



# Intensidad luminosa (y II)



## Cómo construir una estación meteorológica (III)

Ya que terminamos este mes con la medida de la intensidad luminosa, deseamos aclarar que en el desarrollo de los diferentes artículos, con el objeto de que los lectores puedan experimentar con los distintos montajes, se emplearán como parte «inteligente» el módulo 01SM (descrito en el número 111, septiembre de 1999) y el módulo 01SM28, así como el Módulo de Aprendizaje (descrito en el número 112, octubre 1999) para la presentación de los datos.

**A**nte la petición de numerosos lectores, hemos decidido que al finalizar la serie se presentará un *kit* de la estación meteorológica completa, constituyendo un aparato totalmente autónomo. Éste incluirá una placa PCB, una pantalla de cristal líquido LCD para la presentación de los datos y un puerto de comunicaciones con el PC, así como el software necesario para su correcto funcionamiento.

### ■ El hardware

En la «fotografía 1» se presenta todo el montaje. Éste se divide en tres secciones diferenciadas:

**Sección analógica:** Encargada del acondicionamiento de la señal procedente del BPW21.

**Sección de presentación de los datos:** Realizada mediante los tres *displays* de 7 segmentos del Módulo de Aprendizaje.

**Sección de medida y control:** De ella se encarga el Módulo-01SM28 con su microcontrolador un PIC16F876.

### ■ Sección de acondicionamiento de la señal del BPW21

En esta sección se han introducido unas pequeñas modificaciones respecto a la «figura 2» del mes pasado (abril 2001). Dichas modificaciones están encaminadas a que se realice de forma totalmente automatizada por parte del microcontrolador PIC16F876 el cambio de la escala de medida.

En la «fotografía 1» el fotodiodo aparece en la parte superior de la misma. Para facilitar su

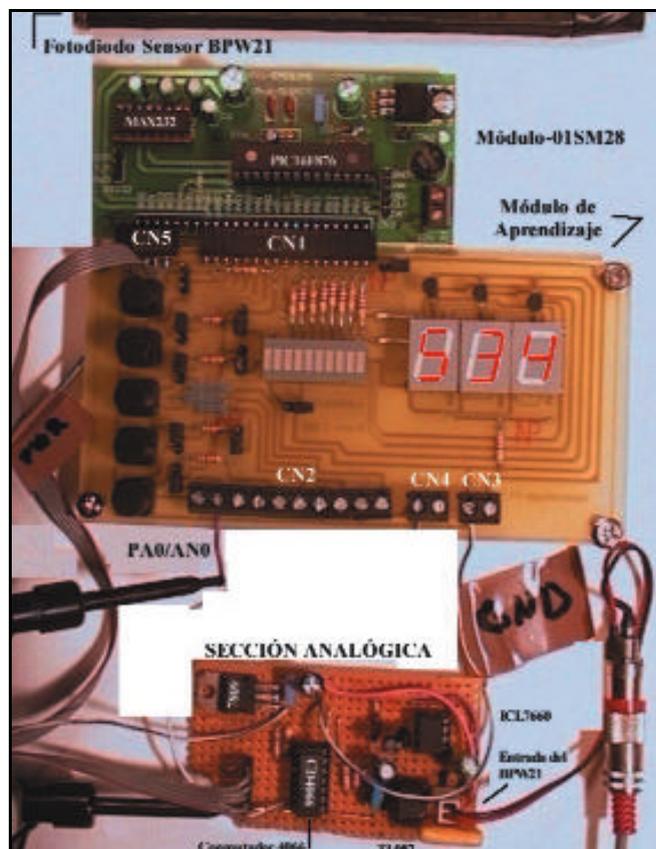
manejo, éste se ha introducido en una varilla de plástico, fijándolo por uno de sus extremos. Además, dicha varilla se ha envuelto con cinta aislante de color negro para evitar posibles interferencias. Los cables procedentes del BPW21 salen por el otro extremo de la varilla y se conectan a la sección analógica (parte inferior de la fotografía) en el conector CN6. El fotodiodo está polarizado en sentido inverso y se mide

la intensidad de la corriente que entrega. Esta corriente es directamente proporcional a la cantidad de luz incidente y circula desde el cátodo al ánodo. Actúa como una «fuente de corriente fotocontrolada», es decir, como un «convertidor luz/corriente», si así se prefiere.

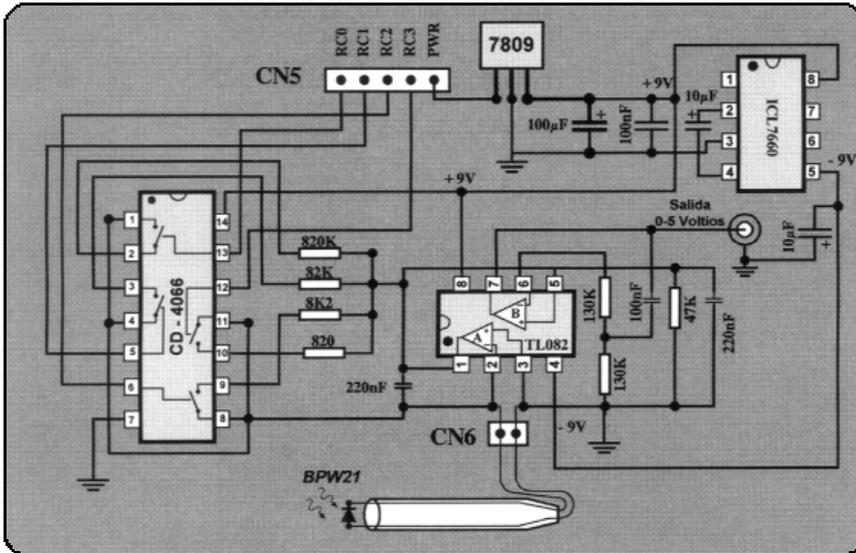
Montado de esta forma, el fotodiodo BPW21 permite medidas luminosas de débil magnitud, ya que puede llegar por el margen inferior a medir intensidades luminosas de 0,1 lux sin pérdida de linealidad. En el rango de linealidad del fotodiodo BPW21 conectado en modo de fotocorriente se comprueba que la conversión es lineal en un rango que va desde  $10^{-2}$  hasta  $10^5$  lux. Además, una de las características esenciales del montaje en fuente de corriente es que la relación entre la intensidad de la luz incidente y la corriente de cortocircuito del diodo es totalmente lineal. La segunda ventaja del montaje como fuente de corriente es que su margen dinámico es bastante más amplio que el montaje en fuente de tensión.

Volviendo al esquema eléctrico, el fotodiodo se conecta entre masa y la entrada inversora del amplificador operacional A (pin 2). Se obtiene así una tensión de salida (V) utilizando una resistencia de contrarreacción R. El voltaje a la salida será igual a  $V = R \times I$ , siendo «R» la resistencia de contrarreacción e «I» la corriente que atraviesa el fotodiodo. Comprobará, en primer lugar, que entre el ánodo conectado a la entrada positiva del amplificador operacional A (pin 3) y masa y el cátodo conectado a la entrada negativa del operacional (pin 2) no hay solamente una única resistencia de contrarreacción R, sino varias.

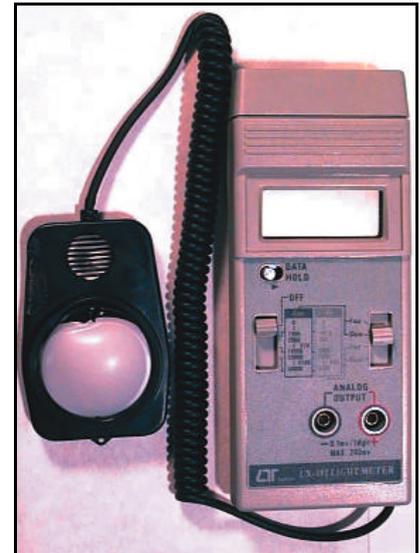
En realidad R no es una sola resistencia, sino cuatro resistencias (R1-820K, R2-82K, R3-8K2 y R4-820 ohmios). Según se inserte una u otra en el cir-



«Fotografía 1». Aquí vemos todo el montaje.



«Figura 2». Esquema eléctrico del circuito analógico acondicionador de la señal procedente del BPW21. El amplificador operacional elegido es un modelo de Texas Instruments TL082 tipo FET, cuya elevadísima impedancia de entrada constituye una carga despreciable para el fotodiodo.



«Fotografía 2». La curva de calibración y el ajuste de las medidas se ha realizado con la ayuda de un luxómetro LX-102.

cuito, se conmutará entre uno de los cuatro diferentes rangos de medida, que van desde 50 a 50.000 lux o más.

La salida del OP-AMP A se lleva a la entrada positiva del OP-AMP B (1/2 TL082), que se encarga de amplificar la señal llevándola a un nivel comprendido ente 0 y 5 voltios, que es el rango de entrada del convertor A/D del PIC16F876.

Resumiendo, como respuesta a la intensidad luminosa el sensor (BPW21) produce una pequeña corriente eléctrica comprendida entre  $10^{-4}\mu\text{A}$  (para una iluminación de unos 0,01 lux) y  $10^3\mu\text{A}$  (para unos 100.000 lux de iluminación), que es transformada en un voltaje comprendido ente 0 y 5 voltios por el circuito acondicionador de señal.

■ **Medida y control mediante el módulo 01SM28**

El voltaje de salida procedente de la sección analógica se introduce por la primera entrada del convertor analógico-digital (pin A0/AN0) del PIC16F876, a través del conector CN2 del Módulo de Aprendizaje. El microcontrolador realiza la conversión de este voltaje a un dato digital y a continuación presenta el valor en

## Programación de los bits de configuración de las entradas del convertor A/D

Para hacer funcionar el convertor se procede de la siguiente forma:  
 –Se configura el convertor programando los bits de los registros control. Configuramos el voltaje de referencia (ADCON1) y los pines de entrada A/D (ADCON0), seleccionamos el reloj de conversión (ADCON0) y activamos el módulo de conversión (ADCON0).

–Activamos o no las interrupciones que proceden del convertor (si lo deseamos), borramos el bit ADIF y colocamos a 1 ADIE y GIE.

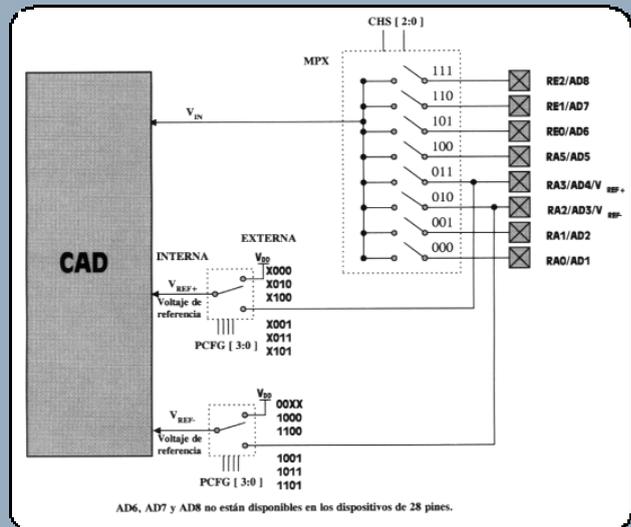
–Esperamos el tiempo de conversión requerido.  
 –Iniciamos la conversión colocando a 1 el bit GO/DONE (ADCON0).

–Esperamos la finalización de la conversión:  
 1 Comprobando la puesta a 0 del este bit (GO/DONE)  
 2 A través de la interrupción que produce el convertor si ésta ha sido activada.

–En este momento puede leerse el resultado en el par de registros (ARDES:ADRESL). Colocamos a 0 el bit ADIF si es necesario.

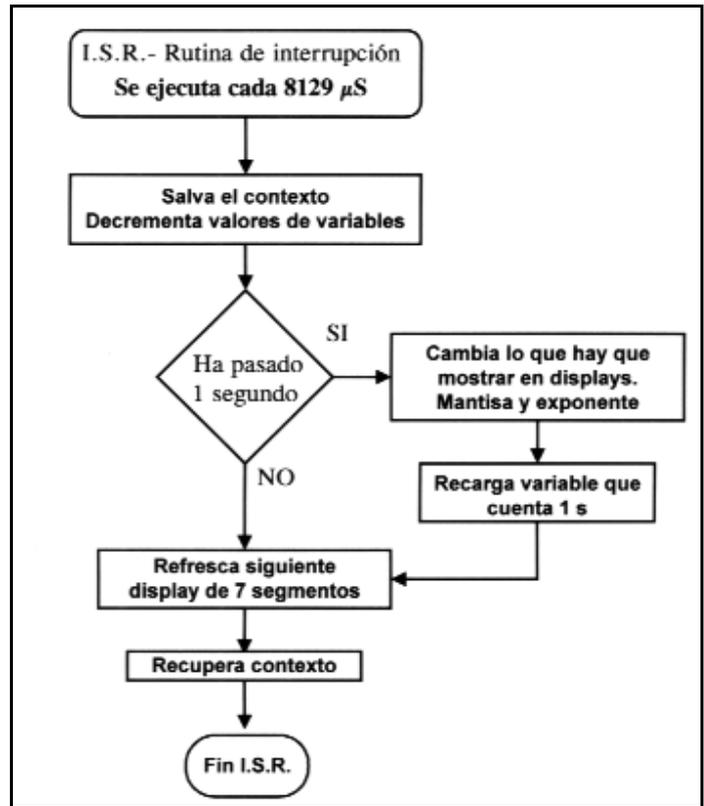
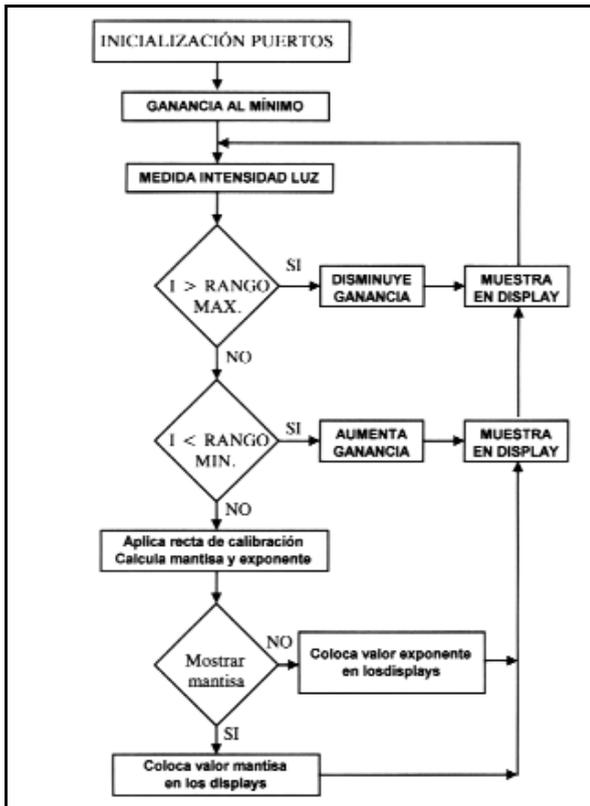
–Para la siguiente conversión, volvemos a repetir los pasos. El tiempo de conversión por bit viene definido por  $T_{AD}$ . Es necesaria una espera mínima de  $2 T_{AD}$  para comenzar la siguiente adquisición.

–Una vez esperado un tiempo mayor o igual a  $2T_{AD}$  (este tiempo debe ser superior a  $2\mu\text{s}$  para asegurar el correcto fun-



Conexionado de los pines implicados en los canales de entrada y tensión de referencia del PIC16F87X.

cionamiento del convertor); ahora se puede pedir la siguiente conversión, ya sea del mismo canal o de otro. Por una razón no explicada no hay que poner a 1 los bits ADON y GO/DONE con la misma instrucción, sino realizado en dos operaciones sucesivas.



lux en los tres *displays* electroluminiscentes de 7 segmentos del Módulo de Aprendizaje.

Asimismo, el PIC16F876 comprueba en cada medida si el rango seleccionado es correcto; si no fuese así, lo modificaría desde las líneas RC0, RC1, RC2 y RC3, que llegan a la sección analógica a través de un pequeño cable plano conectado a CN5. Los *displays* de siete segmentos del Módulo de Aprendizaje están gobernados por los pines A1, A2 y A3 del microcontrolador.

La curva de calibración y el ajuste de las medidas se ha realizado con la ayuda de un luxómetro LX-102 que se presenta en la «fotografía 2».

■ El programa

Como es nuestra costumbre, presentamos un organigrama simplificado del progra-

ma escrito en ensamblador. Al ser éste demasiado extenso, el código completo se incluye en el CD de la revista (sección «VNU Labs», apartado «Estación meteorológica»). El programa consta de una rutina principal y de una rutina de servicio de interrupción (I.S.R.) que se ejecuta cada 8.129 μs.

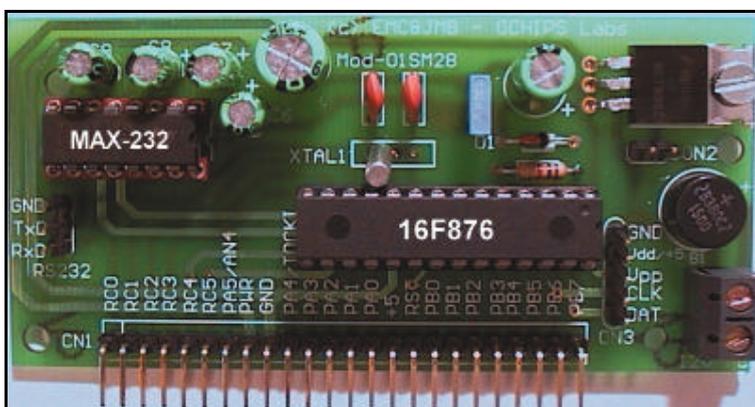
La rutina principal es un bucle sin fin cuyo funcionamiento es el siguiente: una vez configurados correctamente todos los puertos del microcontrolador, éste coloca la resistencia para el margen más pequeño (820K).

A continuación realiza la medida de la intensidad luminosa. En realidad se hacen varias medidas de la misma y se obtiene la media. Cuando ya se dispone del valor de esta medida, el microcontrolador ha de

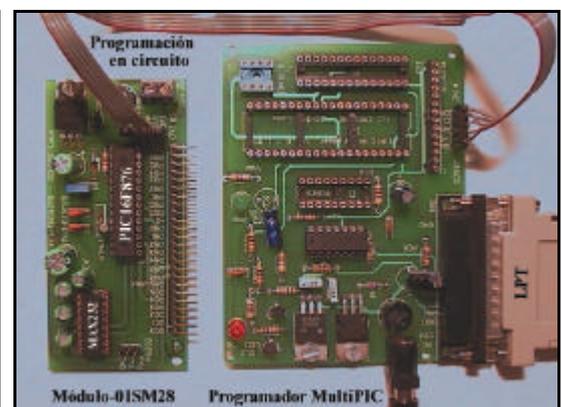
comprobar que se encuentra en el margen correcto, es decir, comprueba si ha de disminuir o aumentar el rango la medida.

Si fuese necesario aumentar o disminuir el rango de medida, el microcontrolador se encargaría de intercalar la resistencia de contrarreacción adecuada y volvería a repetir nuevamente las medidas. Establecido el margen de ganancia correcto, se aplica a la medida realizada la recta de calibración para su conversión en lux y se coloca el valor correcto para la mantisa y el exponente en sus variables.

La segunda parte del programa, que se presenta en el segundo organigrama, es una rutina de servicio de interrupción (I.S.R.) que se encarga de actualizar el valor presentado en los *displays* electroluminiscentes una vez por segundo.



Módulo 01SM28.



Módulo 01SM28 y programador MultiPIC.



■ Sección de control y medida

El Módulo-01SM28 conforma la sección de medida y control, incorporando uno de los más recientes microcontroladores, el PIC16F876, aunque puede llevar cualquiera de los de 28 pines del fabricante. Este módulo, cuyo esquema eléctrico se presentaba en la «figura 3» del número pasado (abril 2001), es muy similar al Módulo-01SM que vimos en los primeros artículos y que se ha usado profusamente hasta el momento en esta serie. Posee también comunicación serie basada en un IC MAX-232, que se encarga de la comunicación con el ordenador personal.

Dado el mayor número de pines del PIC16F876, el conector CN1 dispone de 24 líneas en lugar de las 17 del Módulo-01SM. Ahora bien, para mantener al máximo la compatibilidad, los 17 pines de la derecha del CN1 son exactamente los mismos y ocupan igual posición en ambos módulos. Esta compatibilidad le permite ser empleado conjuntamente con el Módulo de Aprendizaje.

También se ha tenido en consideración, que al contar un mayor número de pines, aumenta el riesgo de rotura de alguna de sus patillas cuando se retira del módulo para llevarlo al programador y viceversa. La solución ha sido fácil, dado que el programador MultiPIC dispone de un conector para programación en circuito; sólo ha sido necesario dotar al módulo de este conector. De esta manera, con el uso de un pequeño cable se puede programar el microcontrolador PIC16F876 sin necesidad de retirarlo del módulo.

■ El PIC16F876. Su convertor A/D

Las funciones más importantes de la estación meteorológica serán gestionadas por el microcontrolador PIC16F876. Los microcontroladores PIC16F873/876 de 28 pines poseen cinco entradas A/D en los pines AO/ANO, A1/AN1, A2/AN2, A3/AN3 y A5/AN4, mientras que los PIC16F874/877 de 40 pines poseen ocho entradas A/D.

Las entradas se realizan a través de la Puerta A y el

Bibliografía

Martín Cuenca, E., Angulo J.M., y Angulo, I. (2000). «Microcontroladores PIC. La solución en un chip» 4ª Edición. Paraninfo-ITP.

ADCON0						
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
Bit 0 ADON (AD On)		Comutación A/D 1 = Activado 0 = Desactivado sin consumo de energía				
Bit 1 ---		No implementado				
Bit 2 GO/DONE		Comienzo y Final de Conversión. Si ADON=1 1 = Al poner este bit a 1 comienza la conversión 0 = Final de la conversión, resultado en ADRES. Es puesto automáticamente a 0 por el hardware.				
Bit 3-5 CHS0-CHS1-CHS2 (Channel Select 0 y 1)		Selección Canal a convertir AIN0 - AIN3 000 = Canal 1 AIN0/RA0 001 = Canal 2 AIN1/RA1 010 = Canal 3 AIN2/RA2 011 = Canal 4 AIN3/RA3 100 = Canal 5 AIN4/RA5 101 = Canal 6 AIN5/RE0 en PIC16F874/877 110 = Canal 7 AIN6/RE1 en PIC16F874/877 111 = Canal 8 AIN7/RE2 en PIC16F874/877				
Bit 6-7 ADCS0 ADCS1 (AD Clock Select 0 y 1)		Frecuencia del reloj de conversión 00 = FOSC / 2    01 = FOSC/8 10 = FOSC / 32    11 = Reloj oscilador interno RC				

Fuente de reloj para A/D (TAD)		Frecuencia funcionamiento PIC			
	ADCS1:ADCS0	20 MHz	5 MHz	1,25 MHz	333 KHz
2 TOSC	00	100 ns (2)	400 ns (2)	1,6µ	6µ
8 TOSC	01	400 ns (2)	1,6µ	6,4µ	24µ
32 TOSC	10	1,6µ	6,4µ	25,6µ	96µ
R C	11	2-6µ	2-6µ	2-6µ	2-6µ

(1) La fuente RC tiene un tiempo TAD típico de 4µ  
(2) Viola el mínimo tiempo requerido por TAD

número de éstas puede definirse en el programa utilizando los bits adecuados del registro de control. La referencia de tensión seleccionada puede ser interna  $V_{DD}$  o externa  $V_{REF}$ . Esta última se referencia como tensión de entrada aplicada a los pines  $RA2/AN2/V_{REF-}$  y  $RA3/AN3/V_{REF+}$ . La

Más información

Para contactar con los autores del artículo:  
Dr. Eugenio Martín Cuenca  
Ing. Luis Javier Asensio Morcillo  
Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.  
E-mail: emartin@goliat.ugr.es  
<http://curtis.urg.es>

fuente de referencia puede seleccionarse individualmente para cada una de las entradas entre interna o externa. El usuario debe actuar con precaución, ya que la precisión de la conversión depende del voltaje de referencia aplicado, y la diferencia entre  $V_{REF-}$  y  $V_{REF+}$ , que no debe ser inferior a 2 voltios.

La entrada A/D seleccionada carga un condensador de muestreo y retención cuyo voltaje es la entrada a convertir. El convertor genera una salida equivalente digital de 10 bits mediante el método de aproximaciones sucesivas, que es almacenado en un registro de 16 bits. Las líneas de entrada del A/D que están compartidas con las E/S del Puerto A deben ser configuradas como entradas cuando se selecciona el modo A/D. El multiplexor interno estará conectado a la entrada seleccionada sólo durante el tiempo necesario para cargar el condensador. La precisión de la conversión depende de la carga de éste, que debe ser igual que el voltaje de entrada.

El tiempo necesario se denomina  $T_{AD}$  y depende de la velocidad de conversión deseada y de la frecuencia del reloj. Debe tenerse en cuenta la impedancia de la fuente externa y la del convertidor de muestreo interno, pues afectan a la carga del condensador y por tanto al tiempo de adquisición. La máxima impedancia recomendada de la fuente de señal de entrada es de 10K ohmios. La velocidad de muestreo puede seleccionarse bajo control del software.

El convertor A/D puede funcionar cuando el microcontrolador se encuentre en modo SLEEP. Los registros de control son ADCON0, que se encarga de seleccionar el canal, el reloj de conversión, apagado/encendido y el comienzo y fin de la conversión, y ADCON1, para la selección de la entrada entre analógico y digital. Los registros para el resultado de la conversión son ADRESH y ADRESL y para activación de interrupción del A/D INTCON.

Dr. Eugenio Martín Cuenca  
Ing. Luis Javier Asensio

ADCON1											
ADFM	---	---	---	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0				
Los bits PCFG3, PCFG2, PCFG1 y PCFG0 ( Puerto de Configuración 0, 1, 2 y 3). Estos cuatro bits tienen la misión de permitir seleccionar entre los puertos analógicos y digitales de RA0 a RA5, RE0 a RE2, así como la tensión de referencia.											
PCFG0 PCFG3	AD8 RE2	AD7 RE1	AD6 RE0	AD5 RA5	AD4 RA3	AD3 RA2	AD2 RA1	AD1 RA0	V <sub>REF+</sub>	V <sub>REF-</sub>	CANAL R <sub>EF</sub>
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	8/0
0001	A	A	A	A	V <sub>REF-</sub>	A	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	5/0
0011	D	D	D	A	V <sub>REF-</sub>	A	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	3/0
0101	D	D	D	D	V <sub>REF-</sub>	D	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	0/0
1000	A	A	A	A	V <sub>REF-</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	6/0
1010	D	D	A	A	V <sub>REF-</sub>	A	A	A	RA3	V <sub>SS</sub>	5/1
1011	D	D	A	A	V <sub>REF-</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	V <sub>REF-</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	V <sub>REF-</sub>	V <sub>REF-</sub>	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	1/0
1111	D	D	D	D	V <sub>REF-</sub>	V <sub>REF-</sub>	D	A	RA3	RA2	1/2

D: Digital    A: Analógica.