en "C", utilizando una estructura Maestro/Esclavo por comunicación I²C.

Característica	ATMEGA328	PIC16F877A
BIT'S	8	8
PUERTOS I/O	23	35
PINES	32	40
PWM	6	2
ADC	6	13
SERIAL	SI (I ² C)	SI (I ² C)
TIMERS	3	4
USB	No	No
Frecuencia de trabajo	20 MHz	20 MHz
Oscilador	Interno o externo	Interno
Maestro/esclavo	SPI	SPI, I ² C
Voltaje	1.8-5.5 Vcd	2-5.5V
Corriente	2 mA	3 mA
Memoria	32 KB	32 KB
Registros	32	1

Tabla 2 Comparación entre opciones de microcontroladores

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de las datasheet de ambos microcontroladores

El microcontrolador Maestro es el encargado de escuchar constantemente al CPU a través de un conversor serial/USB y mediante los periféricos habilitados mediante la multiplexión del puerto serial con el protocolo RS232 como se muestra en el código, donde el Maestro se comunica con el CPU y está preparado para comunicarse hasta con tres microcontroladores direccionadores.

```
#use rs232(baud=9600, parity=N,
xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, bits=8,
stream=CPU)
#use rs232(baud=9600, parity=N,
xmit=PIN_C4, rcv=PIN_C5, bits=8,
stream=M1)
#use rs232(baud=9600, parity=N,
xmit=PIN_D2, rcv=PIN_D3, bits=8,
stream=M2)
#use rs232(baud=9600, parity=N,
xmit=PIN_D4, rcv=PIN_D5, bits=8,
stream=M3)
```

Los datos que se reciben son los elementos que se requieren para controlar los aparatos en las diferentes áreas de la casa habitación y son los siguientes, los cuales son obtenidos por el microcontrolador por el comando "GETC":

```
output_bit(PIN_B7,1); inicio=getc(CPU);
delay_ms(5);
output_bit(PIN_B7,0); area=getc(CPU);
delay_ms(5);
output_bit(PIN_B7,1); aparato=getc(CPU);
delay_ms(5);
output_bit(PIN_B7,0); estado=getc(CPU);
delay_ms(5);
output_bit(PIN_B7,1);
alimentación=getc(CPU); delay_ms(5);
output_bit(PIN_B7,0); fin=getc(CPU);
delay_ms(5);
```

El microcontrolador encargado de controlar los aparatos del área de la sala, utilizando para este caso la televisión y el clima, procesa los datos recibidos y realiza las acciones indicadas, dichos cambios se realizan cambiando el estado de los pines que activan la alimentación de los aparatos, ya sea energizando con energía de los paneles solares o con energía de CFE, las instrucciones utilizadas se muestran en el siguiente fragmento de código, teniendo como estado "0" el apagado y el estado en "1" de encendido, de dicha fuente de alimentación.

El criterio para decidir cuál elemento será migrado es tomado por la IA del sistema experto (SE), la cual está realizada en Prolog, el SE ignora los aparatos que se encuentran apagados al tomar la información de la base de datos.

```
if(aparato==35){ //identifica el aparato
if(estado==255){ //identifica si esta encendido
el aparato
if(alimentación==15){ //identifica si debe ser
alimentado con paneles
output_bit(PIN_B5,0);
delay_us(833);
output_bit(PIN_B6,1);}
if(alimentación==255){ //identifica si debe ser
alimentado con CFE
output_bit(PIN_B6,0);
delay_us(833);
output_bit(PIN_B5,1);} }
if(estado==15){ //identifica si el aparato debe
estar apagado
output_bit(PIN_B5,0);
output_bit(PIN_B6,0);} }
```

El tiempo en el que se tiene que realizar el cambio de alimentación debe de ser menor al 10% del tiempo de un ciclo de corriente alterna, el cual es de 1.6 milisegundos, esto se debe a que se tiene un estándar en los aparatos eléctricos y si por algún motivo estos dejan de recibir energía eléctrica por un tiempo mayor al 10% este podría apagarse.

Debido a que se debe de considerar tanto el semiciclo negativo como el positivo, el porcentaje de control se reduce al 5% en cada uno de ellos, obteniendo como tiempo máximo para controlar el aparato de 833 microsegundos, después del cruce por cero de la corriente alterna.

Diseño del circuito impreso

El PCB se diseñó con el objetivo de tener un prototipo más estable en su comportamiento evitando, el cual se describe en el código antes mostrado, evitando así los falsos contactos entre los componentes electrónicos, el protoboard y los cables de alimentación.

Para lo cual en primera instancia se desarrolló el esquemático el cual se muestra en la figura 2 del microcontrolador maestro el cual debe de contar con dos puertos seriales. El primero para comunicarse con la computadora y el segundo para comunicarse con el microcontrolador direccionador el cual se muestra en la figura 3, contando con tres puertos seriales el primero cumpliendo la función de comunicación antes mencionada y el resto de los puertos se dedican a un área en específico en este caso particular con la sala y el comedor.

El esquemático de la etapa de cambio de alimentación, de una de estas áreas se muestra en la figura 4 y la etapa de conmutación está formada por optoacopladores y triacs.

En esta etapa del diseño, el optoacoplador recibe una señal, la cual le indica con cual fuente de alimentación energizar el aparato en cuestión, dicha señal es enviada por el microcontrolador encargada del área enviando un “0” o un “1” según se lo indique el sistema.

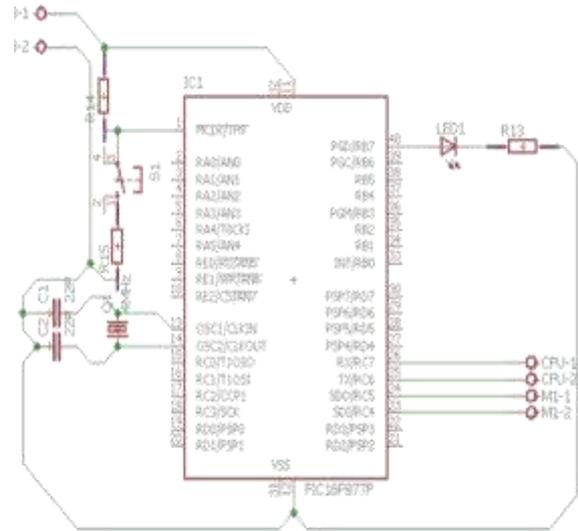


Figura 2 Esquemático del microcontrolador Maestro

Fuente: Elaboración propia

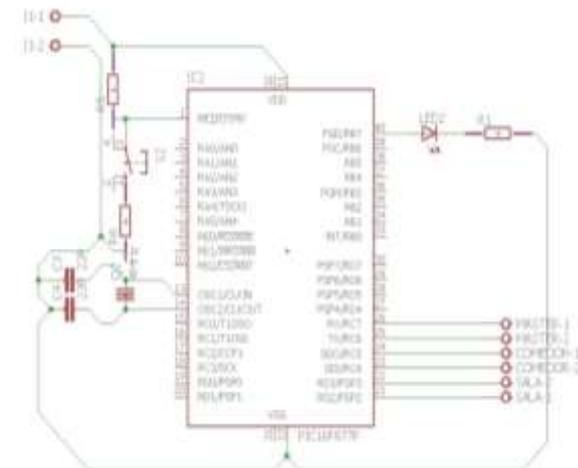


Figura 3 Esquemático del microcontrolador Direccionador

Fuente: Elaboración propia

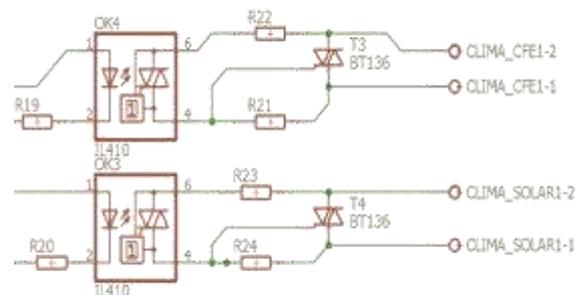


Figura 4 Esquemático de la etapa de cambio de alimentación

Fuente: Elaboración propia

El conjunto de esquemáticos mostrados fueron exportados a una tablilla en la cual se realizó el PCB como se muestra en la figura 5, con la función de autoruteo se colocó la tierra como ancla para las 4 tarjetas individuales y puedan ser fabricadas a futuro.

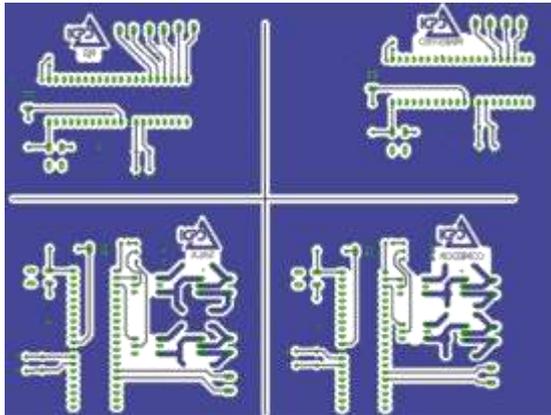


Figura 5 Diseño final del PCB

Fuente: Elaboración propia

Interfaz de usuario

La interfaz de usuario se muestra en la figura 6, esta se desarrolló en el software LabVIEW, debido a que este es capaz de comunicarse tanto con MS SQL el cual es el encargado de administrar la base de datos, la cual es modificada por la IA, debido que la Prolog y MS SQL no cuentan con salida por puerto serial es un punto crucial para el uso de LabVIEW el cual si cuenta con salida por este puerto a través del protocolo RS232.

En la interfaz el usuario es capaz de ver todos los aparatos que se encuentran en su casa habitación mediante la tabla en la parte inferior, este puede ir cambiando de área con la perilla que se encuentra en el centro y de esta forma ir evaluando cada parte de su casa habitación, de igual manera puede observarlo en la parte superior izquierda de manera individual, donde le muestra el tipo de aparato eléctrico.

Los leds le informaran de manera visual iluminándose cuando este con paneles solares o con CFE, en el led “estado” estará iluminado cuando el aparato este encendido.

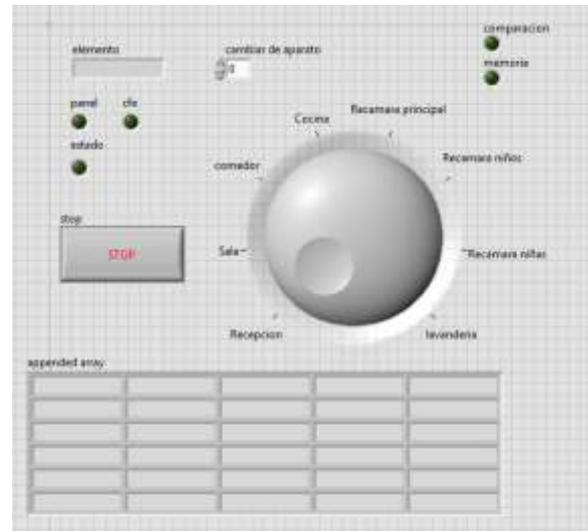


Figura 6 Diseño de la interfaz de usuario

Fuente: Elaboración propia

Resultados

El sistema fue capaz de mostrar en la interfaz de usuario el estado de cada una de las áreas de la casa habitación, siendo alimentando de dicha información por la base de datos, una vez obtenida la información fue enviada con éxito a los microcontroladores, los cuales ya estaban en su PCB y fueron capaces de controlar dos áreas en específico, con un aparato en cada una de ellas en la primera prueba física, realizada.

Como criterio del correcto funcionamiento del sistema, se propuso que el aparato al momento de realizar la conmutación de su fuente de alimentación, este no sufriera una interrupción en el proceso, esto debido a que se exceda el tiempo de conmutación de 833 microsegundos.

Conclusiones

El sistema inteligente de Prolog fue capaz de realizar el intercambio de alimentación en la base de datos, realizando un cambio en la variable alimentación por medio de un "UPDATE" al aparato o aparatos en cuestión, la cual puede cambiar de "0" a "1" o viceversa, con lo cual LabVIEW detecta el cambio y procede a enviar los datos al microcontrolador maestro y este procede a enviar dichos datos al respectivo esclavo, el cual realizara el cambio en el estado de alimentación en el microcontrolador de la sala, cambiando la alimentación entre una fase V y W de una línea trifásica de 220 Vca como línea viva y el neutro, simulando de esta forma el control de alimentación entre la línea viva de los paneles solares y la línea viva de CFE.

Referencias

- Cardozo Piña, A. (2014). *Cálculo y diseño de sistema solar fotovoltaico para uso doméstico*. Master's thesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
- CFE. (2007). *Especificación para la Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW*. Tech. rep., Comisión Federal de Electricidad.
- CFE. (2009). *Energías Renovables. Interconexión a la red eléctrica*. Tech. rep., Comisión Federal de Electricidad.
- CFE. (2014). LEY DE LA INDUSTRIA ELECTRICA. *Diario Oficial de a Nacion*.
- Cuevas, J. C., Martínez, J., & Merino, P. (2008). *El Protocolo x10: Una solución Antigua*.
- Delgado Trujillo, E. (2010). *Diseño de una instalación eléctrica de un comedor industrial por medio de generación distribuida*. Master's thesis, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería Eléctrica - Electrónica.
- Gomez, G. a. (2006). *Crear, Modificar y Abrir Conexiones ODBC. Generacion de Cubos OLAP*. Tech. rep., Universidad de La Laguna.
- Halvorsen, H. P. (2011). *Data Communication in LabVIEW*. *Hogskole i Telemark*.
- INEGI. (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Coahuila de Zaragoza 2016*. Tech. rep., INEGI.
- INFONAVIT. (2014). LEY DEL INSTITUTO DEL FONDO NACIONAL DE LA VIVIENDA PARA LOS TRABAJADORES. *Diario Oficial de a Nacion*.
- Microchip. (2008). *Using the PICmicro SSP for Slave I2C Communication*. techreport, Microchip Technology Inc.
- Microhip. (2013). *MPASMT Assembler User's Guide*. Tech. rep., Microchip Technology Inc.
- Nuño García, F. (2008). *Comunicación serie para sistemas basados en microcontroladores PIC*. ATE Universidad de Oviedo.
- Pallas, F. E., & Valdes, R. (2009). *Microcontrollers*. CRC Press. 2009. CRC Press. Obtenido de <https://www.amazon.com/Microcontrollers-Press-FERNANDO-PALLAS-AREN-Y-VALDES-PEREZ/dp/B01N7DG1EV?SubscriptionId=0JYN1NVW651KCA56C102&tag=techkie-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=B01N7DG1EV>
- Tavernier, C. (1998). *Microcontroladores PIC (Spanish Edition)*. Paraninfo. Obtenido de <https://www.amazon.com/Microcontroladores-PIC-Spanish-Christian-Tavernier/dp/8428323739?SubscriptionId=0JYN1NVW651KCA56C102&tag=techkie-20&linkCode=xm2&camp=2025&creative=165953&creativeASIN=8428323739>