

PIC16F88X: Módulo Convertidor A/D

IES Juan de la Cierva

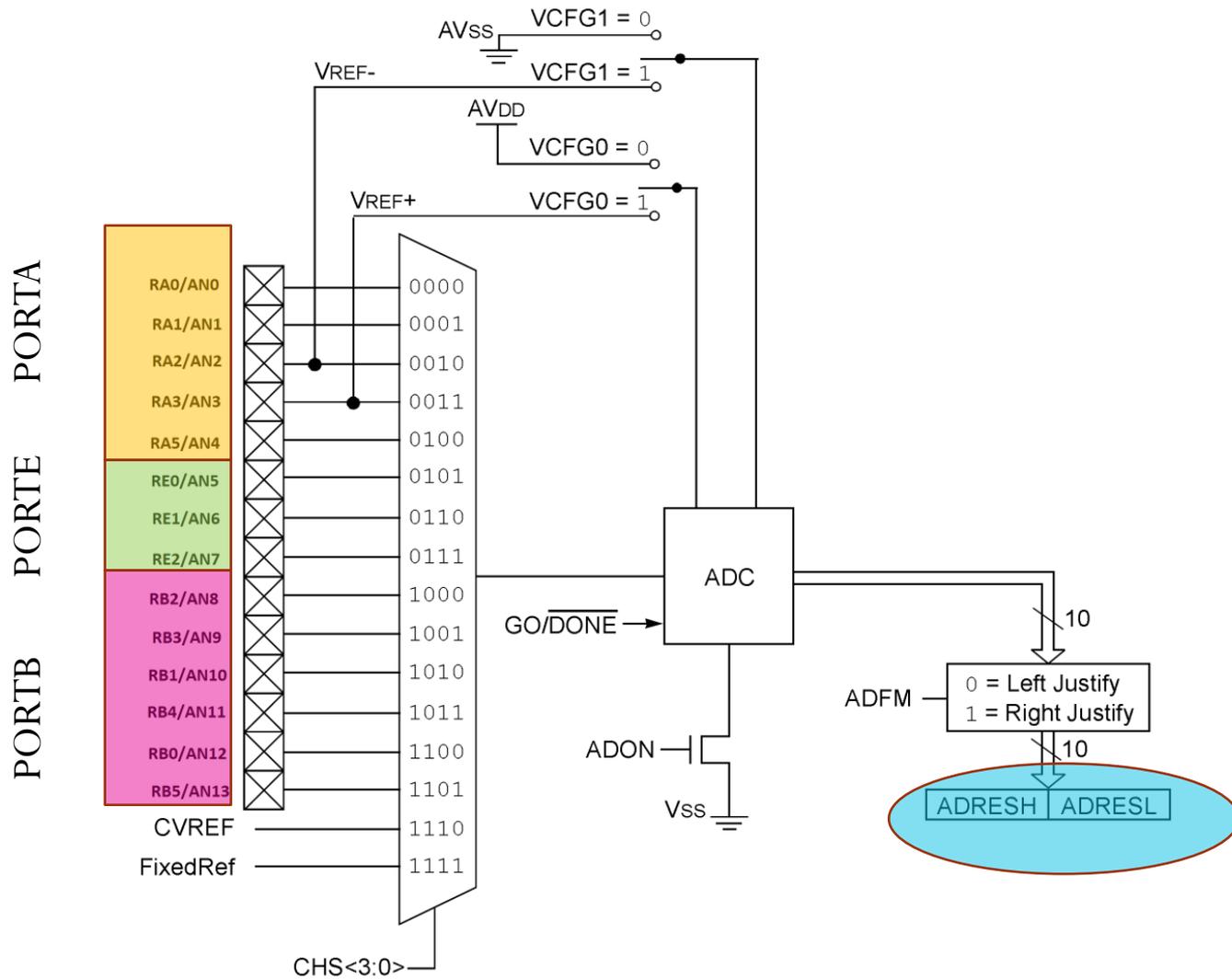


Aprendizaje de la Electrónica a través de la Robótica

El módulo convertidor A/D

- Es un circuito capaz de tomar una muestra de tensión analógica de entrada y obtener su equivalente digital.
- El microcontrolador recibe de esta forma un valor binario proporcional a esa tensión, que puede ser sometido a cualquier tipo de cálculos y tratamientos.
- El módulo Convertidor A/D de los PIC16F88X consta de un convertidor de 10 bits de resolución y 11 canales (para los micros de 28 pines) o 14 canales de entrada analógica (para los microcontroladores de 40 pines).

Convertidor A/D



Registro de ANSEL(188h)

R/W-1							
ANS7	ANS6	ANS5	ANS4	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0
bit7							bit 0
RE2/AN7	RE1/AN6	RE0/AN5	RA5/AN4	RA3/AN3	RA2/AN2	RA1/AN1	RA0/AN0

ANS<7:0>: Bit de selección de entradas analógicas

1: Patilla de entrada analógica

0: Patilla de E/S digital

Registro de ANSELH(189h)

U-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
---	---	ANS13	ANS12	ANS11	ANS10	ANS9	ANS8
bit7							bit 0
		RB5/AN13	RB0/AN12	RB4/AN11	RB1/AN10	RB3/AN9	RB2/AN8

ANS<5:0>: Bit de selección de entradas analógicas

1: Patilla de entrada analógica

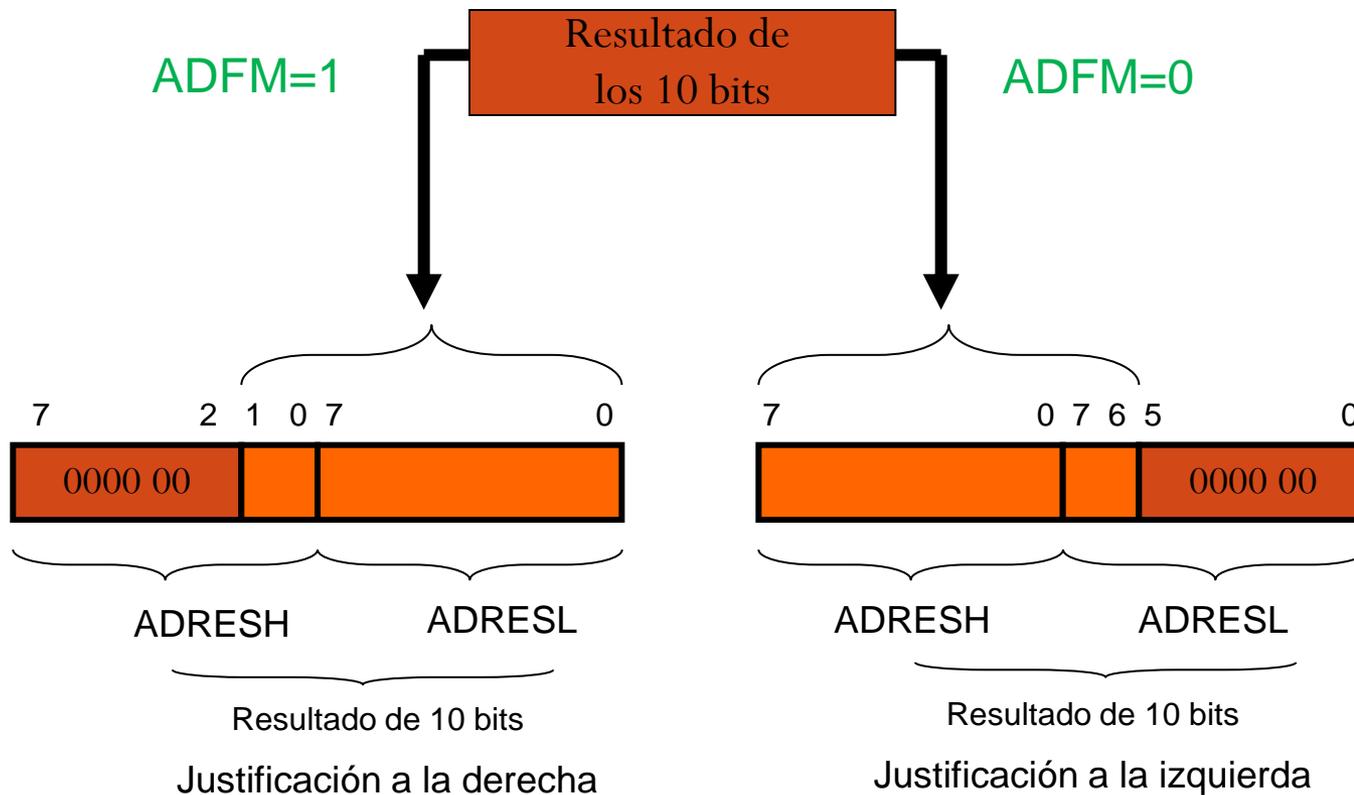
0: Patilla de E/S digital

Módulo Convertidor A/D

- Se activa al poner “1” el bit **ADON** del registro **ADCON0**.
- Los bits **CHS<3:0>** del registro **ADCON0** seleccionan el canal de entrada al convertidor A/D.
- Se puede seleccionar y convertir a digital la tensión analógica generada por el módulo **CVREF** o la tensión fija de referencia de 0,6V.
- El bit **GO/DONE** del registro **ADCON0** al ponerlo a “1” comienza una nueva conversión. Este bit se pone a “0” automáticamente cuando finaliza la conversión (**/DONE**).
- El resultado de la conversión de 10 bits, se almacena en la pareja de registros **ADRESH:ADRESL**

Modulo convertidor A/D

- El bit ADFM del registro ADCON1 selecciona el tipo de justificación de los 10 bits de la conversión.



Módulo Convertidor A/D

- El bit **VCFG0** del registro **ADCON1** selecciona la $VREF^+$ del conversor. Si es “0” se utiliza V_{dd} . Si es “1” se utiliza la tensión externa aplicada por **RA3/AN3/VREF⁺** .
- El bit **VCFG1** del registro **ADCON1** selecciona la **VREF⁻** del conversor. Si es “0” se utiliza la tensión de referencia del sistema 0V. Si es “1” se utiliza la tensión aplicada por **RA2/AN2/VREF⁻** .

Consideraciones del convertidor A/D

- Para el correcto uso del convertidor A/D se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Configuración de las puertas de E/S
 - Selección del canal cuya tensión se desea convertir
 - Selección de la tensión de referencia
 - Selección de la fuente de reloj empleado durante la conversión
 - Control de interrupciones
 - El disparo externo

Realización de la Conversión (1)

- **Configuración de los pines**
 - Mediante los registros TRISA, TRISB y TRISE configurar las entradas
 - Mediante los registros ANSEL y ANSELH determinar que pines son analógicos y **cuales son digitales.**
- **Configuración del módulo ADC**
 - Seleccionar el tipo de reloj para la conversión
 - Seleccionar el tipo de tensión de referencia a utilizar
 - Seleccionar el canal analógico de entrada(ANx)
 - Seleccionar la justificación a izquierda o derecha para el resultado
 - Activar el módulo ADC
- **Configuración de la interrupción (opcional)**
 - Borrar ADIF del registro PIR1
 - Habilitar interrupción del ADC activando ADIE del registro PIE1
 - Habilitar interrupciones de los periféricos activando el bit PEIE del registro INTCON.
 - Habilitar el permiso global de interrupciones bit GIE del registro INTCON.

Realización de la Conversión (2)

- Esperar el tiempo requerido de adquisición (T_{ACQ})
 - Tiempo necesario para capturar el valor analógico a convertir ($\approx 5 \mu s$)
 - Los valores típicos del tiempo de adquisición son del orden de ($\approx 20 \mu s$)
- Activar la conversión activando el bit GO/DONE del registro ADCON0.
 - Esperando que el bit GO/DONE del registro ADCON0 se ponga a "0".
 - Esperando que el el convertidor A/D provoque una interrupción (si están habilitadas)
- Leer los registros ADRESH:ADRESL con el resultado de la conversión.
- Borrar el bit ADIF del registro PIR1

Tiempo de adquisición

- Cada vez que se selecciona un nuevo canal de entrada, es necesario realizar una pequeña temporización antes de iniciar la nueva conversión. Por las siguientes razones:
 - La tensión presente en el nuevo canal a convertir se muestrea (Sample) mediante un amplificador interno que necesita un cierto tiempo de estabilización (T_{AMP}).
 - Desde el amplificador, la tensión a convertir queda retenida (Hold) en un condensador interno que precisa también de un tiempo para su carga con esa tensión (T_C).
 - Como la temperatura ambiente puede modificar las características de esos dos componentes, se emplea un coeficiente de temperatura (T_{COF})

$$T_{ACQ} = T_{AMP} + T_C + T_{COF}$$

$$T_{ACQ} = 4,62\mu S$$

Este tiempo de 5 μ S es crítico.

$$T_{AMP} = 2\mu S$$

$$T_C = 1,37\mu S$$

$$T_{COF(50^{\circ}C-25^{\circ}C)} = 1,25\mu S$$

Selección de la tensión de referencia

- La tensión de referencia y la resolución de 10 bits del convertidor A/D tiene nos darán el error del escalón

$$\Delta = \frac{V_{REF}}{2^{10}} = \frac{V_{REF}}{1024}$$

- La tensión de analógica de entrada aplicada a un canal no debe superar a la V_{REF} .

Selección de la frecuencia del reloj

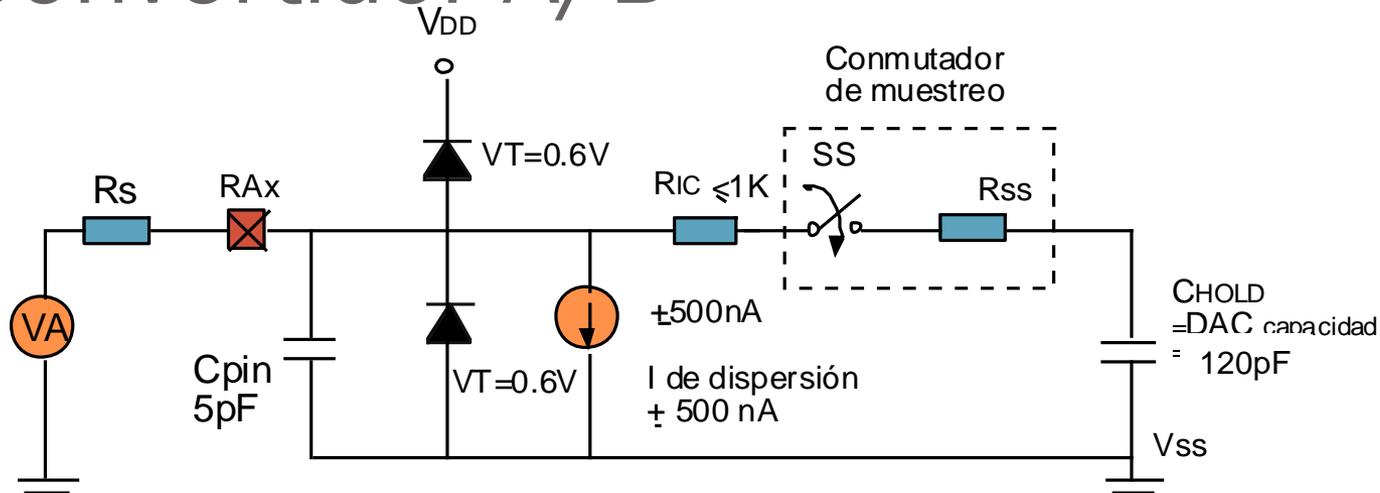
- Los PIC16F87X tienen 4 posibles fuentes de reloj que se seleccionan con los bits $ADCS\langle 1:0 \rangle$ del registro $ADCON0$:
 - $F_{OSC}/2$ del oscilador principal del sistema
 - $F_{OSC}/8$ del oscilador principal del sistema
 - $F_{OSC}/32$ del oscilador principal del sistema
 - FRC de un oscilador RC interno de unos 250KHz.
- El tiempo necesario para realizar la conversión de 1bit recibe el nombre de T_{AD} y la conversión completa de 10 bits necesita 11 periodos T_{AD}

Selección de la frecuencia del reloj

Periodo T_{AD}		Frecuencia general del sistema			
Reloj del ADC	ADCS<1:0>	20 MHz	8MHz	4MHz	1MHz
$F_{OSC}/2$	00	100 nS (2)	250nS (2)	500nS (2)	2 μ S
$F_{OSC}/8$	01	400 nS (2)	1 μ S (2)	2 μ S	82 μ S (3)
$F_{OSC}/32$	10	1,6 μ S	4 μ S	8 μ S (3)	32 μ S (3)
FRC	11	4 μ S (1,4)	4 μ S (1,4)	4 μ S (1,4)	4 μ S (1,4)

- (1) El periodo TAD con el oscilador RC interno es de 4 μ S para una alimentación de 4V
- (2) Estos valores violan el tiempo requerido para el periodo TAD que es TAD min para 3V = 1,6 μ S y para 5V 3 μ S.
- (3) Para tiempos de conversión más rápidos se recomienda utilizar otras fuentes de reloj.
- (4) El empleo del oscilador interno FRC, solo es recomendable si las conversiones se van a realizar durante el modo SLEEP de bajo consumo.
- Por ejemplo: para una frec=4MHz el tiempo mínimo de una conversión con un reloj de fosc/8 será de 2 μ S*11= 22 μ S

Convertidor A/D



Máxima impedancia recomendada para la fuente: $10K\Omega$

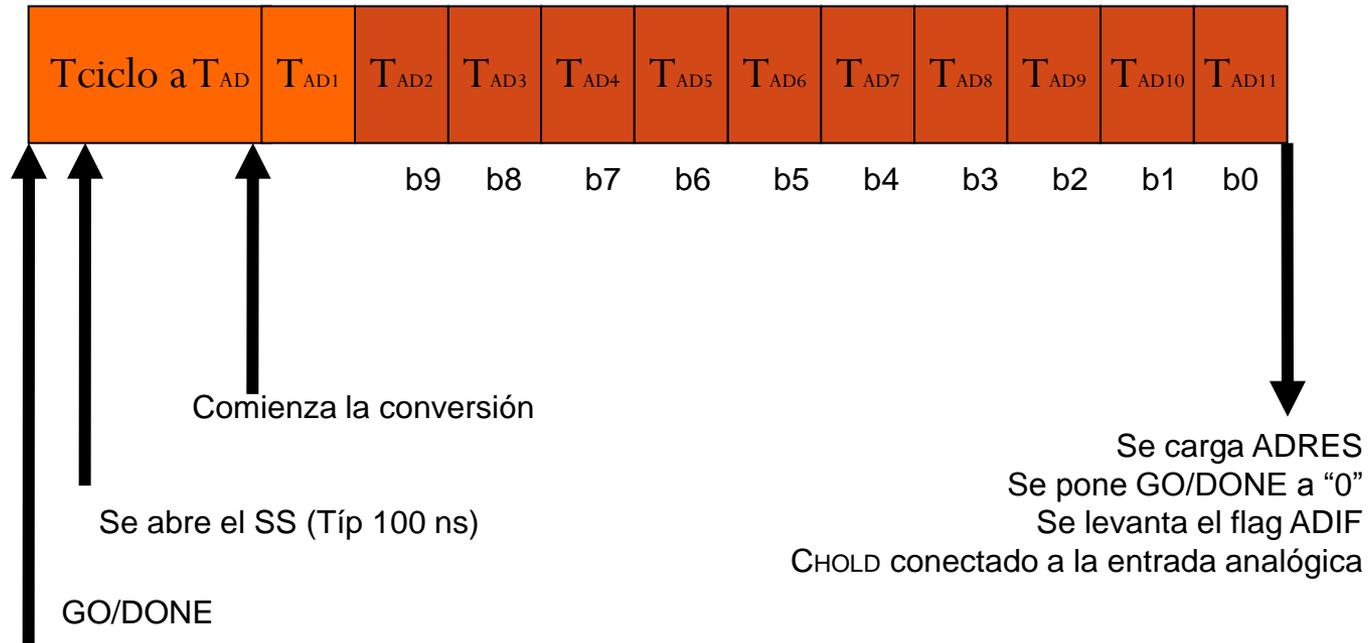
En estas condiciones $T_{ACQ} \approx 20\mu s$

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/D

Tiempo de conversión



T_{AD} configurable en $ADCON0$ (es el periodo del 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 corrector 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

Registro ADCON0 (1Fh)

R/W-0	R/W-0						
ADCS1	ADCS0	CHS3	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	Fosc/2
01	Fosc/8
10	Fosc/32
11	FRC procedente del oscilador interno

Registro ADCON0 (1Fh)

R/W-0	R/W-0						
ADCS1	ADCS0	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
bit7							bit 0

CHS3:CHS0 : Selección del canal analógico

0 0 0 0	Canal 0 (RA0/AN0)	1 0 0 0	Canal 8 (RB2/AN8)
0 0 0 1	Canal 1 (RA1/AN1)	1 0 0 1	Canal 9 (RB3/AN9)
0 0 1 0	Canal 2 (RA2/AN2)	1 0 1 0	Canal 10 (RB1/AN10)
0 0 1 1	Canal 3 (RA3/AN3)	1 0 1 1	Canal 11 (RB4/AN11)
0 1 0 0	Canal 4 (RA5/AN4)	1 1 0 0	Canal 12 (RB0/AN12)
0 1 0 1	Canal 5 (RE0/AN5)	1 1 0 1	Canal 13 (RB5/AN13)
0 1 1 0	Canal 6 (RE1/AN6)	1 1 1 0	Canal 14 CVREF
0 1 1 1	Canal 7 (RE2/AN7)	1 1 1 1	Canal 15 Tensión Fija de 0,6V

Registro ADCON0 (1Fh)

R/W-0	R/W-0						
ADCS1	ADCS0	CHS3	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

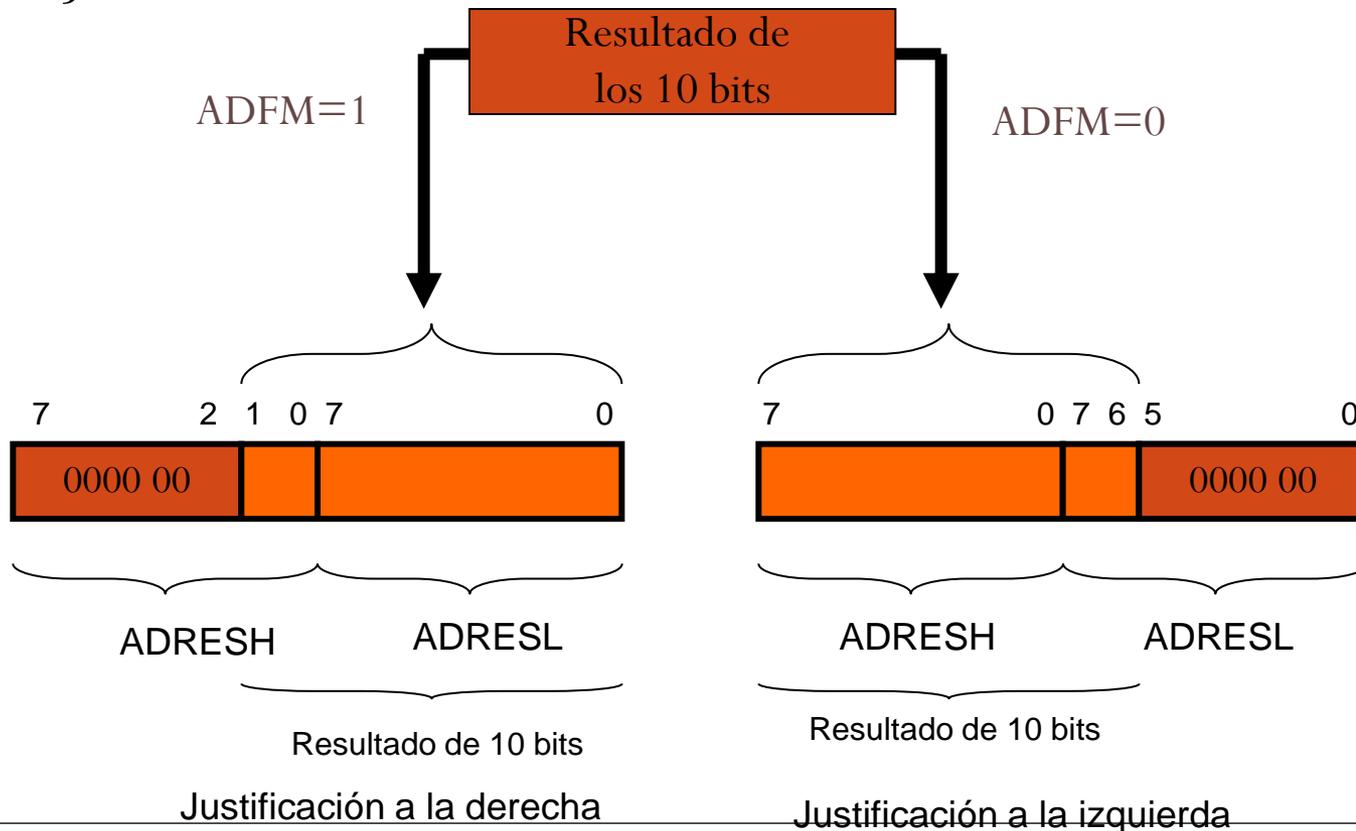
1: El convertidor A/D está operativo

0: El convertidor A/D está apagado

Registro ADCON1 (9Fh)

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0
ADFM	--	VCFG1	VCFG2	--	--	--	--
bit7							bit 0

ADFM: Ajuste de los 10 bits de la conversión



Registro ADCON1 (9Fh)

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	U-0
ADFM	--	VCFG1	VCFG2	--	--	--	--
bit7							bit 0

VCFG1 : Selecciona el la fuente de tensión VREF- de referencia:

1 = Entrada por la patilla RA2/AN2/VREF-

0 = Tensión Vss (0V) de alimentación del sistema

VCFG2 : Selecciona el la fuente de tensión VREF+ de referencia:

1 = Entrada por la patilla RA3/AN3/VREF+

0 = Tensión Vdd de alimentación del sistema

Registros asociados al Conversor A/D

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other Resets
ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON	0000 0000	0000 0000
ADCON1	ADFM	—	VCFG1	VCFG0	—	—	—	—	0-00 ----	-000 ----
ANSEL	ANS7	ANS6	ANS5	ANS4	ANS3	ANS2	ANS1	ANS0	1111 1111	1111 1111
ANSELH	—	—	ANS13	ANS12	ANS11	ANS10	ANS9	ANS8	--11 1111	--11 1111
ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000x
PIE1	—	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	-000 0000	-000 0000
PIR1	—	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	-000 0000	-000 0000
PORTA	RA7	RA6	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
PORTE	—	—	—	—	RE3	RE2	RE1	RE0	---- xxxxx	---- uuuu
TRISA	TRISA7	TRISA6	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0	1111 1111	1111 1111
TRISB	TRISB7	TRISB6	TRISB5	TRISB4	TRISB3	TRISB2	TRISB1	TRISB0	1111 1111	1111 111
TRISE	—	—	—	—	TRISE3	TRISE2	TRISE1	TRISE0	---- 1111	---- 111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are not used for ADC module.

Centros participantes en el proyecto: “Aprendizaje de la Electrónica a través de la Robótica” 2009-2011



- IES Politécnico Jesús Marín (Málaga)
- IES Juan de la Cierva (Madrid)
- IES Luis de Lucena (Guadalajara)
- IES María Moliner (Segovia)
- IES Joan Miró (San Sebastián de los Reyes. Madrid)
- IES Virgen de las Nieves (Granada)
- IES Torreón del Alcázar (Ciudad Real)