

Plataforma Docente para el Aprendizaje de Microcontroladores ‘PIC’[®] de Microchip[®]

Herminio Martínez García, *Member IEEE*⁽¹⁾, Víctor Bueno Alvez⁽¹⁾ y Clemente Pol Fernández⁽²⁾

⁽¹⁾ Barcelona College of Industrial Engineering (EUETIB)

Department of Electronics Eng.
Technical Univ. of Catalonia (UPC)
C/ Comte d’Urgell, 187.
08036 Barcelona. SPAIN
herminio.martinez@upc.edu

⁽²⁾ School of Telecommunications Eng. of Barcelona (ETSETB)

Department of Electronics Eng.
Technical Univ. of Catalonia (UPC)
C/ Gran Capitán s/n, Ed. C4,
08034 Barcelona. SPAIN
clemente.pol@upc.edu

Resumen— El presente artículo presenta el diseño e implementación de una tarjeta entrenadora para el aprendizaje de microcontroladores (μ C) PIC[®] de la empresa Microchip[®], así como el diseño de un conjunto de prácticas diseñado especialmente para esta plataforma docente que ayudará al usuario a iniciarse en la programación de esta familia de μ C. Con el fin de conseguir una plataforma que sea lo más didáctica posible, se ha pretendido que el diseño recoja, en una única tarjeta, y de forma compacta, la máxima cantidad de funcionalidades propias de los sistemas basados en μ C, sirviendo para el aprendizaje en un curso completo sobre μ C PIC[®].

Index Terms— Plataforma Docente, Sistema Microcontrolador, Microcontroladores (μ C) PIC[®].

I. INTRODUCCIÓN

COMO es sobradamente conocido, los microcontroladores (MCU), debido a sus múltiples ventajas, están presentes hoy en día en prácticamente cualquier sistema electrónico o incluso eléctrico que nos rodee [1]–[3]. Podemos encontrarlos en sistemas montados en automoción y navegación (automóviles, aviones...), electrodomésticos (lavadoras, básculas...), electrónica de consumo (audio, TV, juguetes...), sistemas electrónicos en la industria, comunicaciones (telefonía...), y prácticamente en cualquier equipo digital o mixto que realice algún tipo de accionamiento, adquisición de medida, presentación de información, etc. En este sentido, un μ C es un sistema ordenador “autocontenido” que incluye un procesador (CPU), memoria, y algún tipo de comunicación con el exterior; todo ello integrado en un *chip* de silicio. Por definición, un μ C es un dispositivo “autosuficiente” y muy económico, con funcionalidades varias y amplias como ejecución de operaciones lógicas y aritméticas, conteos y temporizaciones, comunicaciones con periféricos, funciones de reloj y calendario en tiempo real, conversiones A/D y D/A, etc.

Ingenieros, así como estudiantes de ingeniería y de formación profesional, con diferentes perfiles, son grupos que actualmente trabajan con μ C. Es por ello que, la formación de los futuros ingenieros y técnicos, debe pasar por una adecuada

formación mediante plataformas docentes flexibles y abiertas que sean económicas, pero contengan la mayoría (o, a ser posible, todas) las prestaciones que nos ofrecen estos sistemas μ C. De hecho, no solamente ingenieros electrónicos o informáticos pueden tener interés en el aprendizaje de sistemas basados en μ C y en el uso de este tipo de plataformas docentes. En efecto, ingenieros eléctricos, mecánicos, mecatrónicos, etc. pueden adquirir los necesarios conocimientos de estos sistemas mediante las mencionadas plataformas. Dentro de las múltiples posibilidades, las plataformas basadas en μ C PIC[®] son de las más idóneas para un aprendizaje práctico efectivo y económico.

Dentro de las múltiples opciones de familiar de μ C, los PIC[®] pertenecen al conjunto de μ C tipo RISC (*reduced instruction set computer*). Ésta es una arquitectura computacional que se basa en instrucciones cortas, esto hace que los PIC[®] sean unos μ C rápidos y eficaces. Son fabricados por Microchip Technology[®] Inc., y provienen del PIC1650 desarrollado originalmente por la división de microelectrónica de General Instruments. El nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como acrónimo de *Peripheral Interface Controller*. Los μ C PIC[®] son muy utilizados tanto por aficionados como por profesionales, debido, principalmente, al bajo coste, facilidad de manejo y programación, además de sus buenas prestaciones disponiendo de memoria de gran capacidad (RAM, EEPROM, *flash*, etc.) y una gran cantidad de dispositivos periféricos integrados, como pueden ser módulos de control PWM, osciladores internos, convertidores A/D, módulos de comunicación (USART, SPI, I2C, CAN, USB...), etc.

II. PLATAFORMAS DOCENTES PARA EL APRENDIZAJE DE MICROCONTROLADORES

Una tarjeta entrenadora para μ C es una plataforma flexible y abierta que básicamente contiene un sistema electrónico que permite comprobar funcionalmente los programas y circuitos diseñados previamente de una forma teórica con un método mucho más rápido y fiable, tanto a un nivel didáctico como a un nivel profesional, que el haberlo de montar en placa *proto-board* o PCB. En efecto, los usuarios de estas

entrenadoras pueden diseñar sus programas probándolos directamente sobre la tarjeta sin necesidad de diseñar ni montar el *hardware* del circuito, ahorrando así tiempo y dinero. Por otro lado, los usuarios más avanzados podrán ampliar esta tarjeta con el *hardware* necesario para cada aplicación teniendo una tarjeta polivalente en donde comprobar rápidamente y de una forma fiable sus proyectos.

Una plataforma entrenadora de microcontroladores es, a grandes rasgos, un μC específico o una variedad de ellos, conectados a una serie de periféricos externos que permiten simular, en la misma plataforma, las diferentes operaciones a realizar con el propio μC . De esta forma, se podrá interactuar con este último, introduciéndole información a través de los periféricos de entrada (pulsadores, teclados, entradas analógicas,...), y observando la respuesta mediante periféricos de salida (visualizadores LCD, *displays* de 7 segmentos, diodos LED, etc.). Además, se suelen incorporar medios de comunicación (RS-232, CAN, USB,...), así como un circuito de programación del μC *on-board* (o *in-circuit*), que evita tener que extraer éste de la placa reiteradamente cuando se necesite programarlo.

A la hora de decidirse a diseñar una placa entrenadora para aplicaciones docentes, lo primero que debe hacerse es observar aquéllas que se pueden encontrar actualmente en el mercado, para poder así ver hacia donde se dirigen las tendencias y adaptarlas o ampliarlas para satisfacer nuestros requisitos específicos. En la actualidad se pueden encontrar una gran variedad de este tipo de entrenadoras, desde las más avanzadas con los periféricos más novedosos, hasta las más sencillas y económicas para usuarios que busquen un conjunto de periféricos más asequibles. Además existen distintas arquitecturas de diseño que se pueden clasificar de una forma general según tres modelos:

1. *Diseño monobloque*. Está formado por una única placa en donde se encuentran todos los componentes y las conexiones requeridas entre éstos y el μC .
2. *Diseño monobloque sin conexiones*. Está formado por una única placa en donde se encuentran todos los componentes y sus circuitos auxiliares pero no se encuentran implementadas las conexiones entre éstos y el microprocesador. Estas placas acostumbra a incluir un módulo *board* de inserción rápida para facilitar las conexiones de los diferentes bloques. Son más versátiles que los anteriores, debido a la libertad de conexiones y la mayor facilidad de ampliación, pero, como consecuencia, ralentiza el proceso de prueba del programa, ya que debe montarse el circuito y, además, no está exento de probables fallos debido a posibles malas conexiones.
3. *Diseño modular*. Se compone usualmente de una placa central en donde se encuentra el μC y sus circuitos auxiliares, como el *clock* y el circuito de *reset*, además de una serie de conectores que nos permiten extraer absolutamente todos los puertos del μC . De esta forma, se diseñan placas complementarias que, conectadas a la principal, nos permitirán realizar las mismas funciones que una placa monobloque. Las ventajas principales de estas entrenadoras son su facilidad de diseño, ya que se pueden

ir realizando directamente por bloques, y su reducido coste, debido a que se puede ajustar exactamente a lo indispensable para cada usuario. Como inconvenientes principales, pueden considerarse la necesidad de conexiones, aunque mucho más sencillas que las de la placa anterior. Sin embargo, el principal inconveniente se centra en el aspecto práctico/estético, al estar trabajando con diferentes placas interconectadas, intensificándose en proyectos más complejos en los que necesitemos interconectar gran cantidad de módulos. Por las ventajas descritas anteriormente estas entrenadoras son las favoritas por aquellos que se inician en el mundo de los μC y quieren implementarse una entrenadora propia de una forma asequible y ajustándose a sus necesidades. Por el contrario, debido a las desventajas prácticas que se contemplan, actualmente se encuentran pocas entrenadoras comerciales de este tipo, siendo las más comunes las tarjetas monobloque con conectores de expansión.

Por otro lado, también se puede encontrar por la red gran cantidad de "*hardware* libre", donde algunos usuarios han diseñado su propio entrenador y ofrecen al público los esquemas, listados de componentes e incluso en algunos casos un manual de prácticas, de forma totalmente gratuita. También cabe la posibilidad de que se desee realizar un entrenador propio con unos periféricos concretos para las necesidades particulares, con este objetivo principal se ha diseñado el entrenador del presente artículo.

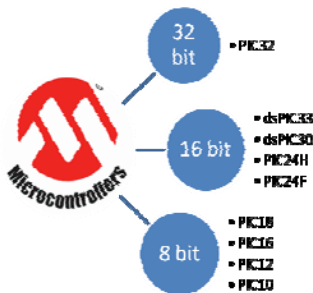
III. ALTERNATIVAS POSIBLES EN LA GAMA DE MICROCONTROLADORES PIC[®]

Cuando se comienza a trabajar con μC PIC[®], lo primero que se observa es que existe una gran diversidad, y a veces es difícil conocer cuál es el ideal para una aplicación determinada. Para simplificar en la medida de lo posible la elección, se podría concluir que la mejor manera de clasificarlos es en función del número de bits con que trabaja; de esta forma tenemos μC de 8, 16 y 32 bits (figura 1) [1]–[4]. Por tanto, dependiendo de las prestaciones que se requieran del PIC[®] para la plataforma a diseñar, ya podríamos centrarnos en la búsqueda de éste en una sola de las posibles y múltiples familias existentes hoy en día en el mercado.

Se podría pensar que la existencia de μC de 8 bits es algo innecesario con el avance de las tecnologías actuales, ya que claramente las prestaciones de los μC de 16 y 32 bits son superiores. Ahora bien, en este momento, los μC de 8 bits se encuentran dominando el mercado, debido, principalmente, a que estos "pequeños" μC son útiles y sobradamente aptos para la mayoría de las aplicaciones, incluida la plataforma docente llevada a cabo en el presente trabajo, lo que hace innecesario (y muchas veces absurdo) utilizar μC con mayores prestaciones, lo que haría incrementar de forma importante el precio de la aplicación sin un aumento significativo de sus prestaciones [5].

Dentro de la familia de 8 bits podemos encontrar diferentes familias de μC PIC[®] de la firma Microchip[®] que van de menores a mayores prestaciones, éstas son las series PIC12,

PIC16 y PIC18, además de otras algo menos utilizadas y algunas en desuso [4]. Dentro de todo el repertorio de μC PIC[®] disponible, se ha centrado la elección del μC en las dos familias más avanzadas de μC de 8 bits, las series PIC16 y PIC18 y, más concretamente, en los μC disponibles en encapsulado de 40 pines, ya que estos nos proporcionan más puertos de I/O de una forma directa, cosa indispensable en esta aplicación docente.



Arquitectura	'Baseline'	'Midrange'	'Enhanced midrange'	PIC18
Nº Pins	6 - 40	8-64	8-64	18-100
Funcionamiento	5 MIPS	5 MIPS	8 MIPS	10-16 MIPS
Instrucciones	33, instrucciones 12 bits	35, instrucciones 14 bits	49, instrucciones 14 bits	75, instrucciones 16 bits
Memoria de programa	Más de 3 KB	Más de 14 KB	Más de 56 KB	Más de 128 KB
Memoria de datos	Más de 138 Bytes	Más de 368 Bytes	Más de 4 KB	Más de 4 KB
Características principales	Bajos coste Fácil de aprender y usar.	Buena relación calidad/precio. Periféricos integrados (I2C, ADC...).	Optimizados para código C. Mapa de memoria simplificado.	Multiplicador Hardware Periféricos avanzados (USB, CAN...).
Familias	PIC10, PIC12, PIC16	PIC2, PIC16	PIC12F1xxx, PIC16F1xxx	

Fig. 1.- Familias de microcontroladores PIC[®] de Microchip[®].

Una vez decidido que las familias PIC16F y PIC18F son las mas apropiadas para las necesidades del presente trabajo, se debe decidir qué modelo concreto de μC será el que más se ajusta a las necesidades de la placa. Para ello, se han seleccionaron dos μC de familias distintas pero con compatibilidad de terminales y con prestaciones bastante parecidas; por un lado se tiene el PIC16F877A, un μC avanzado de la serie PIC16Fxxx con una gran variedad de periféricos incorporados y un juego de instrucciones bastante completo. Por otro lado, está el PIC18F4550, un controlador de gama alta de la serie PIC18Fxxx con un juego de instrucciones más amplio y algunos periféricos extra como la comunicación USB, bus CAN, etc. Se ha decidido finalmente la primera de las dos opciones para la realización de la presente plataforma, a consecuencia, principalmente, de la mayor facilidad de programación en *assembler* en cuanto a los registros de control, así como la mayor disponibilidad de información acerca del funcionamiento del μC y de programas ejemplo y tutoriales de ayuda; un aspecto éste muy importante en una plataforma didáctica como la presente, donde se busca

una finalidad educativa, y donde la cantidad de información es muy importante para el correcto progreso de los estudiantes de ingeniería o ciclos formativos.

A. Características Principales del PIC16F877A

El PIC16F877A posee varias características que hacen a este μC un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación que se pretende en la presente plataforma didáctica, permitiéndonos trabajar con multitud de periféricos distintos así como comunicarnos con un ordenador gracias a su comunicación RS232 y con otros periféricos mediante I2C (figura 2) [6]. Se podrían definir como algunas de sus principales características las siguientes: soporta modo de comunicación serial e I2C, posee amplia memoria para datos y programa, y ésta última reprogramable (tipo *flash*), juego de instrucciones reducido (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo, programación *in-circuit serial programming* (ICSP), incorpora dos módulos de control PWM, etc.



Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	8K
Data Memory (bytes)	368
EEPROM Data Memory	256
Interrupts	14
I/O Ports	Ports A,B,C,D,E
Timers	3
Capture/Compare/PWM Modules	2
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Instruction Set	35 instructions

Fig. 2.- Distribución de terminales y características generales del microcontrolador PIC16F877 de Microchip[®].

IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA DOCENTE PARA EL APRENDIZAJE DE μC 'PIC'[®]

La placa entrenadora 'PIC-vBoard' diseñada e implementada en el presente trabajo es un conjunto didáctico en donde podemos trabajar con los μC PIC[®]. Concretamente, y como hemos mencionado previamente, está diseñada para trabajar con un PIC16F877A, lo que nos permite trabajar con los PIC[®] de 40 pines más importantes de la serie PIC16F y

PIC18F, así como el resto de PICs de las series PIC12F, PIC16F y PIC18F que no sean compatibles con éste, mediante un zócalo adaptador. En la placa se incluyen una gran variedad de periféricos para probar sobre ésta nuestros circuitos con μC , tanto a nivel *software* como *hardware*. Todos estos periféricos se encuentran directamente conectados con las diferentes patillas del μC , por lo que el usuario no deberá hacer ningún tipo de conexión adicional, lo que hace aún más fiable su funcionamiento y permitirá centrarse únicamente en los errores de *software*.

Cabe remarcar que, en la realización de la presente propuesta, se ha escogido una estructura monobloque debido a su mayor facilidad de trabajo aunque sea posiblemente más difícil de diseñar al ser una entrenadora de dimensiones considerables. A continuación se hará un breve resumen sobre las principales características que incluye la placa entrenadora. No obstante, cabe remarcarse que es fácil añadir algunas otras prestaciones deseadas, a través de los puertos con conexión externa (figura 3):

- La tarjeta implementada es un sistema fácilmente expandible gracias a un conector DIL-20 que recoge varios puertos, señales de entrada y salida analógicas y las señales de alimentación.
- Dispone de una alimentación a red de 230 V, lo que permite conectarla directamente a la red sin necesidad de ninguna fuente de alimentación externa. Se integra en el mismo una alimentación doble de 5 V para alimentar, por un lado, el circuito del μC y periféricos de bajo consumo, y, por otro, los elementos de alto consumo y alimentación exterior. Cada alimentación incluye una etapa transformadora, rectificadora, de filtrado y de regulación.
- Se admiten μC PIC[®] de 40 patillas compatibles con el modelo utilizado en la propuesta llevada a cabo, el PIC16F877A, así como otros μC no compatibles utilizando un zócalo adaptador.
- Contiene un oscilador de cuarzo de 4 MHz para generar la frecuencia de trabajo del μC , aunque este puede ser cambiado fácilmente por otro del valor deseado.
- Todos los puertos del PIC[®] son accesibles, ya sea mediante el conector DIL-20 mencionado con anterioridad, o mediante los conectores SIL de algunos componentes, después de haber extraído éstos, como es el caso del puerto D con el visualizador LCD, o el C, con la barra de diodos LED.
- Posee comunicación RS232 integrada con conector DB hembra y control de las señales *TxD*, *RxD*, *CTS* y *RTS* mediante el circuito integrado MAX232.
- Comunicación mediante bus I2C con reloj-calendario en tiempo real (*chip* DS1307) [7], y convertidor A/D y D/A (modelo PCF8591), con 4 entradas y 1 salida analógicaS.
- 6 entradas digitales con 3 pulsadores y 3 interruptores incorporados.
- 4 entradas analógicas seleccionables, con posibilidad de múltiples entradas de señal por tensión a partir de dos potenciómetros, o de un sensor de temperatura y otro de luminosidad LDR, para realizar experiencias de sensado y

medida, control de temperatura, etc.

- 8 salidas digitales con visualización mediante barra de diodos LED.
- 4 *displays* de 7 segmentos (ánodo común), controlados por transistores y decodificador BCD/7 segmentos (4543), que permite practicar con las técnicas de visualización dinámica.
- Pantalla LCD de 2×16, con comunicación a 4 bits y *jumper* externo para activación de retro iluminación.
- Teclado matricial de 4×4 teclas.
- Conector DIL-20 para acceder a las principales señales del circuito desde el exterior.

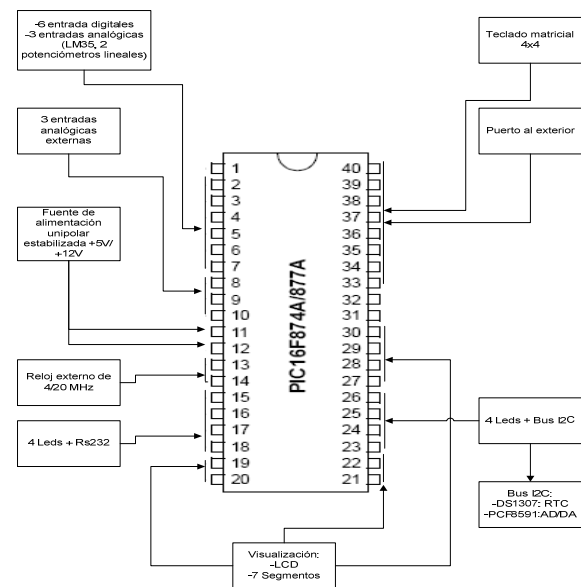


Fig. 3.- Diagrama de bloques de los diferentes elementos conectados al microcontrolador PIC16F877A de la plataforma docente llevada a cabo.

El esquema eléctrico de la plataforma diseñada se muestra en la figura 4). Asimismo, la figura 5 presenta una fotografía de la implementación final llevada a cabo. Algunos de los bloques que podemos observar en ella se comentan escuetamente a continuación.

A. Fuente de Alimentación de Tensión Regulada

Formada por los clásicos bloques (incluidos los correspondientes reguladores lineales de tensión), permite obtener diferentes tensiones para que la tarjeta de la plataforma docente pueda disponer de una o varias líneas de alimentación. Se facilita diferentes valores de tensión (concretamente, 5 V para circuitos integrados, y 12 V para relés de salida), o múltiples tensiones con el mismo valor (+5 V/+5 V), separando así la alimentación de los circuitos integrados de la tarjeta, de la utilizada en periféricos que pueden generar picos de corriente por altos consumos, como puede ser la visualización dinámica con *displays* de 7 segmentos (figuras 4). De esta forma, se consigue una mayor estabilidad en la alimentación de los *chips* que integran la plataforma.

B. Periféricos de Salida

Sirven para permitir al usuario de la plataforma visualizar

acciones producidas por el μC . Sin estos dispositivos, el sistema μC no podría mostrar los resultados de sus operaciones. En concreto, la tarjeta contiene *displays* de 7 segmentos, visualizador LCD, *buzzer* activo y conjunto de diodos LED.

C. Periféricos de Entrada

Sirven para permitir al usuario y entorno interactuar con el μC , pudiendo introducir datos digitales o señales, en el caso de las entradas analógicas. Concretamente tenemos un conjunto de pulsadores e interruptores, teclado matricial, entradas analógicas con juego de sensores y potenciómetros, y

generador de onda rectangular.

D. Comunicaciones

Posibilitan al μC comunicarse con otros dispositivos, ya sea un ordenador (comunicación RS232 o USB) o con otros periféricos (comunicación I2C). Además, se engloban dentro de este apartado sistemas como el ICSP que permite al μC ser programado mientras se encuentra montado sobre el propio circuito. Concretamente la parte de comunicaciones de la plataforma implementada consta de interfaz RS232, comunicación USB, CAN e I2C, y programación ICSP.

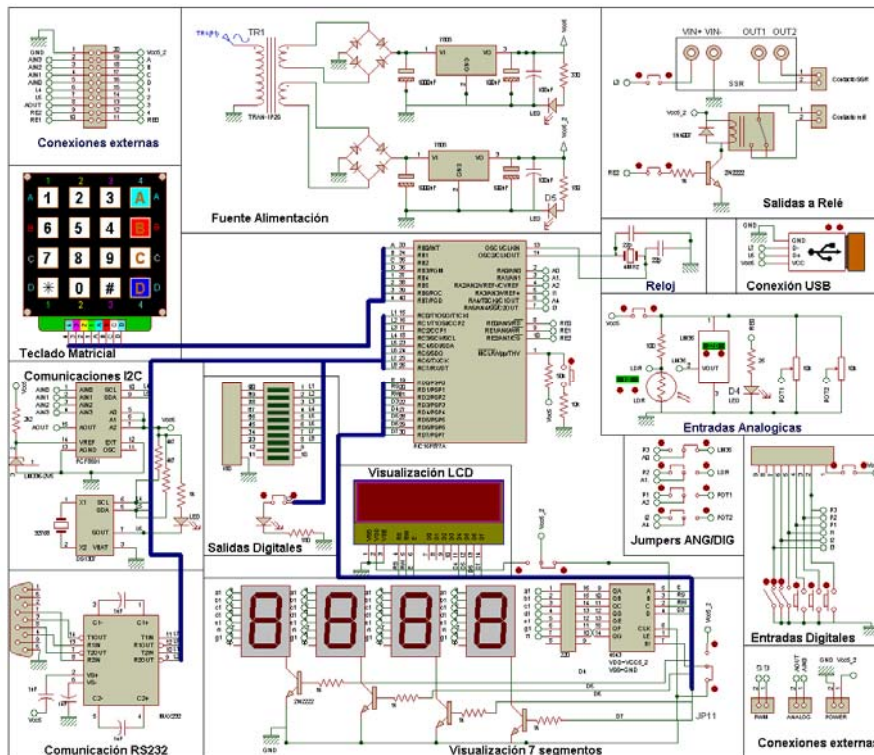


Fig. 4.- Esquema eléctrico completo de la plataforma docente llevada a cabo.

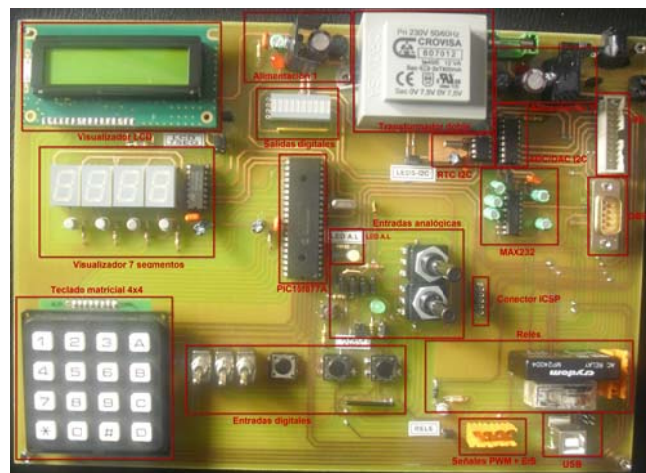


Fig. 5.- Fotografía de la tarjeta de la plataforma docente llevada a cabo, donde se aprecian los diferentes bloques circuitales implementados en la misma.

V. PROGRAMACIÓN DE LA PLATAFORMA DOCENTE IMPLEMENTADA

Para el programador se han dispuesto los elementos pasivos necesarios para su programación por ICSP, y se ha dejado libre un conector de 5 pines disponible para tal fin. De esta forma se deja al usuario la libertad de elección del programador a utilizar, pudiendo así utilizar aquel del que ya disponga de antemano, o la posibilidad de adquirir uno comercial así como de montar uno propio. Pueden utilizarse, por tanto, programadores de diferentes características (y, por ende, también de diferentes precios) según si dispone de un PC con puerto paralelo o serie, donde podemos encontrar programadores más económicos. Por el contrario, si se dispone de un ordenador portátil sin estos puertos, se requerirá la programación mediante un puerto USB. En el caso que nos ocupa, se ha utilizado el programador comercial PICKit 2 de la firma Microchip®, para la programación de la plataforma docente.

El PICKit 2 (figura 6) es un programador para $\mu\text{C PIC}^{\circledR}$. Es un programador que funciona por el puerto USB y está situado en el rango de los programadores de bajo coste. Además de programador, nos proporciona la utilidad de *debugger*. A continuación se destacarán algunas de sus características más importantes.

- Como programador, el PICKit 2 es capaz de programar la mayor parte de los μC con memoria *flash* de Microchip®: serie *baseline* (PIC10F, PIC12F5xx, PIC16F5xx...), *midrange* (PIC12F6xx, PIC16F, PIC18F, PIC24, dsPIC30, dsPIC33...), o variedad de EEPROMs de Microchip®.
- Como *debugger*, el PICKit 2 se puede utilizar para realizar el “*in-circuit debugging*”, con lo cual el usuario podrá comprobar y modificar el programa con el μC integrado en el propio *hardware*.



Fig. 6.- Programador PICKit™ 2 de la firma Microchip®, para la programación de la plataforma docente llevada a cabo.

VI. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra el diseño y realización práctica de una plataforma docente para el aprendizaje de $\mu\text{C PIC}^{\circledR}$ de gama media de la firma Microchip®. La plataforma, del tipo monobloque, permite, de una forma sencilla introducir al estudiante de ingeniería o ciclos formativos de grado superior en la programación de sistemas electrónicos basados en μC .

Se ha buscado, además, el hecho de economizar componentes, en la medida de lo posible. Con ello se consigue que el propio estudiante de ingeniería electrónica intente realizar su propia plataforma, de manera que pueda practicar

fuera de las horas de clase dedicadas al laboratorio. Es por ello, que se han puesto a disposición de dichos estudiantes la documentación necesaria para la realización de sus propias plataformas (esquemas eléctricos detallados, fotolitos para la realización de la PCB, etc.).

La plataforma viene acompañada de un completo manual de usuario, para que el estudiante no se encuentre en ningún momento con carencias respecto del uso de la citada plataforma docente. Adicionalmente, se han confeccionado una serie de enunciados de prácticas (en total 15), con dificultad creciente, donde se experimenta con el manejo de la mayoría de elementos y bloques incorporados en la tarjeta. Todo ello (plataforma docente, manual de usuario de la tarjeta y enunciados de prácticas), permitirá poder realizar con la mencionada plataforma un curso completo de programación [8]–[10] de $\mu\text{C PIC}^{\circledR}$ en asignaturas optativas de los Grados de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona (EUETIB), dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

En el diseño de la plataforma docente se ha previsto la adición o incorporación de periféricos más allá de los incluidos inicialmente mediante módulos de expansión conectados de los puertos del μC a través de los conectores previstos en la tarjeta. Esto ofrecería, aún más si cabe, una mayor variedad de periféricos incluidos en placa como LCD gráfico, memoria EEPROM, *drivers* para el control de motores, etc.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Gobierno Español mediante la CICYT del Ministerio de Educación y Ciencia, gracias al proyecto TEC2007–67988–C02–01/MIC.

REFERENCES

- [1] J. B. Peatman, *Design with PIC Microcontrollers*. Upper Saddle River, New Jersey: Ed. Prentice Hall. 1998.
- [2] J. Sánchez, y M. P. Cantón, *Microcontroller Programming. The Microchip PIC®*. Boca Ratón, Florida: Ed. CRC Press. 2007.
- [3] M. Bates, *Interfacing PIC Microcontrollers. Embedded Design by Interactive Simulation*. Oxford: Ed. Newnes/Elsevier. 2006.
- [4] Microchip Technology Inc., <http://www.microchip.com>.
- [5] E. Palacios, F. Remiro, y L. J. López. *Microcontrolador PIC16F84A Desarrollo de proyectos* (3ª Edición). Madrid: Ed. Ra-Ma, 2009.
- [6] F. E. Valdés Pérez, y R. Pallàs Areny, *Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC*. Barcelona: Ed. Marcombo, Ediciones Técnicas. 2007.
- [7] Maxim Inc., <http://www.maxim-ic.com>.
- [8] G. Tojeiro Calaza. *PROTEUS, Simulación de Circuitos Electrónicos y Microcontroladores a Través de Ejemplos*. Barcelona: Ed. Marcombo, Enero 2009.
- [9] E. García Brejio, *Compilador C CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC* (2ª Edición). Barcelona: Ed. Marcombo, 2009.
- [10] A. Cánovas López. Manual de Usuario del Compilador PCW de CCS.