

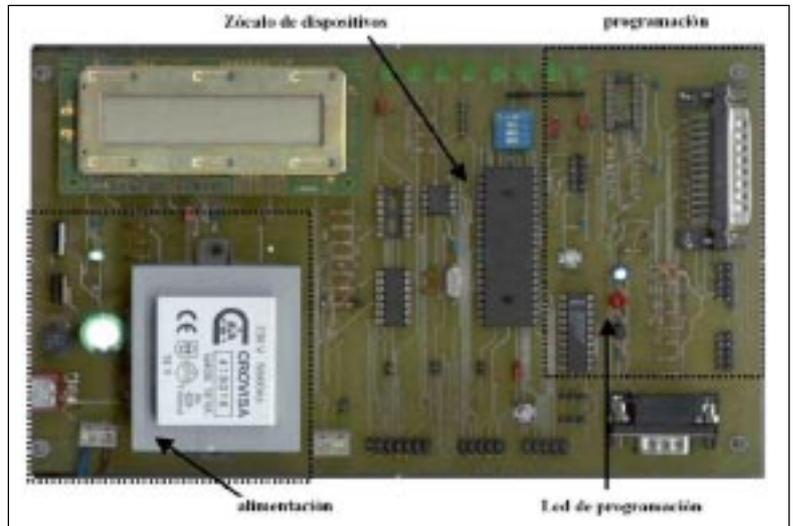
# Tarjeta de depuración y programación para el PIC 16F877

I. Bravo Muñoz, O. Durán Mora, J.L. Lázaro Galilea

Departamento de  
Electrónica. Universidad  
de Alcalá.  
E-mail:  
ibravo@depeca.uah.es  
Website:  
www.depeca.uah.es/  
personal/ibravo

*Este artículo es el último de los dedicados por estos autores a los dispositivos PIC. El estudio de éstos comenzó con el protocolo de comunicación serie de Microchip ICSP<sup>®</sup>. Posteriormente en base a las características ofrecidas por este protocolo, se desarrolló un trabajo referente a un entorno de programación de dispositivos a través del puerto paralelo. Y finalmente en el presente artículo, se presenta una plataforma hardware sobre la que se pueden desarrollar aplicaciones, normalmente de índole didáctico o académico, pero pudiendo ser exportable a cualquier aplicación. La gran cualidad de esta plataforma es la posibilidad de programar directamente cualquier dispositivo PIC sin necesidad de utilizar otro programador hardware y además combinar la posibilidad de desarrollo de aplicaciones.*

Figura 1 Aspecto general de la tarjeta DEPROG877

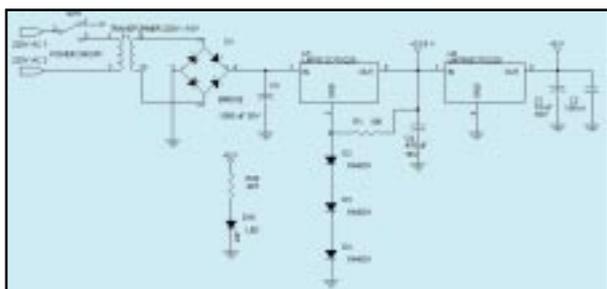


Trabajar con un microcontrolador requiere un aprendizaje del modo de funcionamiento, de sus periféricos internos así como del ensamblador específico del dispositivo.

Para ello los fabricantes de dispositivos suelen desarrollar placas o tarjetas de desarrollo con el inconveniente de tener un coste elevado y ofrecer normalmente una arquitectura bastante cerradas o poco flexible, para un usuario particular y para departamentos donde sean esporádicas las aplicaciones con estos dispositivos.

Además de las tarjetas de evaluación es necesario algún entorno de programación y desarrollo. Estos

Figura 2 Alimentación de la tarjeta.



sistemas están formados por una herramienta software y un desarrollo hardware. El software se encarga de comunicarse con el hardware, en el que está insertado el dispositivo y que genera las señales eléctricas necesarias, para cargar el archivo ensamblado en el microcontrolador. Estas herramientas suele suministrarlas el propio fabricante con el inconveniente del precio.

Por todo ello se ha desarrollado una tarjeta de evaluación [1] [2] para el PIC de Microchip 16F877 [3] con coste bastante reducido (ver la figura 1), que se ha denominado DEPROG877. Dicha tarjeta puede ser usada también para cualquier dispositivo Microchip de 40 pines compatible.

En dicha tarjeta, gracias a que los dispositivos de Microchip permiten una programación en circuito muy sencilla, hemos incluido el hardware necesario para realizar la programación del dispositivo.

Además, con la ayuda de unos adaptadores, podemos programar el resto de dispositivos de la gama media de Microchip ya que el protocolo de programación, ICSP<sup>®</sup> [4], es el mismo para toda la gama. Esto es extensible a cualquier dispositivo que presente una programación idéntica.

## Aspectos generales

La placa de evaluación o depuración, denominada DEPROG877 [5], consta de una parte destinada a la alimentación de la propia tarjeta, otra encargada de la programación de los dispositivos PIC y una última donde se depurarán las aplicaciones que se realicen sobre el PIC 16F877.

La elección del PIC 16F877 se debe a que engloba en un solo chip todas las posibilidades que nos ofrecen los dispositivos de la gama media en conjunto. Por ello y debido al enfoque didáctico aplicado a la tarjeta, el 16F877 es el más indicado. Además posee el número máximo de pines que puede contener un dispositivo de la gama media que son 40 en formato DIP.

De esta manera con un mismo zócalo y la ayuda de los adaptadores convenientes podemos programar los dispositivos de patillaje inferior como son los de 28 y 18 pines para los de formato DIP.

Con este diseño conseguimos agrupar en una sola tarjeta un módulo de pruebas para el PIC 16F877, con los dispositivos periféricos más comunes que pueda soportar dicho PIC, y otro módulo para programar este microcontrolador y otros de la

misma gama de Microchip incluida la alimentación de 220V~ de la red eléctrica, evitando así el uso de fuentes de alimentación externas.

Como ya se ha comentado la tarjeta DEPROG877 está estructurada en 3 grupos, que son el de alimentación, programación y depuración. A continuación describiremos más detalladamente estos grupos.

### Alimentación

A partir de los 220V~ de alimentación de la red eléctrica obtenemos una alimentación de 5V DC, para el funcionamiento del microcontrolador y el resto de periféricos, y otra de 13.8V DC para la programación de los PIC's (ver figura 2).

El módulo consta de un transformador de alterna de 220V~ a 18V~. Se trata de un transformador de 16VA capaz de generar hasta 1 amperio de corriente. Incluye además un puente de diodos rectificador doble onda para la señal de 18 voltios y un condensador de 1000µF para filtrar la señal rectificada y utilizar únicamente la continua. Se utilizan dos reguladores de 12 y 5 voltios para obtener las tensiones de programación y alimentación.

Al regulador de 12 voltios 7812 se ha añadido tres diodos 1N4001 para incrementar esa tensión de programación de 12 voltios hasta los 13.8 V.

El rango de valores de esta tensión, que recomienda Microchip, está comprendido entre los 12 y los 14 voltios. Los 13,8 voltios provienen de la suma de las tensiones de polarización directa de los diodos o tensiones umbrales (V<sub>γ</sub>) de 0,6V más la del regulador de 12 voltios como se ve en la figura 2.

$$V_{PP} = V_{7812} + 3 * V_{\gamma} = 12 + (3 * 0,6) = 13,8 \text{ V}$$

La resistencia R1 ayuda a la polarización de los diodos manteniendo una corriente constante de 1,2mA.

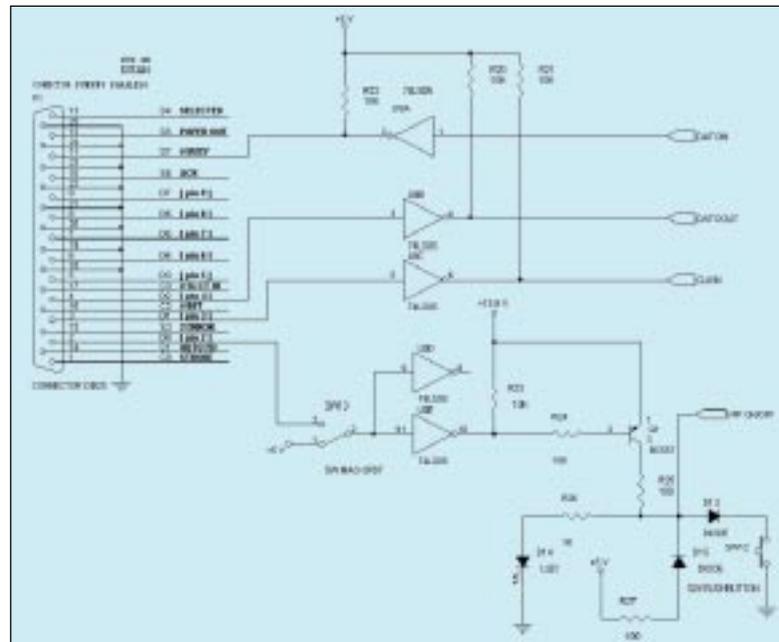


Figura 3 Circuito de control de programación.

### Programación

La programación de estos dispositivos se realiza a través del puerto paralelo por su facilidad de manejo y rapidez. Además se utiliza una alimentación fija de 13.8 voltios para asegurar la programación (figura 3).

La corriente máxima que puede llegar a dar de salida el puerto paralelo es de 2,4 mA. Debido a esta limitación de corriente de salida que posee el puerto paralelo ha sido necesario añadir un buffer 74LS06 para aumentar esa corriente. Las señales

necesarias para la programación son una línea de reloj (CLKIN), una línea de datos, transmisión (DATOOUT) y recepción (DATOIN) y una línea de programación.

A pesar que la recepción y transmisión se realice a través de una misma línea es necesario utilizar dos pines del puerto paralelo ya que en el modo estándar o SSP, que es el permitido por los tres tipos de puertos, el registro de datos no es bi-direccional. Debido a la unión de estas dos líneas (DATOOUT y DATOIN) el buffer ha de ser en colector abierto para evitar forzar señales a la salida. También necesitaremos otro pin de salida del puerto paralelo, sacado del registro de datos DTR, para generar la señal de reloj.

La otra línea utilizada sirve para activar la tensión de programación. Lleva una circuitería adicional, ampliada en la figura 4, para activar un led en el caso de que esté activada la tensión de programación (VPP), mantener una tensión de 5V en el caso de que no esté activada VPP y reiniciar el sistema con ayuda del pulsador SW12.

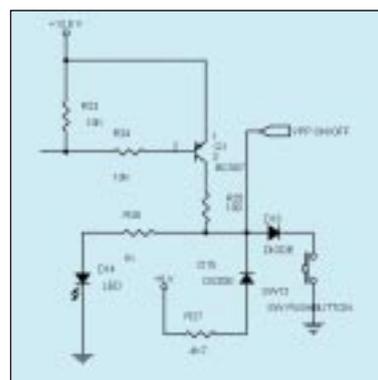


Figura 4 Control de la tensión de programación

Figura 6 Selección de la línea de VPP para la programación.

Cuando en la base del transistor Q1 hay 0 voltios (un nivel bajo), debido a que es de tipo PNP el transistor, estará conduciendo, por lo que la tensión de programación VPP ON/OFF es de 13,8 voltios menos la tensión de saturación ( $V_{CESAT}=0,2v$ ). Cuando se tiene 13,8 voltios en la base de Q1 el transistor estará en corte por lo que la tensión VPP ON/OFF es de 5 voltios o lo que es lo mismo VDD. En cualquiera de las dos situaciones cuando se pulsa SW12, se lleva a tierra la señal VPP ON/OFF por los que se provocará un *reset* al levantarlo.

Con objeto de simplificar el manejo del puerto paralelo [6], a la hora de realizar el proceso de programación del microcontrolador, se usarán únicamente los registros del puerto paralelo datos (DTR) como salida de éstos y el de estado (STR) como entrada. E modo de uso del puerto será el estándar (SPP). Ver respectivamente Tablas 1 y 2.

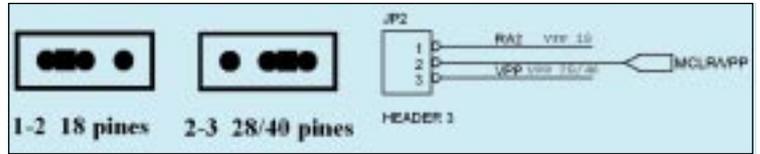
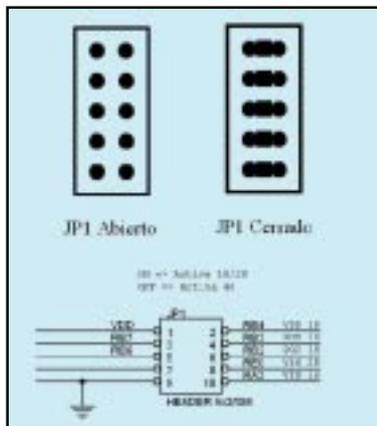
Tabla 1 Utilización del registro de datos del puerto paralelo (DTR).

D7	D6	D5
NC	NC	NC
D3	D2	D1
VPP	CLK	DOUT

Tabla 2 Registro de estado del puerto paralelo (STR).

S7	S6	S5	S4	S3
BUSY	ACK	PAPER	SELECT	ERROR
EBN	NC	NC	NC	NC

Figura 5 Selección de alimentación, datos y reloj para programación.



Para seleccionar el integrado que se desea programar existen en la placa dos *jumper*s JP1 y JP2. Con JP1 se direccionan las líneas de programación hacia los pines de programación de los dispositivos de la gama media de Microchip de 40 pines en el caso de estar abierto y para los de 28 y 18 pines cuando está cerrado (figura 5).

El *jumper* JP2 selecciona la señal de la tensión de programación  $V_{pp}$  en función de que el dispositivo a programar sea de 18 pines ó de 28/40 pines. Si unimos los pines 1-2 del conector  $V_{pp}$  esta conectada para programar los de 18 pines y si unimos el 2-3 para los de 28/40 pines (fig. 6).

### Periféricos

Se trata de un sistema formado por una serie de periféricos muy comunes que nos ayudarán a depurar cualquier aplicación que hagamos sobre el PIC 16F877 y ha comprender mejor su funcionamiento. En este modulo destacamos una parte analógica, y otra digital, una de almacenamiento de datos y otra de comunicaciones, tal y como muestra la tabla 3.

Tabla 3 Contenido modular de la tarjeta.

Módulo	Periférico	Uso
Analógico	-Potenciómetros variables	Trabajar con los conversores analógicos
	-Entrada analógica con ganancia programable.	Aportar a nuestro diseño una medida externa.
Digital	-Microswitch de 4	Entrada digital configurable para obtener diferentes estado.
	- 8 leds.	Salida digital para representar estados del programa.
Memoria	-EEPROM Serie de 64K.	Almacenamiento de datos no volátiles. Uso de las comunicaciones serie sincronas.
Comunicaciones	-RS232	Aportar periféricos externos.
	- Conectores de expansión	Uso de las comunicaciones serie sincronas. Posibilidad de aportar otros periféricos a nuestro sistema.
Visualización	-Display LCD	Mantener un contacto continuo con el desarrollo del programa.

### Unidad analógica

Formada por tres señales analógicas que varían en un rango de 0-5V conectadas a las entradas analógicas del PIC AN5, AN6 y AN7. Estas señales se pueden habilitar o no, con los *jumper*s SW7, SW5 y SW4 respectivamente como se puede apreciar en la figura 7. Se pueden utilizar para trabajar con los conversores A/D y comparadores del PIC.

Existe otro circuito que podemos englobar dentro del apartado de señales analógicas y sería el formado por una parte acondicionadora de señal que se introduce por el conector CON2 unido a la entrada analógica del PIC AN4 (RA5).Esta entrada puede ser habilitada o deshabilitada por el *jumper* SW8 como se puede ver en la figura 8.

El circuito acondicionador es un amplificador con ganancia programable digitalmente y un circuito para eliminar el *offset* de entrada. La ganancia es variable y programable a través de una resistencia digital X9C100 [7]. El valor exacto de dicha ganancia es:

$$\frac{V_o}{V_e} = 1 + \frac{R6}{RU4}$$

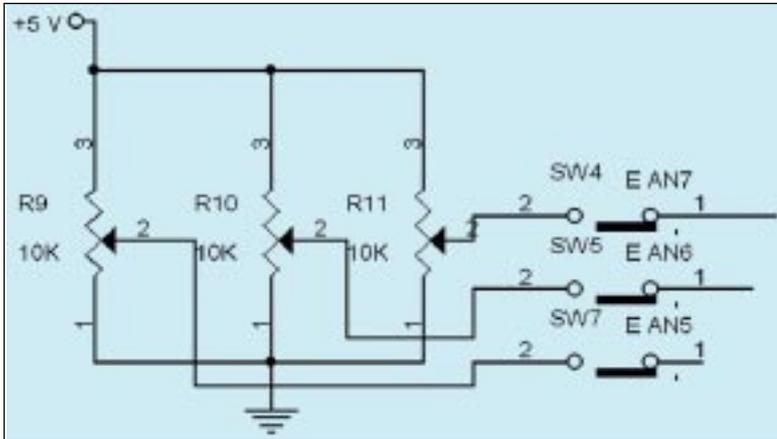


Figura 7 Entradas Analógicas.

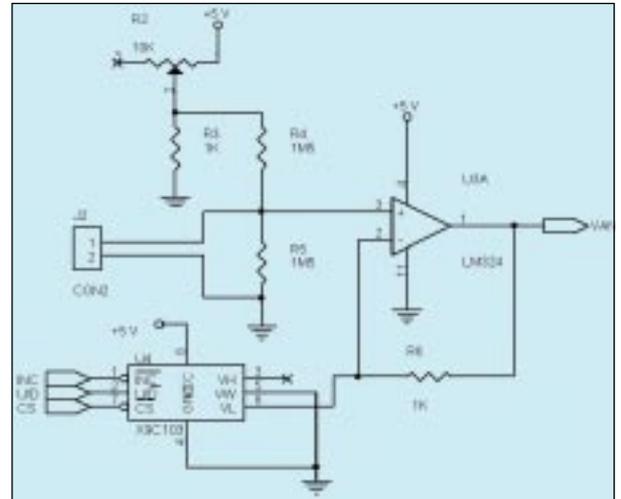


Figura 8 Entrada analógica controlada digitalmente.

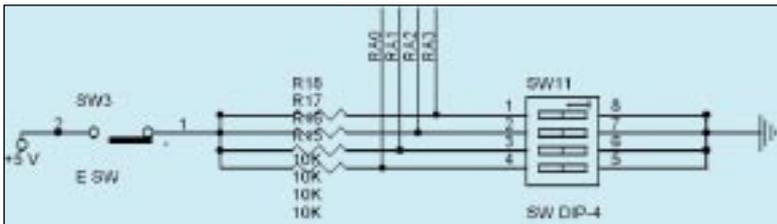


Figura 9 Entradas digitales

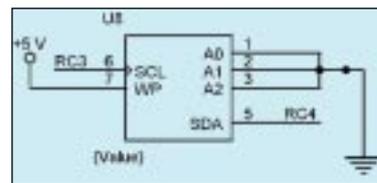


Figura 11 Memoria SPI.

**Unidad digital**

Está formada por una serie de entradas y salidas digitales, es decir que sus valores están entre los márgenes TTL, 0 voltios para un nivel bajo y 5 voltios para un nivel alto (ver figura 9). Existe también un periférico (figura 10) formado por 8 leds activados por un nivel alto de las señales del Puerto D: RD0, RD1, RD2, RD3, RD4, RD5, RD6 Y RD7 para los leds D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11 y D12 respectivamente.

Estos leds pueden ser desactivados, igual que todos los periféricos de la placa, en conjunto mediante el

jumper SW2.

**Unidad de Almacenamiento**

En todo sistema digital debe existir un módulo de almacenamiento de datos en el cual se guardan parámetros de configuración, datos de estado de los periféricos, etc.. Estos datos deben mantenerse en memoria aunque la alimentación del sistema se interrumpa por lo que la memoria elegida para esta función es una EEPROM de 64 Kbytes (24C16). Se trata de una memoria de comuni-

cación serie I2C a través del protocolo SPI (integrado en el dispositivo controlador) con lo que conseguimos trabajar con los 64 Kbytes de la memoria con solo dos líneas (SDA y SCL). El 16F877 (ver figura 11) posee una memoria EEPROM interna de 256 bytes pero para aumentar la capacidad de este tipo de memoria y la función didáctica de la placa se ha

Figura 10 Salidas digitales. Leds de señalización.

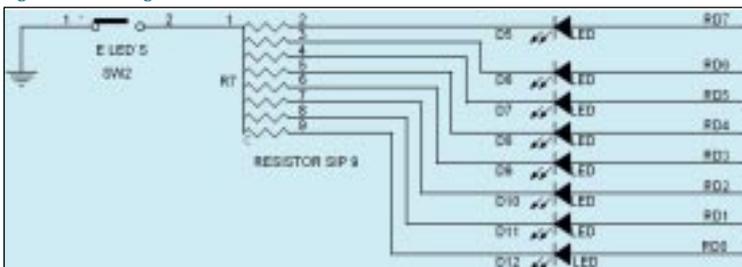
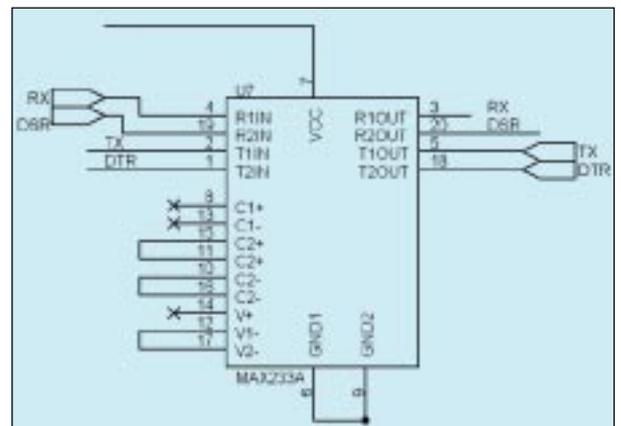


Figura 12 Conversor RS232



seleccionado esta memoria con acceso SPI.

**Unidad de transmisión**

El protocolo de transmisión serie RS232 es utilizado por una gran variedad de dispositivos y periféricos. Por ello y para aumentar la potencia de nuestra placa de evaluación es indispensable añadir un *driver* MAX232, o un MAX233 en nuestro caso (fig. 12), para adaptar los niveles TTL (0 y 5V) de salida del  $\mu$ C a los niveles RS232 (+12 y -12V) con los que trabaja cualquier dispositivo que posea este tipo de comunicación como puede ser un PC.

Este estándar de comunicacio-

RB0-RB7. Los pines 9 y 10 del conector están unidos a alimentación y a masa para tener una referencia en caso necesario. El conector J5 (figura 14) soporta el puerto RC en los pines 1-8 que representan RC0-RC7. Los pines 9 y 10 están también unidos a la alimentación y masa del circuito. Es el puerto de comunicaciones: RC6 y RC7 son TX y RX para la comunicación serie RS232, RC3, RC4 y RC5 son SCK/SCL, SDI/SDA y SDO respectivamente para el resto de comunicaciones serie. También incluye las conexiones de los temporizadores, comparadores, capturadores, generadores de PWM, etc., mediante los pines RC0, RC1 y RC2 para

T1OSO/T1CK1, T1OSI/CCP2 y CCP1 respectivamente.

El conector J3 (figura 15) une el puerto RD (RD0-RD7) en los pines 1-8 del conector y el puerto RE (RE0-RE2) en los pines 9-11 quedando el pin 12 sin conexión. Los puertos RD y RE son puertos de E/S comunes y utilizados también para el PSP o *Parallel Port Expanded*. El conector J6 (figura 16) nos facilita la unión con el puerto analógico RA (RA0-RA4) mediante los pines 1-5

**Unidad de visualización**

Para tener un control constante de cualquiera de los dispositivos periféricos o de la situación del programa que corre sobre la placa es muy útil utilizar un sistema de visualización como pueden ser unos leds, ya incluidos en la parte de la unidad digital, o un display LCD (*Liquid Cristal Display*). El display utilizado es del fabricante *Hitachi* cuyo modelo es el LM016L. Se trata de un display de 1 o 2 líneas seleccionables mediante unos registros de control con un tamaño de caracteres de 5x7 puntos para la configuración de una línea y de 5x7 ó 5x10 para la configuración de dos líneas. El número de caracteres representables en cada línea es de 16.

Este periférico se controla mediante 3 líneas conectadas al microcontrolador y un flujo de datos paralelo de 8 ó 4 bits. En nuestro caso hemos utilizado el modo de 4 bits para minimizar el número de líneas utilizadas por el display.

Además este periférico lleva integrado un sistema para controlar el contraste. Esta regulación se realiza mediante el potenciómetro R8.

**Conclusiones**

Como se ha visto, se ha conseguido una tarjeta versátil que permite programar toda una gama de dispositivos, permite extender su uso a otros dispositivos ya sea vía serie, a través del RS232, o directamente con

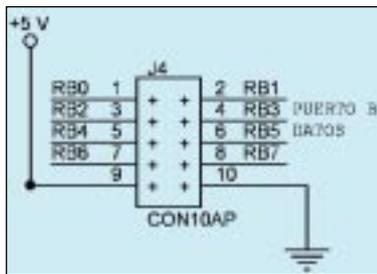


Figura 13 Expansor del puerto B

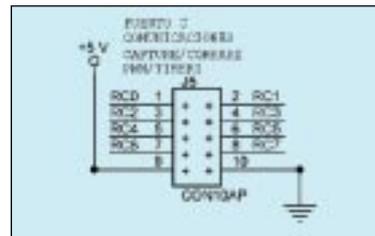


Figura 14 Expansor del puerto C.

nes utiliza, además de la línea de transmisión TX y recepción RX, líneas de control como DTR (*Data Terminal Ready*) y DSR (*Data Send Ready*) para mejorar y asegurar la comunicación. Por ello la placa de evaluación tiene conectado para su control estas dos señales con niveles de salida RS232. El conector utilizado para este tipo de comunicaciones es el DB9 o DB25 (solo en dispositivos antiguos) cuyos pines tienen una función específica.

Para aumentar aún más la potencia y versatilidad de la placa entrenadora existen una serie de conectores unidos a los puertos del microcontrolador para poder controlar otro tipo de periféricos que no han sido incluidos y tener disponibles todos y cada uno de los pines.

El conector J4 (figura 13) enlaza el Puerto RB del 16F877 con el exterior mediante los pines 1-8 que son

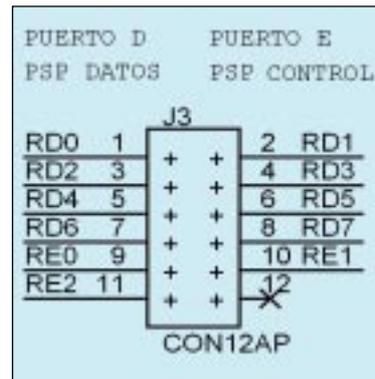


Figura 15 Expansor de los puertos D y E.

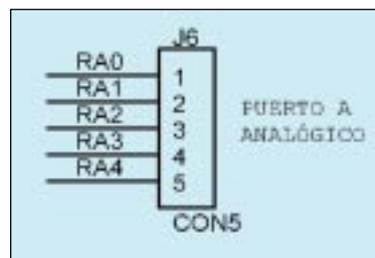


Figura 16 Entradas analógicas externas.

los puertos del microcontrolador.

Es una tarjeta *completa* que permite depurar y desarrollar cualquier aplicación ya que permite trabajar con gran variedad de periféricos muy diversos que van desde un simple led hasta el display LCD.

Uno de los principales objetivos por los que se creó esta tarjeta, era para conseguir un sistema *didáctico* de muy bajo coste, pero con una gran flexibilidad, en cuanto a que permite comprender y desarrollar aplicaciones con todos los módulos de la gama media, en mayor o menor medida. El PIC 16F877 es un dispositivo sencillo y nos introduce en el mundo de los microcontroladores y las máquinas RISC. Además los periféricos que se han utilizado son de

los más comunes y variados por lo que supone una buena base para iniciarse en la electrónica.

En la página web de los autores, se encuentran todos los esquemas completos de esta placa así como el entorno de programación de estos dispositivos. □

### Referencias

- [1] C. Fernández, I. Fernández, J.L. Lázaro (1999). Diseño de PCB's Layout Plus 7.01, Volumen I. Servicio Publicaciones Universidad de Alcalá.
- [2] C. Fernández, I. Fernández, J.L. Lázaro (1999). Diseño de PCB's Layout Plus 7.01, Volumen II. Servicio Publicaciones Universidad de Alcalá.
- [3] 16F87x Datasheet. <http://www.microchip.com/download/lit/pline/picmicro/families/16f87x/30292c.pdf>
- [4] In-Circuit Serial Programming Guide (año 2000) (<http://www.microchip.com/download/tools/picmicro/program/icsp/30277c.pdf>)
- [5] Ó. Durán Mora (2002). Entorno de programación de PIC's de gama media. Trabajo Final Carrera. Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá.
- [6] Normativa puerto paralelo: <http://www.fapo.com/ieee1284.htm>
- [7] Digitally Controlled Potentiometers – Product Selection Guide. <http://www.xicor.com>