

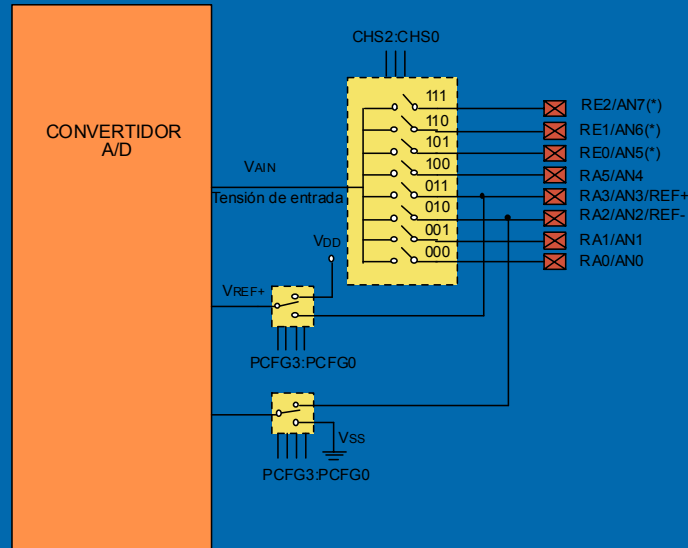
Módulo convertidor A/D

IES Juan de la Cierva de Madrid
Fernando Remiro

Características generales

- Ocho canales de conversión. Cinco pines en el PORTA y los tres del PORTE.
- Convierte la señal analógica en un número digital de 10 bits.
- Tensión de referencia seleccionable por software.
 - Puede ser VDD 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 los pines de entrada **TRISA -PORTA-TRISE-PORTE**
 - Manejo de interrupciones **INTCON - PIE1 - PIR1**
 - Control del conversor A/D : **ADCON0-ADCON1-ADRESH-ADRESL**

Convertor Analógico Digital



(*) No existen en los dispositivos de 28 pines

Registro ADCON0 (1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U- 0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	--	ADON
bit7							bit 0

ADCS1:ADCS0 : Selecciona el reloj de conversión, depende de la frecuencia del microcontrolador.

Tiempo de conversión de 10 bits = $12T_{AD}$

Donde $T_{AD} > 1.6 \mu s$

$T_{conversión} = 12 * 1,6 \approx 20 \mu s$

00	$F_{osc}/2$
01	$F_{osc}/8$
10	$F_{osc}/32$
11	FRC procedente del oscilador interno

Registro ADCON0 (1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U- 0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	--	ADON
bit7							bit 0

CHS2:CHS0 : Selección del canal analógico

0 0 0	Canal 0 (RA0/AN0)
0 0 1	Canal 1 (RA1/AN1)
0 1 0	Canal 2 (RA2/AN2)
0 1 1	Canal 3 (RA3/AN3)
1 0 0	Canal 4 (RA5/AN4)
1 0 1	Canal 5 (RE0/AN5)
1 1 0	Canal 6 (RE1/AN6)
1 1 1	Canal 7 (RE2/AN7)

Registro ADCON0 (1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U- 0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	--	ADON
bit7							bit 0

GO/#DONE: bit de estado de la conversión.

Si ADON =1

1 : La conversión A/D está en marcha (mientras está a "1" está realizando la conversión)

0 : La conversión ha finalizado (el bits se pone a "0" automáticamente por hardware cuando la conversión A/D ha finalizado) El resultado de la conversión aparece en ADRESH:ADRESL

ADON: bit de puesta en marcha

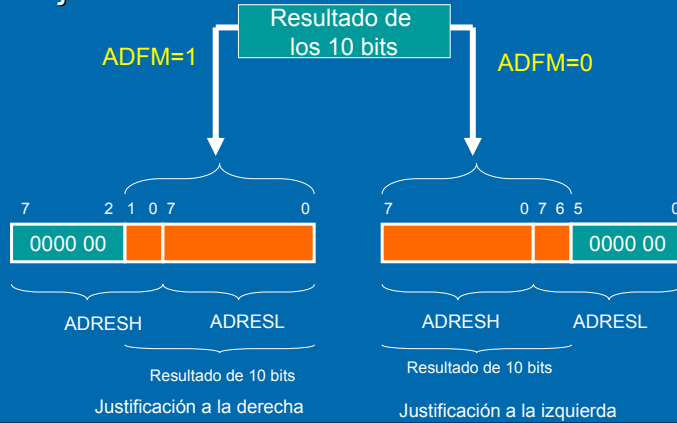
1: El convertidor A/D está operativo

0: El convertidor A/D está apagado

Registro ADCON1 (9Fh)

R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	--	--	--	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit7							bit 0

ADFM: Ajuste de los 10 bits de la conversión



Registro ADCON1 (9Fh)

R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	--	--	--	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit7							bit 0

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

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

R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
bit7							bit 0

Bit7: GIE : Habilitación global de interrupciones

Bit 6: PEIE: Habilitación de interrupciones de periféricos

Registro PIE1 (8Ch)

R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PSPIE	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
bit7							bit 0

Bit 6: **ADIE**: Habilitación de interrupciones del convertidor A/D

Registro PIR1 (0Ch)

R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PSPIF	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF
bit7							bit 0

Bit 6: **ADIF**: Flag de interrupción del convertidor A/D

1 = Conversión A/D completa

0= Conversión A/D aún no completada

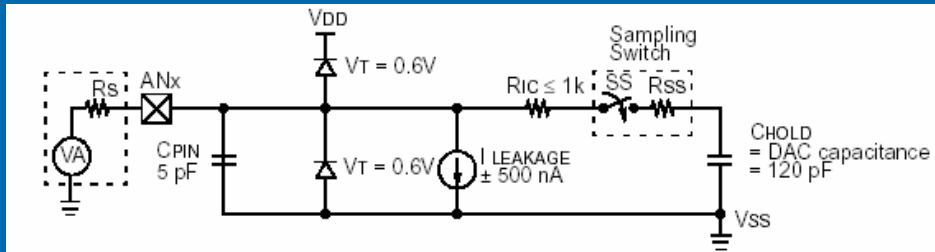
PASOS PARA REALIZAR LA CONVERSIÓN ⁽¹⁾

1. Configuración del conversor
 - Configuración de pines Analógicos y digitales (TRISA y/o TRISE y ADCON1)
 - Seleccionar el canal de entrada (**ADCON0**)
 - Selección del reloj del conversor (**ADCON0**)
 - Activar el módulo de conversión (**ADCON0**)
2. Configuración de interrupción (si se usa)
 - Limpiar bandera **ADIF** en el **PIR1**
 - Habilitar interrupciones: **ADIE=1, PEIE=1** y **GIE=1**
3. Esperar el tiempo requerido de adquisición
 - Tiempo necesario para capturar el valor analógico a convertir
 - Los valores típicos del tiempo de adquisición son del orden de ($\approx 20 \mu s$)

PASOS PARA REALIZAR LA CONVERSIÓN ⁽²⁾

4. Comenzar la conversión
 - Poner a "1" el bit GO/DONE (ADCON1)
 - **No activar este módulo a la vez que se enciende el convertidor A/D**
5. Esperar a que se complete la conversión A/D .
 - Controlando cuándo el bit GO/DONE se pone a "0"
 - Esperando a que llegue la interrupción del conversor
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 o 2 según convenga
 - Espera mínima antes de empezar la siguiente adquisición
2. TAD
 - TAD es el tiempo necesario para la conversión de un bit

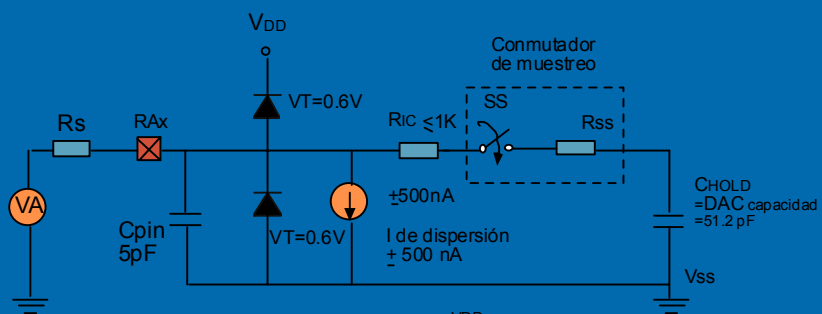
Conversor Analógico Digital



$T_{ACQ} > 20 \mu s$

$R_S < 10 K\Omega$

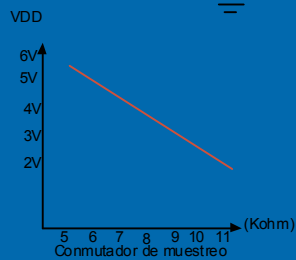
Convertidor A/D



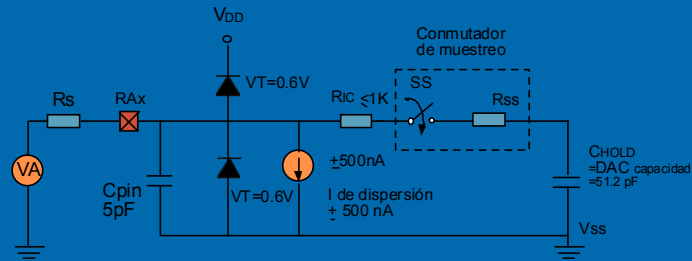
$T_{ACQ} > 20 \mu s$

$R_S < 10 K\Omega$

Leyenda:
 Cpin = Capacidad de entrada
 VT = Tensión de umbral
 I de dispersión = Corriente de dispersión debida a varias uniones
 RIC = Resistencia de interconexión
 SS = Conmutador de muestreo
 CHOLD = Capacidad del A/D



Convertidor A/D



Máxima impedancia recomendada para la fuente: 10KΩ

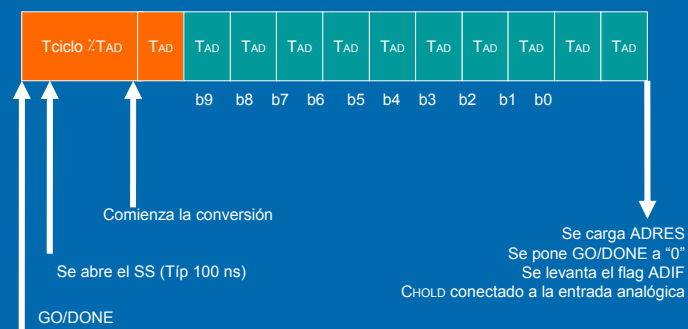
En estas condiciones $T_{ACQ} \approx 20\mu s$

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

Esperar T_{ACQ} :

- Después de una conversión
- Después de seleccionar un nuevo canal
- Después de encender el módulo A/S

Tiempo de conversión



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

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

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

Módulo A/D durante el modo SLEEP

El módulo A/D puede funcionar durante el modo SLEEP si se selecciona como reloj para la conversión el RC interno (**ADCS1:ADCS0** =11). Cuando se escoja 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**, **PEIE** y **GIE** a "1") el dispositivo se "despierta". Si no estuviera habilitada, el módulo A/D se apagará aunque el bit **ADON** siga "1".

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

Efectos del 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 de la siguiente transparencia. 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

Registros asociados al funcionamiento del Convertidor A/D

Dirección	Nombre	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Valor en POR,BOR	Valor en el resto de Reset
0Bh,8Bh 10Bh,18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ¹	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ¹	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
1Eh	ADRESH	Parte alta de la conversión A/D								xxxx xxxx	uuuu uuuu
9Eh	ADDRESL	Parte baja de la conversión A/D								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	---	---	Registro de direccionamiento de datos de PORTA						--11 1111	--11 1111
05h	PORTA	---	---	Latch de datos para escritura del PORTA						--0x 0000	--0u 0000
89h ⁽²⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	---	Bit de direccionamiento del PORTE			0000 -111	0000 -111
09h ⁽¹⁾	PORTE	---	---	---	---	---	RE2	RE1	RE0	--- xxx	--- uuuu

```

;*****
; Programa          AD_LCD4bits.asm          Fecha : 10- Febrero-2002
; Los dispositivos PIC16F87X disponen de un convertidor A/D de 10 bits de resolución y 5 u 8
; canales de entrada analógica. La tensión de referencia determina la resolución por bit:
; (Res. = Vref/1024). Con 5 Vref=4.8 mV/Bit; con 2.5 Vref=2.4 mV/Bit
; Este programa realiza la conversión de la tensión presente en el canal RA3/AN3. Esta
; se puede variar con el potenciómetro AN3 alojado en la tarjeta del entrenador. El resul-
; tado de la conversión se visualiza, en binario, sobre la pantalla LCD.
; Revisión 0.0
; Velocidad del Reloj: 4 MHz          Reloj Instrucción: 1 MHz = 1 uS
; Perro Guardián :habilitado          Tipo de Reloj : XT
; Protección del código : OFF
;*****
List          p=16F876 ;Tipo de procesador
include      "P16F876.INC" ;Definiciones de registros internos

CBLOCK      0x20
            Temporal_1          ;Variable temporal
ENDC

org          0x05                ;Salva el vector de interrupción
    
```

;Visualiza: Esta rutina coge los 10 bits resultantes de la conversión, presentes en ADRESH y ADRESL, los convierte a caracteres ASCII (0 o 1) y los visualiza sobre el LCD.

```

Visualiza
    call    LCD_Inicializa
    call    LCD_Linea1
    movlw   .10
    movwf   Temporal_1           ;Nº de caracteres a visualizar

Bucle_Visual
    bsf     STATUS,RP0
    rlf     ADRESL,F
    bcf     STATUS,RP0
    rlf     ADRESH,F           ;Rotación del siguiente bit
    btfsc   STATUS,C           ;Testea el bit a visualizar
    goto    Bit_1             ;Está a 1
    movlw   '0'
    goto    Visu_1
    movlw   '1'
    call    LCD_Caracter;Visualiza el "0" o el "1" sobre el LCD
    decfsz Temporal_1,F       ;Siguiente caracter
    goto    Bucle_Visual
    return
  
```

```

;
; Programa principal
;*****
; INICIO
    bsf     STATUS,RP0       ;Selecciona banco 1
    movlw   b'00000110'
    movwf   ADCON1          ;Puerta A E/S digitales
    clrf    TRISB           ;Puerta B se configura como salida
    clrf    TRISA           ;RA4-RA0 salidas
    movlw   b'11001111'
    movwf   OPTION_REG      ;Preescaler de 128 asociado al WDT
    bcf     STATUS,RP0      ;Selecciona banco 0
    call    LCD_Inicializa
;Se activa el ADC y se selecciona el canal RA3/AN3. Frecuencia de trabajo Fosc/32
    movlw   b'10011001'
    movwf   ADCON0          ;ADC en On, selecciona canal AN3
; BUCLE
    bsf     STATUS,RP0      ;Selecciona página 1
    movlw   b'00011111'
    movwf   TRISA           ;Puerta A entradas
    clrf    ADCON1          ;Puerta A entradas analógicas
    bcf     STATUS,RP0      ;Selecciona página 0
    bcf     PIR1,ADIF       ;Restaura el flag del conversor AD
    nop
    bsf     ADCON0,GO       ;Inicia la conversión
; ADC_Wait
    btfss   PIR1,ADIF       ;Fin de conversión ??
    goto    ADC_Wait        ;Todavía no
;Las líneas de la Puerta A se reconfiguran como salidas digitales para la visualización
    bsf     STATUS,RP0      ;Selecciona banco 1
    movlw   b'00000110'
    movwf   ADCON1          ;Puerta A digital
    bcf     STATUS,RP0      ;Selecciona banco 0
    call    Visualiza       ;Visualiza el resultado de la conversión
    goto    BUCLE
  
```

```

                INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
                INCLUDE <RETARDOS.INC>
;*****
;
                ORG          0x1F00
                bcf          PCLATH,4
                bcf          PCLATH,3 ;Selecciona la página 0
                goto        INICIO
;*****
;
                end          ;Fin del programa fuente

```

```

;AD_LED_INT.asm
; Este es un programa ejemplo de uso del conversor A/D en un PIC16F87X, 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 entrenadora. 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.
;*****
;
                #include <P16F877.INC>
                CBLOCK 0x20
                TEMP          ;Variable de almacenamiento temporal
                ENDC
                org 0x04 ; Vector de interrupción
                goto Interrupcion
                org 0x20
Inicio
                clrf          PORTB
                bsf          STATUS,RP0 ; Selecciona el Banco 1
                movwf       TRISA ; PORTA son entradas
                clrf          TRISB ; PORTB son salida
                bcf          STATUS,RP0 ; Selecciona el Banco 0
                call         InitializeAD
                call         SetupDelay ; Delay para Tad
                bsf          ADCON0,GO ; Inicia conversión A/D
loop
                goto        loop

```

```

;*****
; Rutina de interrupción A/D:
; muestra valor en los leds del PORTB
;*****
Interrupcion
    btfss    PIR1,ADIF      ; ¿ Interrupcion del modulo A/D?
    retfie   ; Si no retornamos

    movf    ADRESH,W       ; Cojo 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
    call    SetupDelay     ; mayor de 20 us
    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,RP0     ; Selecciona el Banco 1
    movlw   B'00000100'    ; RA0,RA1,RA3 entradas analógicas
    movwf   ADCON1         ; Justificado a la izquierda
                                ; 8 bits mas significativos en ADRESH
    bsf     PIE1,ADIE      ; Habilitamos interrupciones A/D
    bcf     STATUS,RP0     ; Selecciona el Banco 0
    movlw   0xC1           ; 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   0x03 ; Carga Temp con 3
    movwf   TEMP
Bucle   decfsz TEMP, F ; Bucle de retardo
        goto  Bucl
    return
;*****
    ORG 0x1F00
    bcf     PCLATH, 3
    bcf     PCLATH,4
    goto   Inicio
;*****
    END

```