

Módulo de Conversión A/D



Características generales en el PIC16F877

Ocho canales de conversión.

Cinco pines de *PORTA* y los tres de *PORTE*.

Convierte la señal analógica en un número digital de 10 bits.

Tensión de referencia seleccionable por software.

Puede ser V_{DD} o la tensión aplicada en los pines *RA2* y/o *RA3*.

Posibilidad de seguir funcionando cuando el PIC está en modo *SLEEP*.

Hay 11 registros asociados a este periférico.

Definición de pines de entrada

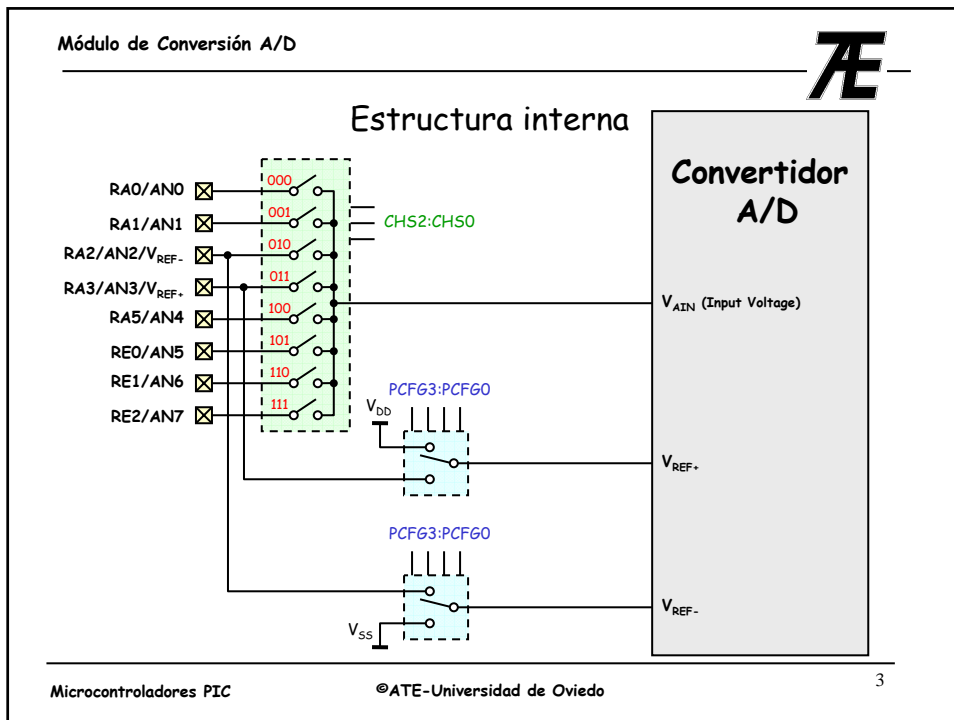
TRISA - *PORTA* - *TRISE* - *PORTE*

Manejo de interrupciones

INTCON - *PIE1* - *PIR1*

Control del convertor A/D

ADCON0 - *ADCON1* - *ADRESH* - *ADRESL*



Módulo de Conversión A/D

Registro ADCON0 (1Fh)

caso de los PIC16F87xA

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	-	ADON
-------	-------	------	------	------	---------	---	------

bit 7-6 **ADCS1:ADCS0**: Selección del reloj para la conversión A/D junto con ADCS2 que está en ADCON1

ADCS2= 0 → 00 = $f_{osc} / 2$ 01 = $f_{osc} / 8$ 10 = $f_{osc} / 32$ 11 = f_{RC}
 ADCS2= 1 → 00 = $f_{osc} / 4$ 01 = $f_{osc} / 16$ 10 = $f_{osc} / 64$ 11 = f_{RC}

bit 5-3 **CHS2:CHS0**: Selección del canal de conversión

000 = Canal 0 001 = Canal 1 010 = Canal 2 011 = Canal 3
 100 = Canal 4 101 = Canal 5 110 = Canal 6 111 = Canal 7

bit 2 **GO/DONE**: Estado de la conversión

Si ADON=1:
 1 = Conversión en progreso 0 = Conversión finalizada

bit 0 **ADON**: Bit de encendido del convertidor A/D

1 = Módulo A/D encendido 0 = Módulo A/D apagado

Módulo de Conversión A/D

Registro ADCON1 (9Fh)

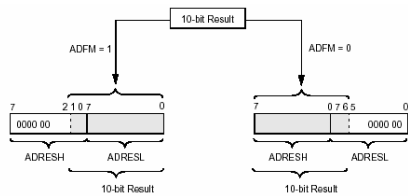
caso de los PIC16F87x y versiones "antiguas"

ADFM	-	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
------	---	---	---	-------	-------	-------	-------

bit 7 **ADFM**: Selección de formato del resultado

1 = Ajuste a la derecha 0 = Ajuste a la izquierda

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: Configuración de las entradas al módulo A/D



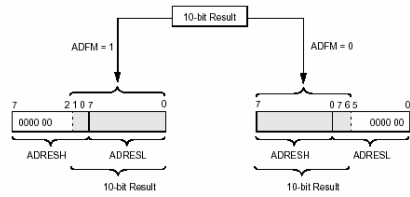
PCFG3: PCFG0	AN7 RE2	AN6 RE1	AN5 RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0
0000	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A
0010	b	b	b	A	A	A	A	A
0011	b	b	b	A	V _{REF+}	A	A	A
0100	b	b	b	b	A	b	A	A
0101	b	b	b	b	V _{REF+}	b	A	A
011x	b	b	b	b	b	b	b	b
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1001	b	b	A	A	A	A	A	A
1010	b	b	A	A	V _{REF+}	A	A	A
1011	b	b	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1100	b	b	b	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1101	b	b	b	b	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1110	b	b	b	b	b	b	A	A
1111	b	b	b	b	V _{REF+}	V _{REF-}	b	A

Registro ADCON1 (9Fh)



ADFM	ADCS2	-	-	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
------	-------	---	---	-------	-------	-------	-------

- bit 7 **ADFM**: Selección de formato del resultado
1 = Ajuste a la derecha 0 = Ajuste a la izquierda
- bit 6 **ADCS2**: Selección de reloj para conversión A/D junto con ADCS1 y ADCS0
véase carga del registro **ADCON0** en PIC16F87xA
- bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: Configuración de las entradas al módulo A/D



PCFG3: PCFG0	AN7 RE2	AN6 RE1	AN5 RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0
0000	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A
0010	D	D	D	A	A	A	A	A
0011	D	D	D	A	V _{REF+}	A	A	A
0100	D	D	D	D	A	D	A	A
0101	D	D	D	D	V _{REF+}	D	A	A
011x	D	D	D	D	D	D	D	D
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1001	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	A	A	V _{REF+}	A	A	A
1011	D	D	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1100	D	D	D	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1101	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF-}	D	A

Registro INTCON (0Bh , 8Bh , 10Bh , 18Bh)



GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
-----	------	------	------	------	------	------	------

- bit 7 **GIE**: Habilitación global de interrupciones
- bit 6 **PEIE**: Habilitación de interrupciones de periféricos

Registro PIE1 (8Ch)

PSPIE	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
-------	------	------	------	-------	--------	--------	--------

- bit 6 **ADIE**: Habilitación de la interrupción del convertidor A/D

Registro PIR1 (0Ch)

PSPIF	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF
-------	------	------	------	-------	--------	--------	--------

- bit 6 **ADIF**: Flag de la interrupción del convertidor A/D
1 = Conversión A/D completada. 0 = Conversión A/D aún no completada.



Pasos en una conversión A/D

1. Configurar el módulo A/D.

- Definir entradas analógicas y tensión de referencia. (ADCON1)
- Seleccionar el canal de la conversión. (ADCON0)
- Seleccionar el reloj de la conversión. (ADCON0)
- Encender el módulo A/D. (ADCON0)

2. Configurar la interrupción por conversión A/D.

- Bajar el *flag* ADIF. (PIR1)
- Habilitar la interrupción del convertidor A/D. (PIE1)
- Habilitar las interrupciones de los periféricos. (INTCON)
- Habilitar la máscara global de interrupciones. (INTCON)

3. Esperar a que transcurra el tiempo de adquisición.

- Tiempo necesario para capturar el valor analógico a convertir.
- Los valores típicos del tiempo de adquisición son del orden de $20\mu s$.



4. Comenzar la conversión.

- Poner a "1" el bit *GO/DONE*. (ADCON0)
No activar este bit a la vez que se enciende el convertidor A/D

5. Esperar a que se complete la conversión A/D.

- a) Controlando cuándo el bit *GO/DONE* se pone a "0".
- b) Esperando a que llegue la interrupción del convertidor.

6. Leer el resultado de la conversión.

- Disponible en los registros *ADRESH:ADRESL*.
- Bajar el *flag* ADIF si se están usando interrupciones.

7. Llevar a cabo la siguiente conversión.

- Volver al paso 1 ó 2, según convenga.
- Espera mínima antes de empezar la siguiente adquisición: $2 \cdot T_{AD}$

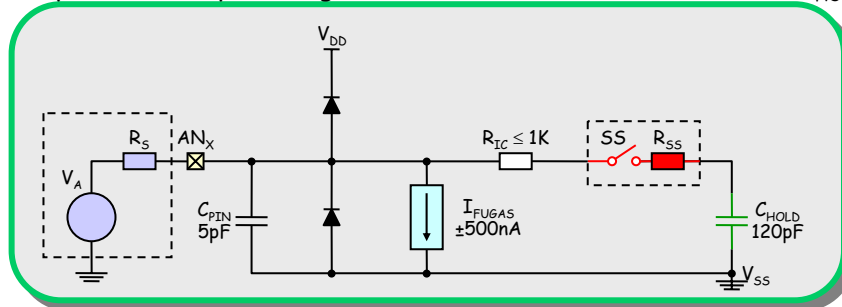
(Esta espera no es necesaria en el caso de los PIC16F87xA porque el interruptor de captura se "cierra" en cuanto se obtiene el resultado)

T_{AD} : Tiempo necesario para la conversión de un bit.



Tiempo de adquisición

Tiempo necesario para cargar el condensador de mantenimiento (C_{HOLD}).



Máxima impedancia recomendada para la fuente: 10K.

En estas condiciones, $T_{ACQ} = \text{Amplifier Settling Time} + \text{Hold Capacitor Charging Time} + \text{Temperature Coefficient}$
 $= T_{AMP} + TC + T_{COFF} = 2\mu s + TC + [(Temperature - 25^\circ C)(0.05\mu s/^\circ C)]$
 $TC = -CHOLD (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2047) = -120pF (1k. + 7k. + 10k.) \ln(0.0004885) = 16.47\mu s$
 $T_{ACQ} = 2\mu s + 16.47\mu s + [(50^\circ C - 25^\circ C)(0.05\mu s/^\circ C)] = 19.72\mu s \approx 20\mu s$

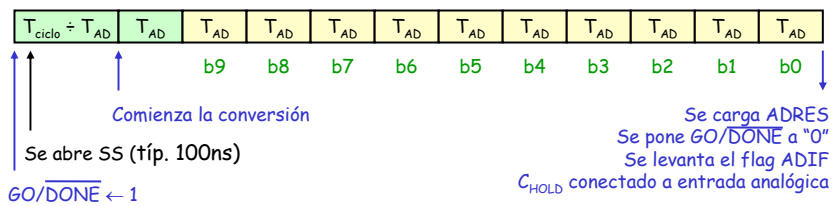
Mientras no se complete la conversión, no empieza otra adquisición.

Esperar T_{ACQ} : a) tras una conversión; b) tras seleccionar un nuevo canal; c) tras encender el módulo A/D.



Tiempo de conversión

La conversión de 10 bits dura $12 \cdot T_{AD}$.

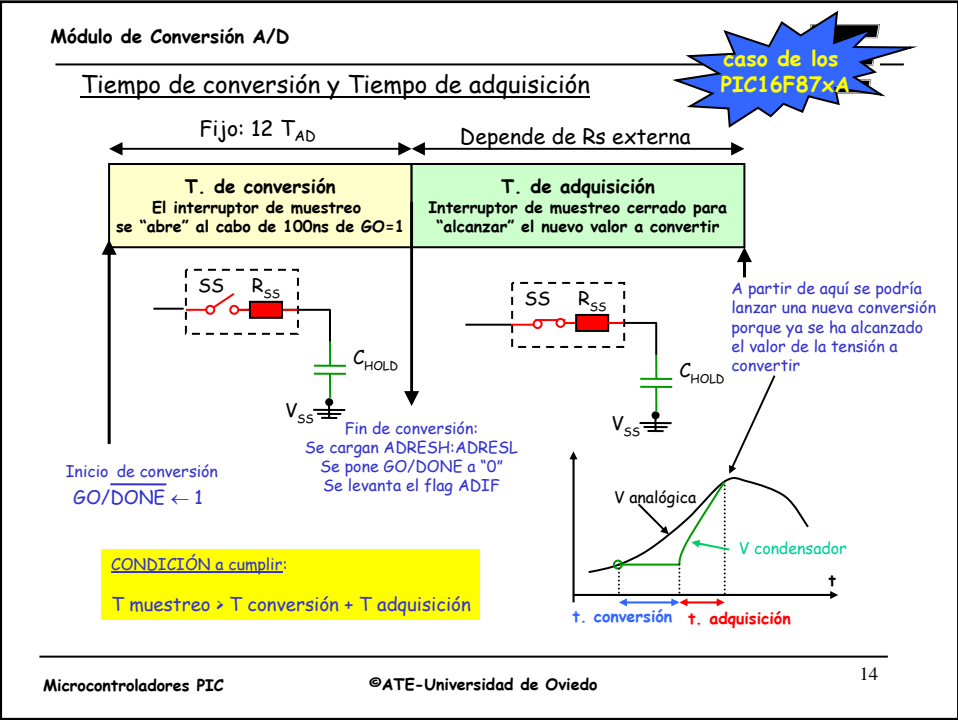
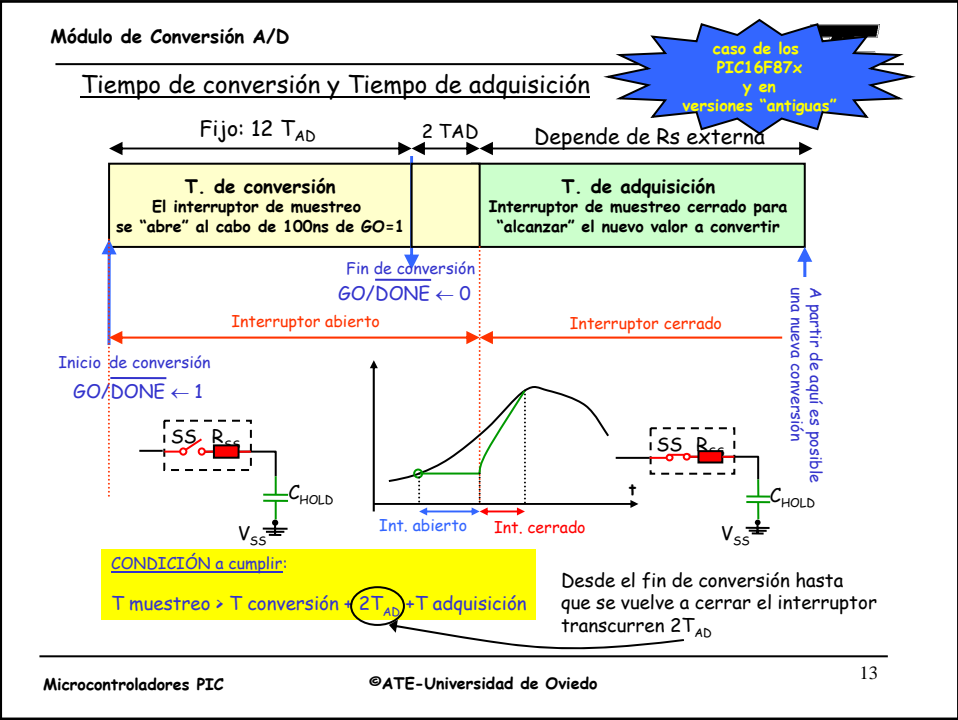


T_{AD} configurable en $ADCON0$ (reloj de la conversión).

$T_{AD} = 2 \cdot T_{OSC}$ - $T_{AD} = 8 \cdot T_{OSC}$ - $T_{AD} = 32 \cdot T_{OSC}$ - $T_{AD} = 2\mu s \div 6\mu s$ (típ. $4\mu s$)

También $T_{AD} = 4 \cdot T_{OSC}$ - $T_{AD} = 16 \cdot T_{OSC}$ - $T_{AD} = 64 \cdot T_{OSC}$ en PIC16F87xA

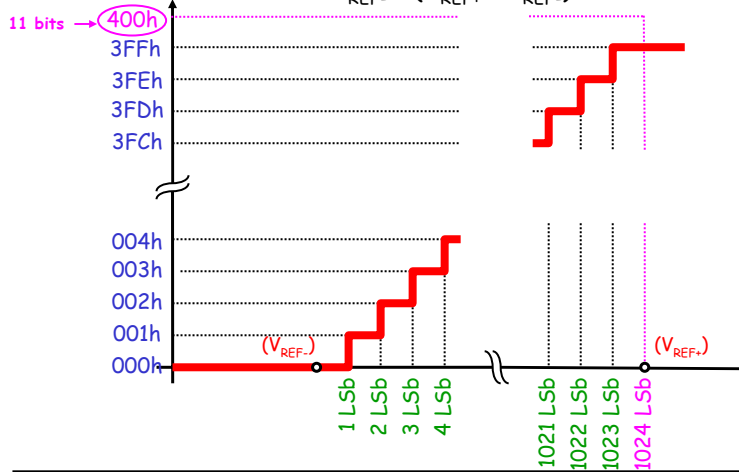
Para un funcionamiento correcto se necesita un valor mínimo de $T_{AD} = 1,6\mu s$.





Función de transferencia

La primera transición tiene lugar cuando la tensión analógica de entrada alcanza el valor $V_{REF-} + (V_{REF+} - V_{REF-})/1024 \equiv 1LSb$.



Ejemplo: Configuración para conversión de la tensión analógica presente en el canal 3 (RA3/AN3)...

Registro ADCON1 (9Fh)



bit 7 **ADFM**: Selección de formato del resultado

1 = Ajuste a la derecha ←

0 = Ajuste a la izquierda

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: Configuración de las entradas al módulo A/D

PCFG3: PCFG0	AN7 RE2	AN6 RE1	AN5 RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0
0000	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	V _{REF+}	A	A	A
0010	b	b	b	A	A	A	A	A
0011	D	D	D	A	V _{REF+}	A	A	A
0100	D	D	D	D	A	D	A	A
0101	D	D	D	D	V _{REF+}	D	A	A
011x	D	D	D	D	D	D	D	D
1000	A	A	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1001	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	A	A	V _{REF+}	A	A	A
1011	D	D	A	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1100	D	D	D	A	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1101	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF-}	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	V _{REF+}	V _{REF-}	D	A



Registro ADCON0 (1Fh)

... y reloj T_{AD} a partir de la red RC interna



bit 7-6 **ADCS1:ADCS0**: Selección del reloj para la conversión A/D

00 = $f_{osc} / 2$ 01 = $f_{osc} / 8$ 10 = $f_{osc} / 32$ 11 = f_{RC} ←

bit 5-3 **CHS2:CHS0**: Selección del canal de conversión

000 = Canal 0 001 = Canal 1 010 = Canal 2 011 = Canal 3 ←
100 = Canal 4 101 = Canal 5 110 = Canal 6 111 = Canal 7

bit 2 **GO/DONE**: Estado de la conversión

Si ADON=1:
1 = Conversión en progreso 0 = Conversión finalizada ←

bit 0 **ADON**: Bit de encendido del convertidor A/D

1 = Módulo A/D encendido ← 0 = Módulo A/D apagado



Módulo A/D durante el modo SLEEP

El módulo A/D puede funcionar durante el modo dormido si se selecciona como reloj para la conversión el RC interno (ADCS1:ADCS0 = 11). Cuando se escoga como reloj el RC, el módulo A/D espera 1 ciclo de instrucción antes de iniciar la conversión. Esto permite que se ejecute la instrucción SLEEP, lo cual elimina todo posible ruido de conmutación (debido al paso de normal a dormido) en la conversión. Cuando se haya completado la conversión, el bit GO/DONE se pone a "0" y el resultado se carga en los registros ADRES. Si la interrupción del conversor A/D está habilitada (ADIE y PEIE a "1") el dispositivo se "despertará". Si no estuviera habilitada, el módulo A/D se apagará aunque el bit ADON siga a "1".

Si la fuente de reloj para la conversión no es la RC interna, una instrucción SLEEP provocará que la conversión que se este ejecutando se aborte y que el módulo A/D se apague aunque el bit ADON siga a "1".



Efectos de un RESET sobre el módulo A/D

Un RESET del dispositivo provoca que los registros del módulo A/D se inicialicen a los valores indicados en la tabla. Por tanto, un RESET provoca que el módulo A/D se apague y que cualquier conversión que se estuviera realizando cuando se produce el RESET se aborte. Todos los pines asociados al módulo A/D pasan a ser entradas analógicas. Los valores acumulados en ADRESH:ADRESL no se modifican por un Power-On-Reset. El valor que contendrán los registros ADRESH:ADRESL tras un POR serán desconocidos inicialmente.

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on MCLR, WDT
06h,86h,106h,186h	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 0000
0Ch	PIR1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIE	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO_DONE	—	ADON	0000 00-0	0000 00-0
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
06h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written; PORTA pins when read						--0x 0000	--0x 0000
89h ⁽¹⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSFMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -1111
09h ⁽¹⁾	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu



Ejemplo sencillo de uso del modulo A/D (1 solo canal e interrupciones)

```

; Este es un programa ejemplo de uso del conversor A/D
; en un PIC16F877, donde se usa un solo canal (CH0)
; y se usan interrupciones
; El conversor A/D se configura como sigue:
; Vref = +5V interna.
; A/D Osc. = RC interna
; Canal A/D = CH0
; Se puede usar como Hardware para probar este ejemplo
; la tarjeta PICDEM II. El programa convierte el valor del
; potenciómetro conectado a RA0 en 10 bits, de los que los
; 8 bits más significativos se muestran en los leds conectados
; al PORTB.

; Rutina de interrupción A/D:
; muestra valor en los leds del PORTB

service_int    btfss PIR1,ADIF    ; ¿Interrupción del modulo A/D?
               retfie            ; Si no retornamos
               movf  ADRESH,W     ; Cajo los 8 bits altos de la conversión
               movwf PORTB       ; los muestro en los LEDS del PORTB
               bcf  PIR1,ADIF     ; Reseteo el flag
               call SetupDelay    ; Delay de adquisición
               bsf  ADCON0,GO     ; lanzo una nueva conversión
               retfie            ; retorno, habilito GIE

; InitializeAD, inicializa el modulo A/D.
; Selecciona CH0 a CH3 como entradas analógicas, reloj RC y lee el CH0.

InitializeAD  bsf  STATUS,RPO     ; Banco 1
               movlw B'00000100' ; RA0,RA1,RA3 entradas analógicas
               movwf ADCON1       ; Justificado a la izquierda
               bsf  PIE1,ADIE     ; 8 bits mas significativos en ADRESH
               bcf  STATUS,RPO    ; Habilitamos interrupciones A/D
               bcf  PIR1,ADIF     ; Banco 0
               movlw OC1h         ; Oscilador RC, Entrada analógica CH0
               movwf ADCON0       ; Modulo A/D en funcionamiento
               bcf  PIR1,ADIF     ; Limpio flag interrupción
               bsf  INTCON,PEIE   ; Habilito interrupciones de periféricos
               bsf  INTCON,GIE    ; Habilito interrupciones globales
               return

; Esta rutina es un retardo software de más de 10us si
; se usa un oscilador de 4MHz que se usa para asegurar
; un tiempo de adquisición de más de 20 us antes de
; lanzar una nueva conversión.

SetupDelay    movlw 3             ; Carga Temp con 3
               movwf TEMP         ;
               decfsz TEMP,F      ; Bucle de retardo
               goto SD            ;
               return

SD            END
    
```