

# SIDEPIC-USB, UNA HERRAMIENTA PARA EL APRENDIZAJE DE LOS MICROCONTROLADORES PIC

LM. MENÉNDEZ <sup>1,2</sup>, L. FERNÁNDEZ <sup>2</sup>, C. QUINTANS <sup>2</sup>, E. MANDADO <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empresa Técnicas Formativas S,L.

<sup>2</sup> Instituto de Electrónica Aplicada Pedro Barrié de la Maza. Universidad de Vigo

*Este trabajo presenta un sistema integrado para el aprendizaje de los microcontroladores PIC. El hardware consiste en una placa de desarrollo que se comunica con el computador vía USB para programar rápidamente el microcontrolador conectado en la misma, mediante un programa que se ejecuta en el computador. La placa contiene también los periféricos indispensables para desarrollar prácticas con microcontroladores o implementar sistemas de control complejos.*

## 1. Introducción

Los microcontroladores se utilizan en numerosas aplicaciones industriales y domésticas. En ambos casos existen en el mercado sistemas electrónicos de diverso grado de complejidad y prestaciones. Debido a ello que el aprendizaje de la estructura, funcionamiento y aplicación de los microcontroladores tiene cada día mayor interés, no solo para los técnicos especializados en electrónica, sino también para los expertos en otras ramas de la tecnología.

Por otra parte, la norma USB de comunicación entre un computador y sus periféricos permite realizar sistemas integrados para mejorar el aprendizaje de los dispositivos y circuitos electrónicos [1], entre los que se encuentran los microcontroladores.

El sistema integrado para la enseñanza de los microcontroladores PIC [2,3,4], descrito en esta comunicación, consta de una placa de desarrollo (SiDePIC-USB), un sistema hipermedia en el que se describen los conceptos teóricos, y un conjunto de recursos de programación para facilitar la utilización de la citada placa.

## 2. Placa de desarrollo SiDePIC-USB

La placa de desarrollo SiDePIC-USB es una versión actualizada de la placa SiDePIC. Como características que mejoran las prestaciones de la misma, se pueden señalar:

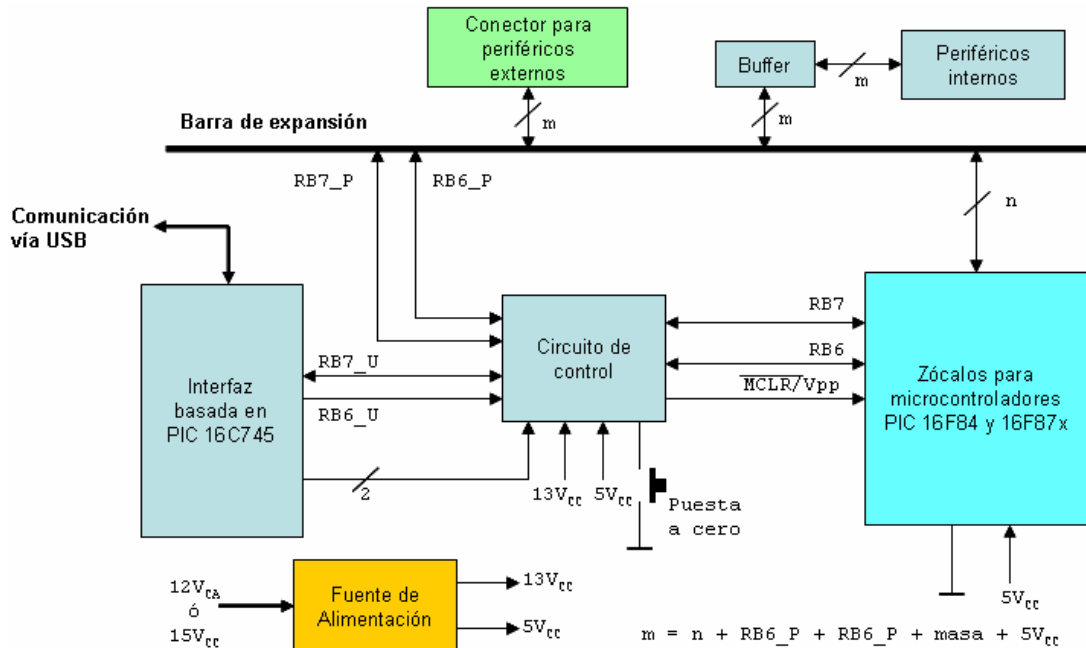
- La conexión entre el computador y la placa de desarrollo se realiza a través de una interfaz USB [5], que realiza la transferencia de datos a elevada velocidad.
- El hardware es muy sencillo, debido a que el controlador de la comunicación y de la grabación del programa en el microcontrolador es a su vez un microcontrolador, fabricado también por Microchip.
- El software de control que se ejecuta en el computador está desarrollado a medida y se adapta muy bien a las características de la placa.

La placa de desarrollo posee, además, las siguientes características generales:

- Contiene los periféricos necesarios para diseñar y verificar sistemas digitales de cierta complejidad
- Tiene la capacidad de expansión suficiente para añadirle otros elementos y desarrollar sistemas más complejos.
- Se puede utilizar para realizar prototipos de sistemas basados en microcontroladores PIC sin necesidad de implementar un sistema electrónico propio.
- Realiza automáticamente la conmutación del estado de programación de la memoria de programa al estado de ejecución.

El sistema SiDePIC-USB, cuyo diagrama de bloques se representa en la figura 1, consta de los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación
- Interfaz de conexión con el puerto USB del computador
- Circuitos de control
- Dispositivos periféricos internos
- Conectores de expansión para periféricos externos
- Zócalos para la inserción de microcontroladores PIC



**Figura 1.** Diagrama de bloques de la placa de desarrollo SiDePIC-USB

## 2.1 Fuente de alimentación

Es el elemento encargado de suministrar a SiDePIC-USB la tensión continua de +5V y corriente máxima de 1A (incluidos todos los elementos contenidos en la placa cuando están desinhibidos). También suministra la tensión continua,  $V_{pp}$ , de +13V para grabar la memoria de programa del PIC.

La fuente de alimentación de SiDePIC-USB se puede utilizar para alimentar sistemas externos a través de sus conectores de expansión pero debe tenerse en cuenta la limitación de corriente antes citada y el consumo de los periféricos que estén habilitados en cada caso.

## 2.2 Interfaz de conexión con el puerto USB del computador

SiDePIC-USB posee un circuito de interfaz con el puerto USB de un computador personal en el que se ejecuta el programa de grabación del microcontrolador.

La interfaz consta de un PIC16C745, que tiene un procesador de comunicación USB 1.1. En el programa que se ejecuta en este dispositivo están implementadas las siguientes funciones:

- Recepción y transmisión de datos a través del puerto USB.
- Control de la placa durante el proceso de grabación.
- Generación de las señales de reloj (CLK) y datos (DIO) para la programación en serie del PIC conectado en uno de los zócalos de la placa.

## 2.3 Circuitos de control

SiDePIC-USB posee dos circuitos de control:

- El circuito de control del modo de funcionamiento.

- El circuito de control de la inicialización.

### ***Circuito de control del modo de funcionamiento***

SiDePIC-USB posee dos modos de funcionamiento, denominados modo de programación y modo de ejecución, seleccionados mediante uno de los terminales del PIC16C745, que constituye la interfaz USB.

Dicha señal controla el terminal de selección de tres multiplexores de dos canales.

Cuando la señal de control está en nivel "1", SiDePIC-USB está en modo de programación y los terminales RB6/CLK, RB7/DIO y /MCLR del microcontrolador PIC colocado en uno de los zócalos de la placa, quedan conectados de la forma siguiente:

- El terminal RB6/CLK al terminal de salida del reloj de programación del PIC16C745 de la interfaz USB.
- El terminal RB7/DIO al terminal RB7 del PIC16C745 de la interfaz USB.
- El terminal /MCLR a la salida de +13V de la fuente de alimentación.

Cuando la señal de control está en nivel "0", SiDePIC-USB está en modo de ejecución y los terminales RB6/CLK, RB7/DIO y /MCLR del microcontrolador PIC colocado en uno de los zócalos de la placa, quedan conectados de la forma siguiente:

- El terminal RB6/CLK a los periféricos visualizadores y al conector de expansión
- El terminal RB7/DIO a los periféricos visualizadores y al conector de expansión
- El terminal /MCLR a la salida de +5V de la fuente de alimentación.

### ***Circuito de inicialización (RESET)***

La inicialización del microcontrolador PIC colocado en uno de los zócalos de la placa se realiza mediante el mismo terminal /MCLR utilizado para aplicar la tensión de programación.

El nivel de tensión del terminal /MCLR se establece mediante un circuito controlado por dos terminales del PIC16C745 de la interfaz USB.

De acuerdo con la combinación de salida presente en los terminales de control, la tensión aplicada al terminal /MCLR del microcontrolador PIC conectado en uno de los zócalos de la placa puede ser +5V (modo Ejecución), +13V (modo Programación) ó 0V (RESET).

/MCLR se pone también a nivel cero cuando el usuario acciona el pulsador de reinicio del sistema.

## **2.4 Dispositivos periféricos internos**

SiDePIC-USB contiene un conjunto de periféricos básicos, conectados directamente a los terminales del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa. Dichos periféricos permiten ejecutar acciones de entrada/salida sin conectar ningún elemento adicional y están divididos en dos grupos:

- Periféricos de entrada
  - Un potenciómetro para aplicar una tensión entre 0 y +5V a uno de los terminales de entrada analógica del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa.
  - 8 microconmutadores de tres posiciones para aplicar combinaciones digitales a los puertos de entrada del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa.
  - Un micropulsador para aplicar impulsos al terminal de entrada de interrupciones externas del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa.
- Periféricos de salida

Están constituidos por una barra de diodos luminiscentes (D5) y tres elementos visualizadores de 7 segmentos que comparten el puerto B del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa.

## 2.5 Conectores de expansión para periféricos externos

SiDePIC-USB tiene un conector normalizado del tipo IDC-16 (16 terminales) y otro de IDC-26 (26 terminales). Los diferentes terminales de los puertos de entrada/salida de los microcontroladores PIC que se pueden colocar en uno de los zócalos de la placa se conectan a los terminales de ambos conectores.

Los terminales de los puertos A, B y C (presentes en todos los microcontroladores PIC de 18 y 28 terminales) están conectados al conector IDC-16 y los terminales de los puertos D y E (presentes en los microcontroladores PIC de 40 terminales) están conectados al conector IDC-26. Se logra así que cualquier terminal de cualquier puerto de entrada/salida del PIC se pueda conectar a periféricos externos a la placa SiDePIC-USB.

En el conector IDC-26 están presentes las líneas  $V_{DD}$  y masa. De esta forma los periféricos externos se pueden alimentar mediante la fuente de alimentación de SiDePIC-USB, siempre y cuando el consumo total de los mismos no supere 1 A.

## 2.6 Zócalos para la inserción de microcontroladores PIC

SiDePIC-USB tiene tres zócalos, de 18, 28 y 40 terminales, que permiten conectar en ella la mayoría de las familias de microcontroladores PIC. En concreto, se pueden colocar los microcontroladores PIC16F84A (18 terminales), PIC16F876A (28 terminales) y PIC16F877A (40 terminales).

En SiDePIC-USB no se puede conectar más de un microcontrolador simultáneamente.

## 3. Periféricos externos

Para ampliar las prestaciones del sistema que incluye la placa SiDePIC-USB, se han desarrollado varios periféricos externos, que se conectan a ella a través del conector IDC-26. La función de dichos periféricos es la siguiente:

- Entrada/Salida de información  
Es una placa que incluye un teclado matricial 4x4 y un módulo LCD controlado por un microcontrolador. Ambos dispositivos se conectan a través del puerto B del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa SiDePIC-USB.
- Entradas/Salidas digitales  
Es una placa que incluye los componentes necesarios para aplicar señales digitales procedentes de dispositivos de salida todo-nada (por ejemplo, algunos sensores industriales) [6] al puerto B del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa SiDePIC-USB. Las entradas están optoacopladas.  
Esta placa también permite el control de dispositivos de potencia, mediante señales digitales, a través del puerto B del microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa SiDePIC-USB. Posee 4 salidas de tipo relé y otras tantas controladas por TRIAC.
- Entrada analógica  
Es una placa que contiene un convertidor analógico/digital de 8 canales de entrada y una resolución de 12 bits. La comunicación entre el convertidor y el microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa SiDePIC-USB se realiza a través de la interfaz SPI de comunicación serie.

## 4. Recursos de programación

Para desarrollar el programa que debe ejecutar el microcontrolador colocado en uno de los zócalos de la placa SiDePIC-USB se dispone de las siguientes herramientas:

- La herramienta MPLAB que integra un editor, un ensamblador y un enlazador. Dicha herramienta es distribuida gratuitamente por Microchip [2].
- La herramienta CC5X que es un compilador de lenguaje C y se integra al MPLAB para realizar programas en dicho lenguaje.
- La herramienta TFProg que se ejecuta en un computador personal y transfiere el programa en lenguaje máquina a la memoria del microcontrolador.

#### 4.1 Herramienta MPLAB

Microchip proporciona gratuitamente la herramienta MPLAB [2], que es un “Sistema de Desarrollo Integrado” (Integrated Development Environment, IDE), compatible con los sistemas operativos Windows 9x/NT/2000/XP. Dicha herramienta se utiliza para desarrollar programas ejecutables en los microcontroladores PIC.

EL MPLAB permite escribir, depurar y optimizar el programa de cualquier sistema digital basado en un microcontrolador PIC y está formado por un editor de texto, un simulador (MPLAB SIM) y un organizador de proyectos.

Microchip proporciona esta herramienta lista para desarrollar programas en ensamblador. MPLAB puede, además, integrar compiladores para otros lenguajes de programación, como es el caso del lenguaje C.

#### 4.2 Herramienta CC5X

Para desarrollar los programas en lenguaje C que se ejecutan en SiDePIC-USB se utiliza el compilador CC5X (versión 3.2) de la empresa noruega “B Knudsen Data” [7]. Esta herramienta se integra en MPLAB lo que hace que la compilación, depuración y generación de programas en lenguaje máquina se hace mucho más fácil y eficiente.

Entre las características más sobresalientes de este compilador se incluyen:

- Permite utilizar variables de 8, 16, 24 y 32 bits en los programas.
- Utiliza eficientemente la zona de memoria destinada a las variables locales.
- Genera programas optimizados en lenguaje máquina.
- Cambia automáticamente los bits de desinhibición de banco y página de memoria.
- Utiliza tipos de datos reales en coma fija y coma flotante de un máximo de 32 bits en ambos casos.
- Permite asignar direcciones de la memoria pasiva (ROM) y activa (RAM), a los punteros
- Permite utilizar instrucciones en lenguaje ensamblador dentro de los programas en lenguaje C.
- Permite escribir instrucciones de configuración del PIC dentro el programa fuente.

#### 4.3 Herramienta TFProg

La herramienta TFPROG, cuya interfaz de usuario se muestra en la figura 2, permite realizar las siguientes operaciones en el microcontrolador colocado en el zócalo de la placa SiDePIC-USB:

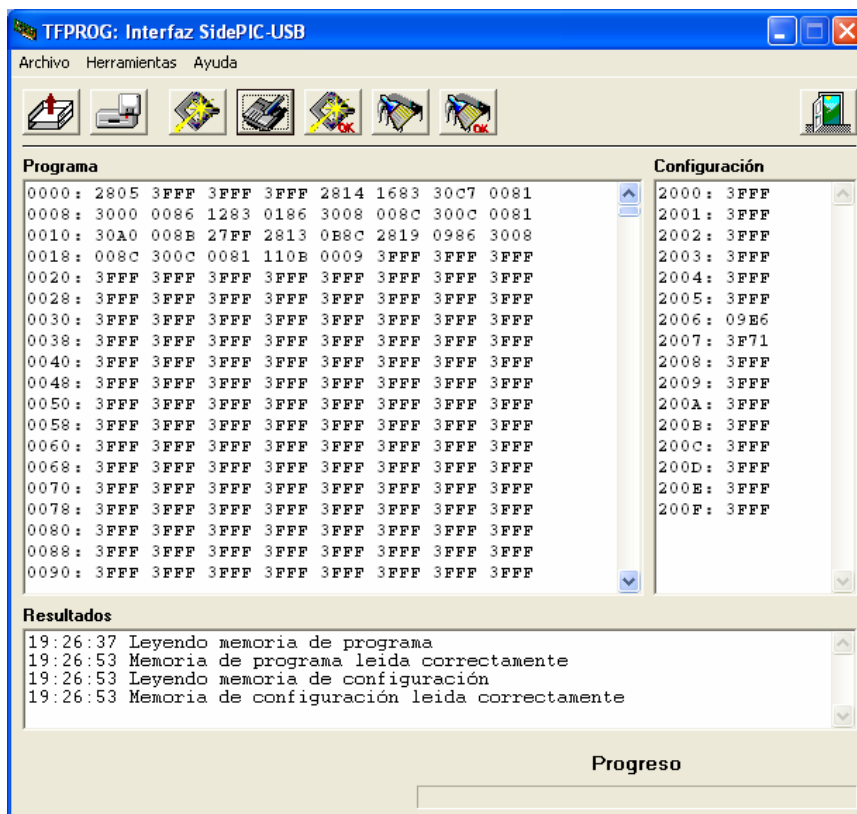
- Grabación del programa en la memoria de programa del microcontrolador.
- Lectura del programa almacenado en la memoria de programa del microcontrolador y del contenido de la memoria de configuración.
- Verificación del programa almacenado en la memoria de programa del microcontrolador.
- Borrado de las memorias de programa y configuración del microcontrolador.

La parte superior de la interfaz de usuario de la herramienta TFProg está constituida por la barra de menú y la de herramientas. A través de ellas el usuario puede dar las órdenes necesarias para ejecutar las operaciones anteriormente mencionadas.

En la parte inferior de la interfaz de usuario se destacan tres ventanas con las siguientes funciones:

- La ventana “Programa” (superior derecha) muestra el contenido de la memoria de programa del microcontrolador.
- La ventana “Configuración” (superior izquierda) muestra el contenido de la memoria de configuración del microcontrolador.
- La ventana “Resultados” (inferior) muestra los mensajes generados después de haber realizado alguna de las operaciones propias de la herramienta.

Para grabar un programa en la memoria del microcontrolador o verificar uno que está almacenado en ella, es preciso abrir el archivo en el que se encuentra dicho programa en lenguaje máquina. El archivo debe estar codificado en formato INTEL-HEX y haber sido generado por la herramienta MPLAB.



**Figura 2.** Interfaz de usuario de la herramienta TFProg .

El programa almacenado en la memoria del microcontrolador puede ser grabado en uno de los periféricos de almacenamiento del computador personal, también en formato INTEL-HEX.

El programa comienza a ejecutarse automáticamente una vez que concluye la grabación del mismo en la memoria del microcontrolador. El proceso de lectura o verificación del programa almacenado en la memoria del microcontrolador provoca el reinicio del mismo.

#### 4. Conclusiones

SiDePIC-USB es una herramienta hardware diseñada conjuntamente por el Instituto de Electrónica Aplicada Pedro Barrié de la Maza y la empresa Técnicas Formativas S.L. Esta placa, junto al sistema hipermedia y las herramientas de software necesarias para la puesta a punto del programa y su grabación en la memoria del microcontrolador, tiene el doble objetivo de facilitar el aprendizaje de los microcontroladores PIC y el desarrollo de sistemas electrónicos de control y comunicaciones basados en ellos.

#### Referencias

- [1] E. Mandado, A. Salaverría, L.F. Ferreira. Manual Hipermedia para el Autoaprendizaje de la Electrónica. 1ra Edición. (2006)
- [2] Microchip Corporation. *Home Page*. <http://www.microchip.com>.
- [3] Predko M., *Programming and customizing PICmicro microcontrollers*. Second Edition. McGraw Hill (2000).
- [4] Angulo, J.M. Romero, S. y Angulo, I. *Microcontroladores PIC. Diseño de aplicaciones*. 3ra Edición. McGraw Hill (2003).
- [5] Jan Axelson. *USB Complete*. 2da Edición. Lakeview Research. (2001).
- [6] E. Mandado, JM Acebedo, S. Pérez, CF Silva, José I. Armesto. *Autómatas Programables. Entorno y Aplicaciones*. 1ra Edición. Thomson-Paraninfo. (2006).
- [7] CC5X. *C Compiler for the PICmicro devices. Version 3.2. User's Manual*. B Knudsen Data. 2004.