

# SISTEMA INTEGRADO PARA EL APRENDIZAJE DE LOS MICROCONTROLADORES Y SUS APLICACIONES

*Luis F. Ferreira<sup>1</sup>, Emilio L. Matos<sup>1</sup>, M. José Moure<sup>1,2</sup>  
Camilo Quintáns<sup>1,2</sup> y Enrique Mandado<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Universidad de Vigo. Instituto de Electrónica Aplicada Pedro Barrié de la Maza*

<sup>2</sup> *Universidad de Vigo. Dpto. de Tecnología Electrónica*

## RESUMEN

Este trabajo presenta un sistema integrado para el aprendizaje de los microcontroladores y el desarrollo de aplicaciones basadas en ellos, compuesto por una herramienta hardware y un conjunto de herramientas software. El sistema se compone de un sistema hardware de desarrollo basado en microcontroladores PIC (SiDePIC) que se conecta al puerto paralelo del computador personal y de un sistema hipermedia de enseñanza de los conceptos teóricos de los microcontroladores que posee un interfaz de usuario interactivo y fácil de utilizar. Además, se proporcionan prácticas resueltas y diversas herramientas que permiten la utilización del sistema de desarrollo para su ejecución o para el desarrollo de otras nuevas. Por esta razón, el sistema está orientado tanto a ingenieros electrónicos que deseen desarrollar sus propias aplicaciones como a ingenieros no electrónicos que solamente deseen adquirir los conocimientos básicos de la programación con microcontroladores.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores son uno de los tipos de dispositivos electrónicos más idóneos para desarrollar sistemas electrónicos de control y comunicaciones. Por ello, el aprendizaje de los microcontroladores es necesario no sólo para los ingenieros electrónicos, sino también para los ingenieros mecánicos, químicos, industriales, etc. Las necesidades son diferentes en cada caso y se necesita un método de enseñanza que incluya desde los conceptos teóricos básicos hasta el desarrollo de aplicaciones completas.

Los microcontroladores son sistemas digitales complejos que comprenden múltiples conceptos interrelacionados. Por esta razón la enseñanza de los microcontroladores está normalmente basada en la descripción de dispositivos concretos y aunque ello proporciona al estudiante una formación práctica no le otorga una visión global, necesaria para especificar y diseñar sistemas basados en microcontroladores, lo que se consigue con una adecuada formación teórica.

### 1.1. Metodología de análisis-descripción y aprendizaje de los microcontroladores

Los sistemas pertenecientes a cualquier tecnología compleja se caracterizan por estar formados por un conjunto de componentes básicos que forman parte de todos ellos. Dichos componentes básicos se combinan para dar lugar a subsistemas de un cierto grado de complejidad.

Como subsistema digital complejo, los microcontroladores pueden ser descritos a través de un conjunto de conceptos básicos interrelacionados que comprenden un gran número de subconceptos, tal y como se muestra en la figura 1 [1]. Los conceptos hacen referencia a las características generales de la tecnología y los subconceptos son las particularidades que distinguen los diferentes sistemas en dicha tecnología.

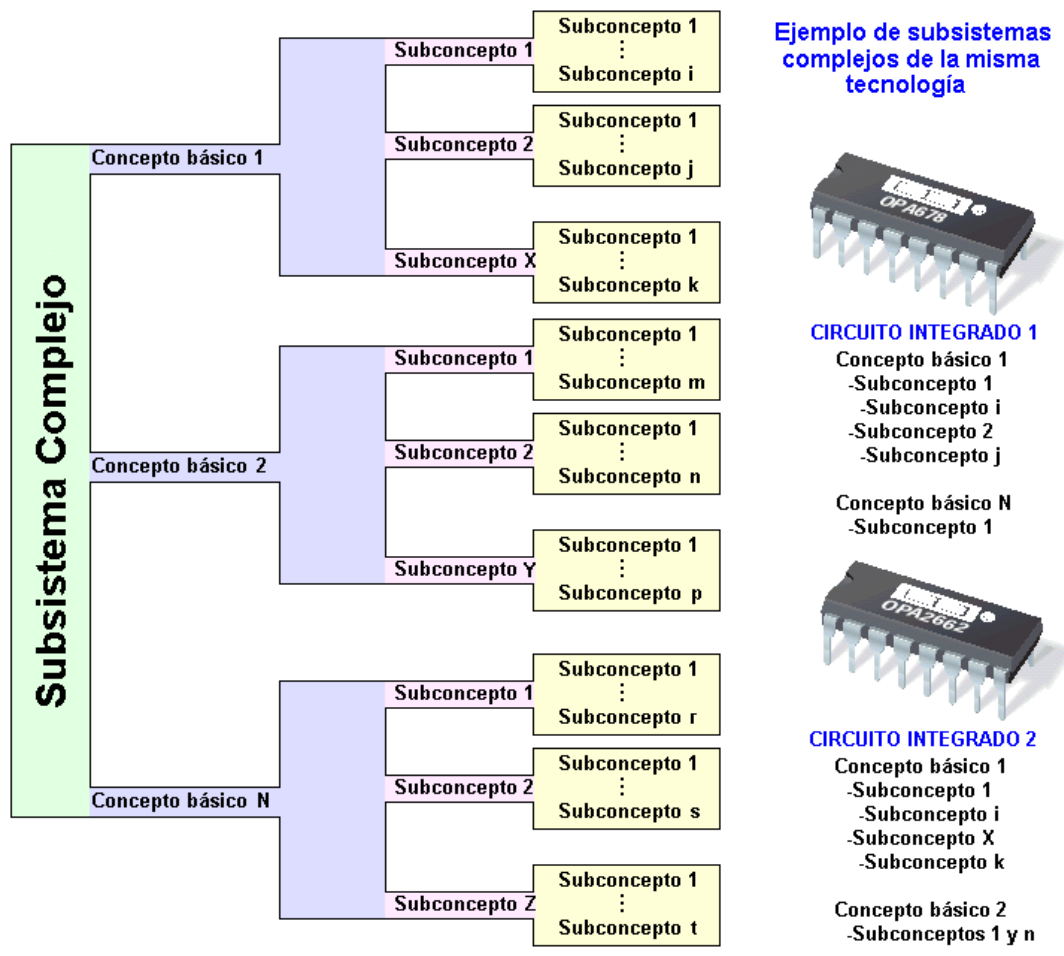


Figura 1. Caracterización de los subsistemas complejos

A su vez cada subconcepto está relacionado con otros, formando una descripción en niveles cuyo estudio dio lugar al modelo de descripción de un sistema digital complejo desarrollado por el Instituto de Electrónica Aplicada Pedro Barrié de la Maza de la Universidad de Vigo [2], representado en la figura 2.

El primer paso consiste en elegir un conjunto representativo de subsistemas reales, y analizarlos de forma detallada para detectar todos los elementos que los componen y los conceptos que tienen asociados. El análisis comienza por la búsqueda de los elementos comunes a todos los subsistemas. Seguidamente, se determinan los conceptos asociados con ellos que constituyen diferentes formas de combinarlos entre sí. Se continúa buscando subconceptos de cada concepto y así sucesivamente hasta dar por finalizado el análisis. A continuación se debe proceder a clasificar y estructurar jerárquicamente todos los conceptos y subconceptos para establecer un modelo capaz de describir las diferentes situaciones prácticas (modelo descriptivo).

Un aspecto importante de la enseñanza de tecnologías complejas a partir de modelos descriptivos es la forma de presentar el modelo, es decir, la forma de transmitir a los estudiantes los diferentes conceptos que encierra. Para representar gráficamente dicho modelo se pueden utilizar mapas conceptuales [3] [4] [5] [6], hasta ahora sólo utilizados para organizar y representar los conceptos relacionados con las diferentes áreas del conocimiento humano.

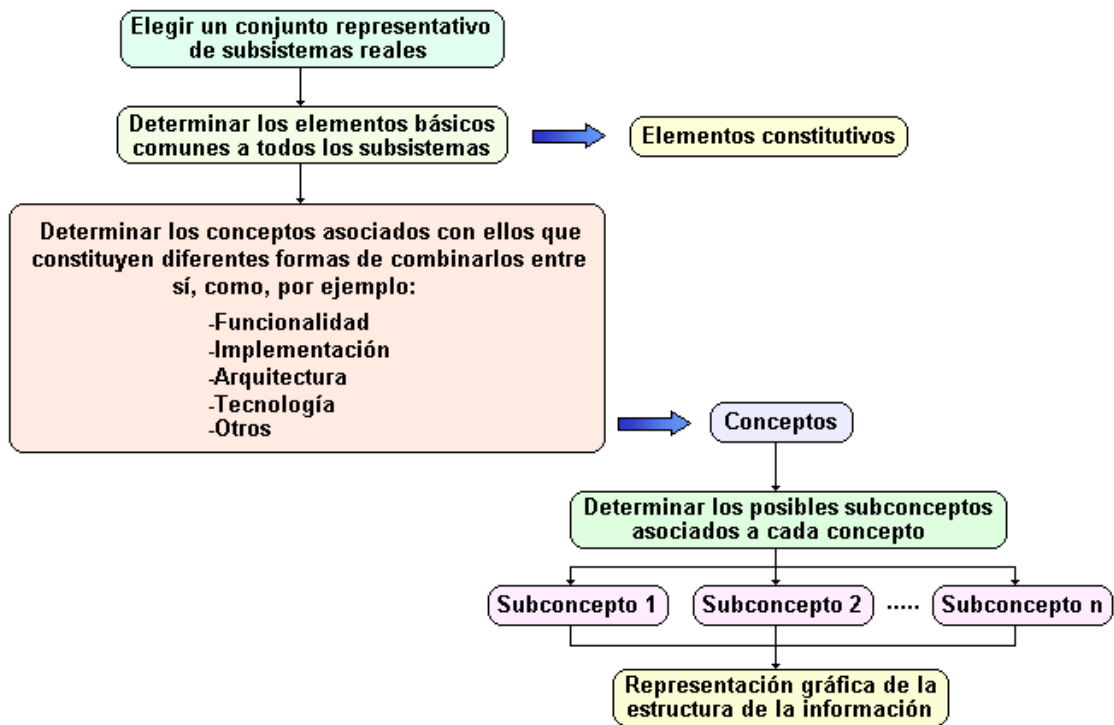


Figura 2. Metodología de análisis de los subsistemas complejos

La figura 3 muestra el mapa conceptual de un subsistema de una tecnología compleja, dividido en dos partes principales: los elementos usados para implementar el subsistema, y los conceptos que lo caracterizan. Cada subsistema de la figura 3 puede describirse también por medio de un mapa conceptual, lo que da lugar a una estructura compleja de interrelaciones entre elementos. Esto hace que el medio más adecuado para la enseñanza de las tecnologías complejas sea una herramienta hipertextual que permita un acceso no secuencial a la información [7] [8].

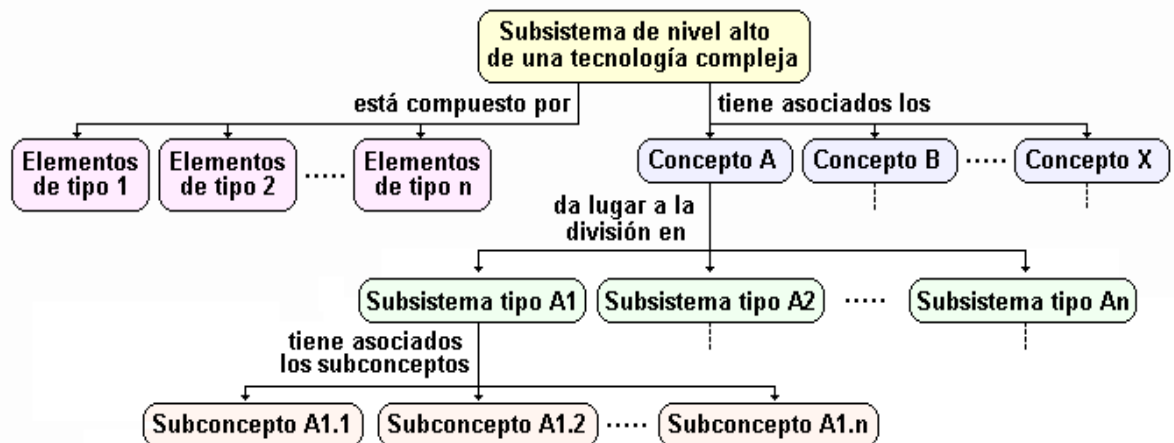


Figura 3. Mapa conceptual de un subsistema de una tecnología compleja

El mapa conceptual genérico de la figura 3, aplicado a los microcontroladores, da lugar al mapa conceptual de la figura 4. El sistema que se describe a continuación contiene un sistema de enseñanza hipermedia de los microcontroladores basado en dicho mapa conceptual, que contiene hipertexto, figuras, imágenes, animaciones y videos enlazados con hipervínculos no secuenciales.

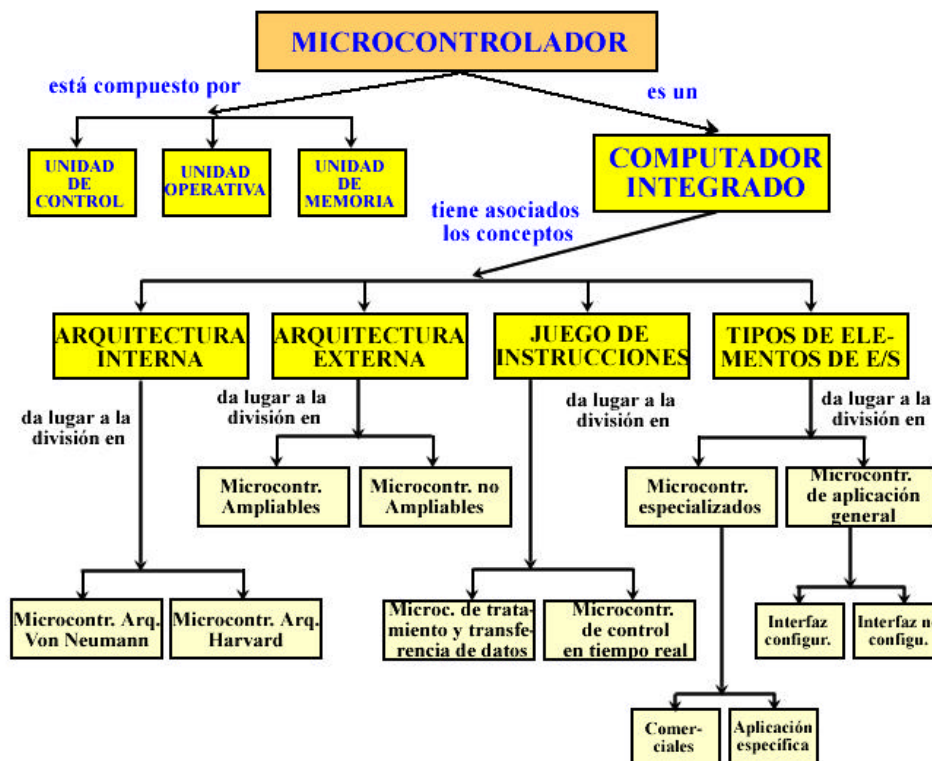


Figura 4. Mapa conceptual de los microcontroladores

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema, cuyo diagrama de bloques se representa en la figura 5, está orientado a centros de enseñanza técnica presencial o a distancia, empresas que desarrollan productos electrónicos y particulares que deseen adquirir los conocimientos esenciales del desarrollo de sistemas basados en microcontroladores. El sistema está formado por:

- Un sistema hardware de desarrollo de aplicaciones (SiDePIC).
- Un sistema hipermedia de enseñanza de los microcontroladores desarrollado con la metodología descrita anteriormente.
- Un conjunto de herramientas software de desarrollo y programación de aplicaciones.

### 2.1. Sistema de desarrollo SiDePIC

Los sistemas de desarrollo, llamados también placas de prototipos, son sistemas electrónicos de los que forma parte el microcontrolador y un conjunto de periféricos adecuados para realizar operaciones de entrada/salida.

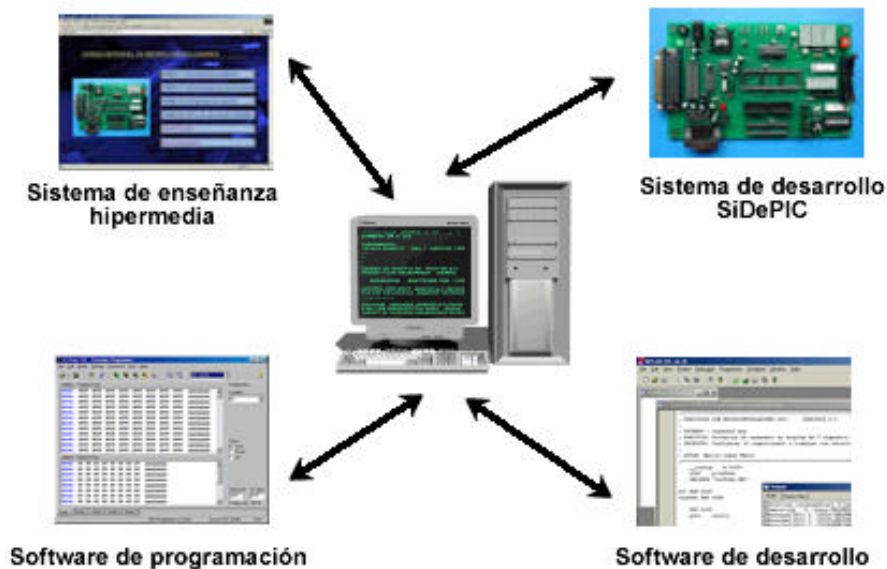


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema integral de enseñanza

SiDePIC (cuya fotografía se muestra en la figura 6) es un sistema de desarrollo basado en microcontroladores PIC de Microchip Technology [9] cuyas principales características son:

- Permite grabar, borrar y leer el programa colocado en la memoria de instrucciones de un microcontrolador PIC.
- Contiene los periféricos necesarios para diseñar y verificar sistemas digitales sencillos y la capacidad de expansión suficiente para añadirle sistemas externos más complejos (ampliabilidad).
- Se puede utilizar para facilitar el diseño rápido de prototipos (*Rapid prototyping*) de sistemas basados en microcontroladores PIC sin necesidad de implementar un sistema electrónico propio. Solamente es necesario, si la aplicación lo requiere, implementar la placa de interfaz adecuada. Una vez realizada dicha placa y depurado el programa, se puede grabar la memoria del PIC y montar el sistema (incluido SiDePIC) dentro de una caja cerrada. Para su funcionamiento no es necesario conectarlo a un computador personal pero tiene la ventaja añadida de poder actualizar el programa (*Firmware*) del sistema cuando se desee, sin más que conectarlo al mismo.
- Se puede utilizar como “depurador en el sistema” (*In Circuit Debugger*). Para ello mediante un zócalo y un cable adaptador se conectan los terminales del PIC situado en SiDePIC a una placa externa que contenga a su vez un zócalo para el PIC. Se puede grabar y borrar el programa del PIC innumerables veces y probar de esta forma diferentes programas inmediatamente.
- Posee el hardware adecuado para conmutar automáticamente del estado de programación de la memoria de programa al estado de ejecución. Esto significa que a partir del instante en que el computador personal transfiere el programa a la memoria del PIC se prueba su funcionamiento sin necesidad de actuar sobre ningún elemento (puente, conmutador, etc.). Esta característica permite que SiDePIC pueda ser utilizado como sistema de demostración para mostrar a los ingenieros de cualquier especialidad las aplicaciones de los microcontroladores en las diferentes tecnologías (mecánica, electricidad, química, etc.).

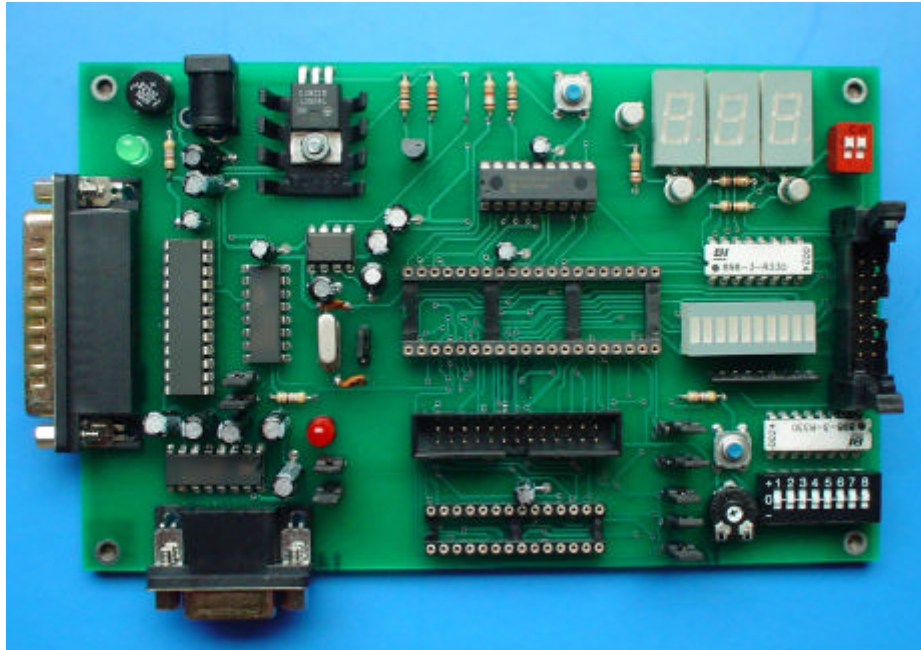


Figura 6. Fotografía del sistema SiDePIC

### 2.1.1. Componentes de SiDePIC

En la figura 7 se representa el diagrama de bloques del sistema SiDePIC que consta de los siguientes elementos:

- Zócalos para la inserción de la mayoría de los microcontroladores PIC, como por ejemplo el PIC16F84, el PIC16F876 o el PIC16F877.
- Una fuente de alimentación que suministra a SiDePIC una tensión continua de +5V y una corriente máxima de 1<sup>a</sup>.
- Un circuito de reloj.
- Un interfaz de conexión con el puerto paralelo del computador personal en el que se ejecutan las herramientas de software.
- Un conjunto de dispositivos periféricos para realizar operaciones básicas de entrada/salida sin tener que conectar ningún elemento adicional. Se entiende por periféricos los elementos de entrada / salida incorporados en SiDePIC a los que están conectados directamente los terminales del microcontrolador.

Los periféricos incorporados en SiDePIC son:

- 3 visualizadores (*Displays*) de 7 segmentos.
- 8 microinterruptores de tres estados.
- 1 Barra de diodos luminiscentes (*LED*).
- 1 Pulsador.
- 1 Potenciómetro que genera una tensión analógica variable al conversor A/D.
- 1 Puerto serie RS-232.
- Conectores de expansión.



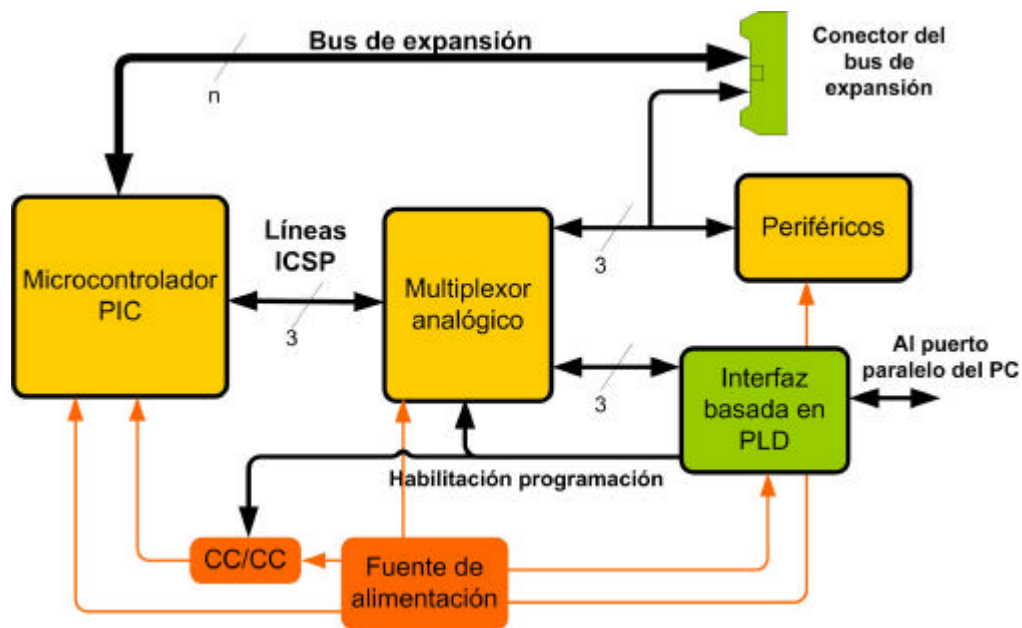


Figura 7. Diagrama de bloques del sistema SiDePIC

## 2.2. Sistema hipermedia

El sistema hipermedia consta de un conjunto de lecciones teóricas, desarrolladas utilizando la metodología de los mapas conceptuales descrita anteriormente. La utilización de la hipermedia no sólo se adapta a la metodología de los mapas conceptuales mediante el uso de hipervínculos no secuenciales sino que también posibilita la utilización de múltiples medios (hipertexto, figuras, imágenes, animaciones y videos) y resulta un interfaz atractivo para el usuario. El sistema está desarrollado en formato web con los lenguajes HTML, JavaScript y Flash (Figura 8).



Figura 8. Sistema hipermedia de enseñanza de los microcontroladores

La enseñanza se realiza a dos niveles, y presenta:

- Una teoría básica a la que debe seguir el uso de SiDePIC como sistema demostrador orientada a usuarios no especialistas.
- Una teoría avanzada para la utilización de SiDePIC como sistema de desarrollo orientada a usuarios especialistas.

El sistema comprende:

- Enseñanza teórica de los fundamentos de los microcontroladores.
- Aprendizaje de programación de los microcontroladores PIC [10].
- Enseñanza del manejo de herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- Uso del sistema de desarrollo y ejecución de prácticas propuestas.
- Complementos de formación: Ejercicios de autoevaluación, glosario, etc.

En la figura 9 se representa un ejemplo de práctica propuesta, con la descripción de su programa y el video de su ejecución en el sistema SiDePIC descrito anteriormente. El sistema hipertexto permite la programación directa de la práctica en el sistema SiDePIC mediante la utilización del software de grabación que se describe a continuación.



Figura 9. Ejemplo de descripción de programa y video de su ejecución en el sistema SiDePIC

## 2.3. Herramientas software de desarrollo y programación

### 2.3.1 Herramienta de edición, compilación y simulación del programa

Microchip proporciona gratuitamente la herramienta MPLAB<sup>1</sup>, que es un “Entorno de Desarrollo Integrado” (Integrated Development Environment, IDE), compatible con los sistemas operativos Windows 9x/NT/2000/XP, que se utiliza para desarrollar programas ejecutables en los microcontroladores PIC.

<sup>1</sup> MPLAB es una marca registrada de Microchip Corporation



EL MPLAB permite escribir, depurar y optimizar el programa (*Firmware*) 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. Además, el MPLAB soporta emuladores y otras herramientas de desarrollo de Microchip como el programador PICSTART Plus.

### 2.3.2 Herramienta de grabación del microcontrolador

Existen múltiples programas para llevar a cabo la programación de los microcontroladores PIC, muchos de los cuales son de libre difusión y están disponibles en Internet. Uno de ellos es el Ic-Prog [11], cuyo interfaz gráfico se representa en la figura 10. Se trata de un programa fácil de manejar que permite la grabación de la mayor parte de los microcontroladores PIC del mercado, además de otros dispositivos como por ejemplo memorias EEPROM, microcontroladores de la familia 8051, microcontroladores AVR de Atmel e incluso tarjetas chip que contengan un microcontrolador PIC y una memoria EEPROM.

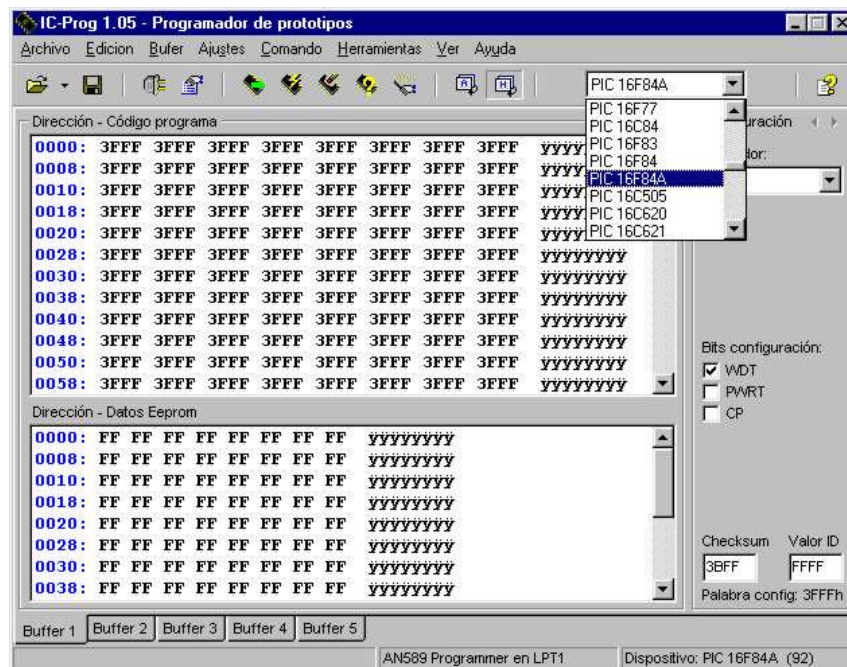


Figura 10. Interfaz gráfica de la herramienta Ic-Prog de grabación del microcontrolador

Ic-prog se utiliza desde el sistema hipermedia para grabar en la memoria del microcontrolador del sistema SiDePIC los programas de las prácticas propuestas, sin que el usuario lo utilice directamente, o puede ser utilizado por el usuario avanzado para grabar sus propias aplicaciones en la memoria del microcontrolador ya que:

- Permite la carga de un fichero compilado en formato Intel-HEX y la visualización de su código máquina, o del código fuente mediante un desensamblador.
- Se puede utilizar con diversos programadores cuyos esquemas están disponibles en Internet y constituyen normas de facto.
- Permite la programación del fichero cargado anteriormente y/o la lectura del contenido tanto de la memoria de programa como de la de datos del microcontrolador PIC.

### 3. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un sistema integrado de aprendizaje de los microcontroladores que combina la enseñanza teórica con un enfoque práctico basado en un sistema hardware de desarrollo. De esta forma, puede ser utilizado no solo como herramienta de aprendizaje sino como un verdadero entorno de desarrollo de aplicaciones con microcontroladores. El bajo coste del sistema hardware así como la libre distribución de las herramientas software que componen el sistema lo hacen idóneo para la enseñanza a distancia y la formación en centros de enseñanza técnica y en industrias.

Actualmente el sistema se utiliza en cursos de educación continua dirigidos a ingenieros eléctricos y mecánicos con muy buenos resultados.

### 4. BIBLIOGRAFÍA

[1] Brockman J.M., "Complex Systems and Emergent Technologies", *Report of the Center for Integrated Design Seminar*, June 1998.

[2] Valdés M. C., Moure M.J., Mandado E., "Hypermedia: a tool for teaching Complex Technologies", *IEEE Transactions on Education*, Nº 4, Nov. 1999.

[3] Novak Joseph D., "Concept maps and Vee diagrams: two metacognitives tools for science and mathematics education", *Instructional Science*, 19, pp. 29-52, 1990.

[4] Novak Joseph D., "Clarify with concept maps". *The Science Teacher*, 58(7), 45-49, 1991.

[5] Novak Joseph D., Gowin D.B., "Learning to learn". Cambridge University Press, Massachusetts, USA, 1988.

[6] Ontoría A. et al., "Mapas conceptuales. Una técnica para aprender". Narcea S.A. Ed., Madrid 2000.

[7] Alessi S.M., Trollip S.R., "Multimedia for learning". Alling and Bacon, Massachusetts, 3<sup>a</sup> ed., 2000.

[8] González J., Pérez M., "MAJA: A methodology to develop multimedia/hypermedia software for education", *Proceedings of ED-Media 99*. Seattle, Jun. 1999.

[9] Microchip Corporation. Home Page. <http://www.microchip.com>.

[10] Predko M., "Programming and customizing PICmicro microcontrollers". Second Edition. Ed. McGraw Hill, 2000.

[11] Ic-prog Home Page. <http://www.ic-prog.com>.