



# *Convertidor Analógico Digital*



---

M. En C. Victor Hugo García Ortega

Escuela Superior de Cómputo - IPN  
Av. Juan de Dios Batiz s/n  
Unidad Profesional Zacatenco  
07738, México, D.F.

[vgarciaortega@yahoo.com.mx](mailto:vgarciaortega@yahoo.com.mx), [vgarciao@ipn.mx](mailto:vgarciao@ipn.mx)

---

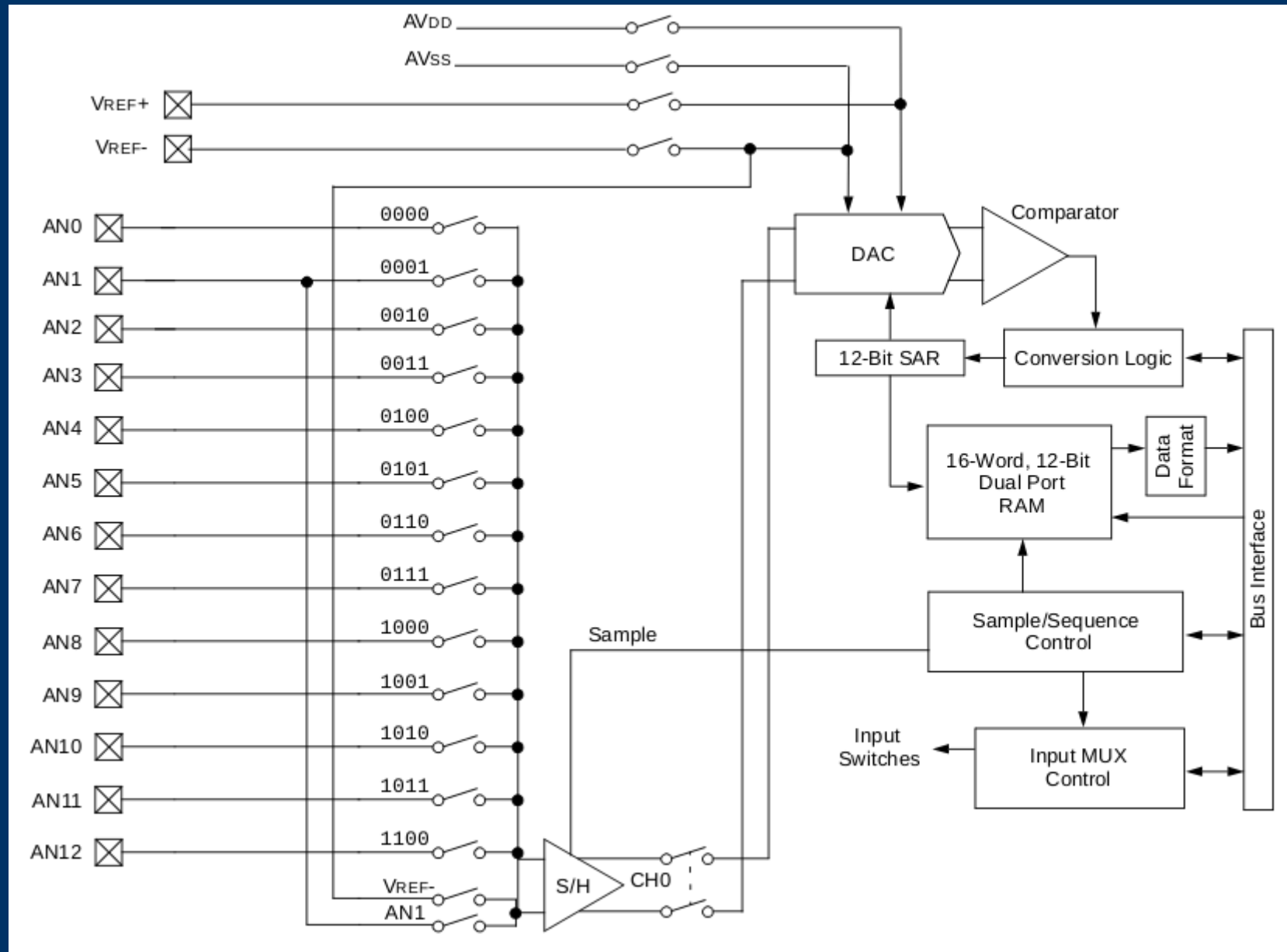
---

# ***ADC – Características***

El ADC del DSPIC30F4013 tiene las siguientes características:

- 12 bits de resolución.
  - Aproximaciones sucesivas.
  - Hasta 200 ksps.
  - Rango dinámico configurable.
  - Hasta 13 canales analógicos.
  - Modo de escaneo automático de canal
  - Inicio de conversión seleccionable
  - 4 opciones para alineación de resultado
- 
-

# ADC – Diagrama a bloques



# ***ADC – Registros***

Este módulo tiene 6 registros de 16 bits:

ADCON1. Registro de control 1

ADCON2. Registro de control 2

ADCON3. Registro de control 3

ADCHS. Registro de selección de entrada

ADPCFG. Registro de configuración de puerto.

ADCSSL. Registro de selección de entrada de escaneo.

---

---

# ADC – ADCON1

- Establece el formato de salida de datos
- Selecciona la fuente de inicio de conversión
- Establece el modo automático de muestreo

### Register 18-1: ADCON1: A/D Control Register 1

<b>Upper Byte:</b>							
R/W-0	U-0	R/W-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
ADON	—	ADSIDL	—	—	—	FORM<1:0>	
bit 15						bit 8	

<b>Lower Byte:</b>							
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0 HC, HS	R/C-0 HC, HS
SSRC<2:0>			—	—	ASAM	SAMP	DONE
bit 7					bit 0		

# ADC – ADCON2

- Configura la referencia de voltaje.
- Activa el modo de escaneo.
- Selecciona cuantas muestras se van a capturar por cada interrupción

Register 18-2: ADCON2: A/D Control Register 2

Upper Byte:						
R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	U-0
VCFG<2:0>			—	—	CSCNA	—
bit 15			bit 8			

Lower Byte:							
R-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
BUFS	—	SMPI<3:0>				BUFM	ALTS
bit 7				bit 0			

# ADC – ADCON3

- Establece el tiempo de muestreo para el Circuito Sample&Hold.
- Establece el tiempo de conversión.

Register 18-3: ADCON3: A/D Control Register 3

Upper Byte:							
U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	SAMC<4:0>				
bit 15							
							bit 8

Lower Byte:							
R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADRC	—	ADCS<5:0>					
bit 7							
							bit 0

# ADC – ADCHS

El registro ADCHS selecciona la entrada analógica a ser convertida.

Register 18-4: ADCHS: A/D Input Select Register

Upper Byte:							
U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	CH0NB	CH0SB<3:0>			
bit 15			bit 8				

Lower Byte:							
U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	CH0NA	CH0SA<3:0>			
bit 7			bit 0				



# ADC – ADPCFG

El registro ADPCFG configura los pines de los puertos como entradas analógicas o como I/O digital.

**Register 18-5: ADPCFG: A/D Port Configuration Register**

**Upper Byte:**

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PCFG15	PCFG14	PCFG13	PCFG12	PCFG11	PCFG10	PCFG9	PCFG8
bit 15 bit 8							

**Lower Byte:**

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
PCFG7	PCFG6	PCFG5	PCFG4	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7 bit 0							

bit 15-0 **PCFG<15:0>**: Analog Input Pin Configuration Control bits

1 = Analog input pin in Digital mode, port read input enabled, A/D input multiplexer input connected to AVss

0 = Analog input pin in Analog mode, port read input disabled, A/D samples pin voltage

# ADC – ADCSSL

El registro ADCSSL selecciona las entradas analógicas para escaneo.

**Register 18-6: ADCSSL: A/D Input Scan Select Register**

Upper Byte:							
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CSSL15	CSSL14	CSSL13	CSSL12	CSSL11	CSSL10	CSSL9	CSSL8
bit 15				bit 8			

Lower Byte:							
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
CSSL7	CSSL6	CSSL5	CSSL4	CSSL3	CSSL2	CSSL1	CSSL0
bit 7				bit 0			

bit 15-0 **CSSL<15:0>**: A/D Input Pin Scan Selection bits  
1 = Select ANx for input scan  
0 = Skip ANx for input scan

## *ADC – ADCBUF*

El ADC coloca los resultados de la conversión en una memoria RAM de doble puerto (FIFO) de 16 words llamada ADCBUF. Cada una de las 16 localidades de la memoria son llamadas ADCBUF0, ADCBUF1, ..., ADCBUFE, ADCBUFF.

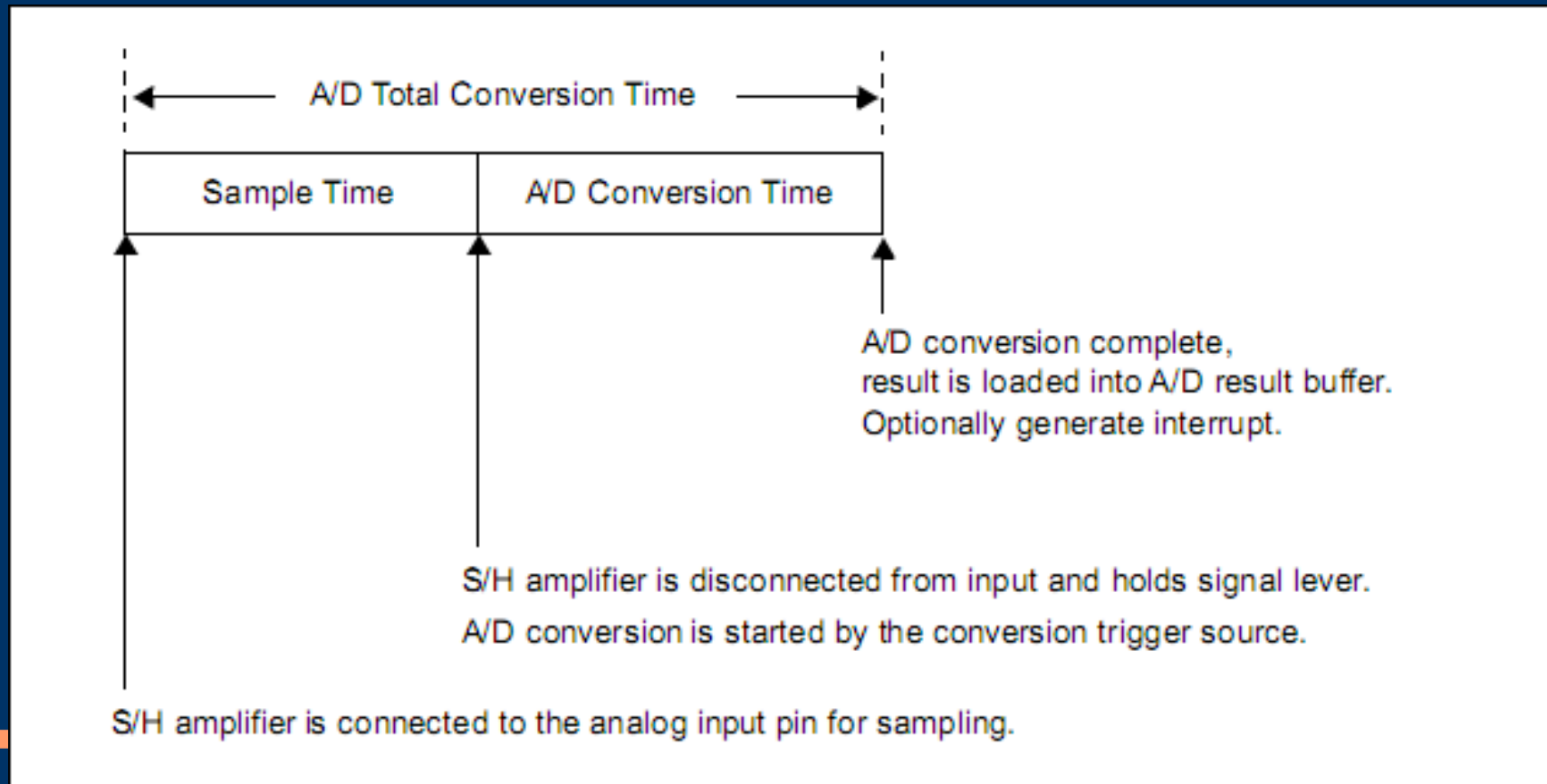
Esta memoria es de solo lectura.

---

---

# ADC – Tiempo total de conversión

El tiempo de conversión es el tiempo total que tarda el ADC en realizar todo el proceso de conversión analógico-digital. Esta dado por:



## *ADC – Tiempo de conversión*

El ADC requiere 14 TAD para realizar la conversión. Hay 64 valores posibles para TAD que dependen del valor de los bits ADCS del registro ADCON3. El TAD debe ser como mínimo 666.66ns

$$T_{AD} = \frac{T_{CY}(ADCS + 1)}{2}$$

$$ADCS = \frac{2T_{AD}}{T_{CY}} - 1$$

# *ADC – Tiempo de conversión*

bit 5-0     **ADCS<5:0>**: A/D Conversion Clock Select bits

111111 =  $T_{CY}/2 \cdot (ADCS<5:0> + 1) = 32 \cdot T_{CY}$

.....

000001 =  $T_{CY}/2 \cdot (ADCS<5:0> + 1) = T_{CY}$

000000 =  $T_{CY}/2 \cdot (ADCS<5:0> + 1) = T_{CY}/2$

## *ADC – Tiempo de muestreo*

El tiempo de muestreo se determina por los bits SAMC<4:0> del registro ADCON3

bit 12-8    **SAMC<4:0>**: Auto Sample Time bits

11111 = 31 TAD

. . . . .

00001 = 1 TAD

00000 = 0 TAD

## ***ADC – Tiempo de conversión***

El inicio del muestreo puede ser configurado por SW usando el bit SAMP del registro ADCON1 o por HW. El ADC puede operar en modo de auto muestreo usando el bit ASAM del registro ADCON1, en este modo el amplificador S/H el pin de entrada analógica es reconectado al final de cada conversión.

Las fuentes de inicio de conversión terminan el muestreo y comienzan la conversión AD o una secuencia de muestreo y retención. Estas fuentes son seleccionadas usando los bits SSRC del registro ADCON1.

---

---

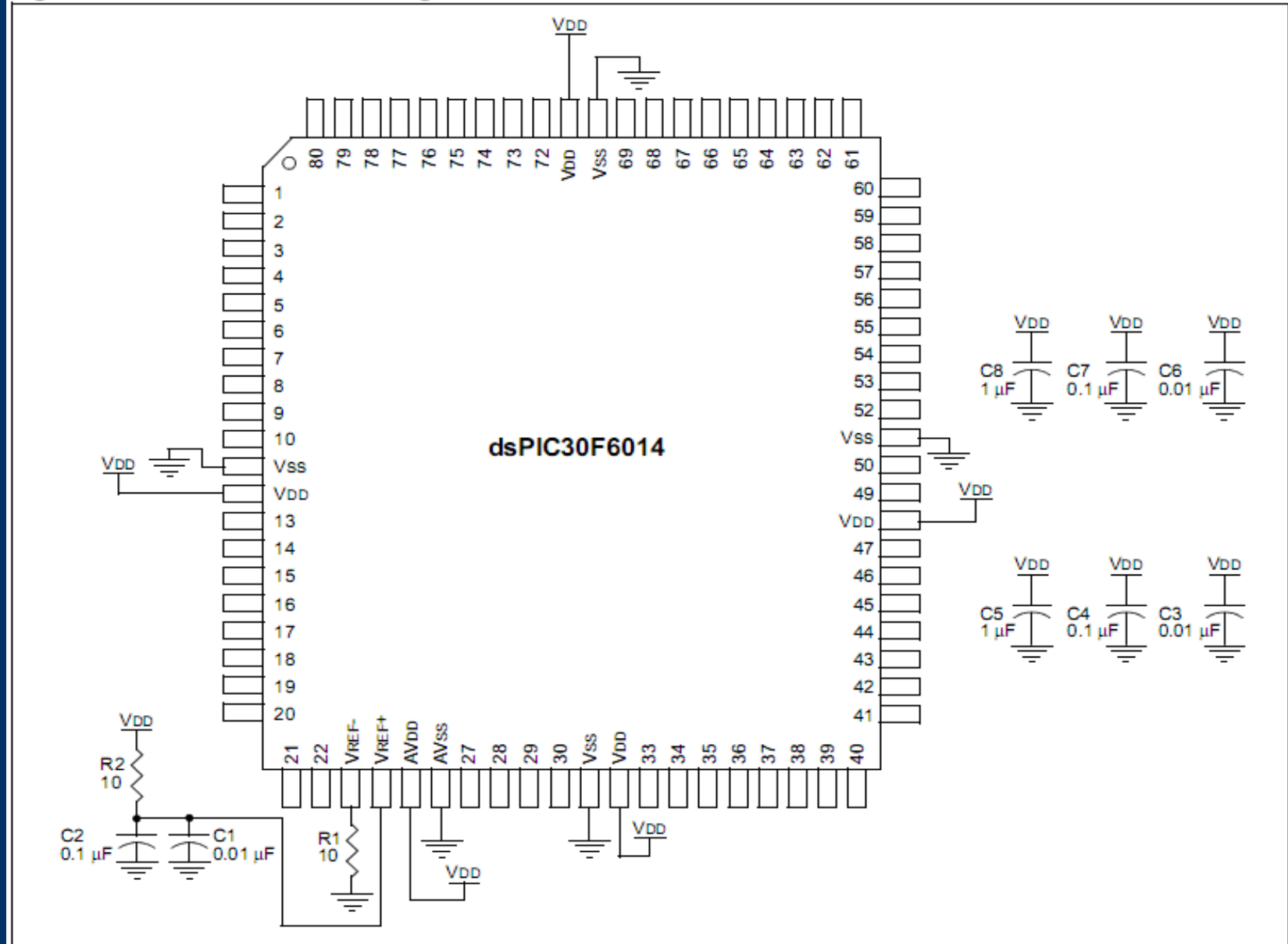


A/D Speed	TAD Minimum	Sampling Time Min	R <sub>s</sub> Max	V <sub>DD</sub>	Temperature	A/D Channels Configuration
Up to 200 ksp/s <sup>(1)</sup>	333.33 ns	1 TAD	2.5 kΩ	4.5V to 5.5V	-40°C to +85°C	
Up to 100 ksp/s	666.67 ns	1 TAD	2.5 kΩ	3.0V to 5.5V	-40°C to +125°C	

**Note 1:** External VREF- and VREF+ pins must be used for correct operation. See Figure 18-14 for recommended circuit.

# Referencias de voltaje

Figure 18-14: A/D Converter Voltage Reference Schematic



# Seleccionando el reloj de conversión

## EXAMPLE 16-1: ADC CONVERSION CLOCK AND SAMPLING RATE CALCULATION

Minimum TAD = 334 nsec

TCY = 33.33 nsec (30 MIPS)

$$\begin{aligned}\text{ADCS}\langle 5:0 \rangle &= 2 \frac{T_{AD}}{T_{CY}} - 1 \\ &= 2 \cdot \frac{334 \text{ nsec}}{33.33 \text{ nsec}} - 1 \\ &= 19.04\end{aligned}$$

Therefore,

Set ADCS<5:0> = 19

$$\begin{aligned}\text{Actual TAD} &= \frac{T_{CY}}{2} (\text{ADCS}\langle 5:0 \rangle + 1) \\ &= \frac{33.33 \text{ nsec}}{2} (19 + 1) \\ &= 334 \text{ nsec}\end{aligned}$$

If SSRC<2:0> = '111' and SAMC<4:0> = '00001'

Since,

$$\begin{aligned}\text{Sampling Time} &= \text{Acquisition Time} + \text{Conversion Time} \\ &= 1 \text{ TAD} + 14 \text{ TAD} \\ &= 15 \times 334 \text{ nsec}\end{aligned}$$

Therefore,

$$\begin{aligned}\text{Sampling Rate} &= \frac{1}{(15 \times 334 \text{ nsec})} \\ &= \sim 200 \text{ kHz}\end{aligned}$$

# Especificaciones importantes en el ADC.

**TABLE 20-36: 12-BIT ADC MODULE SPECIFICATIONS**

AC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions: 2.5V to 5.5V (unless otherwise stated) Operating temperature -40°C ≤ TA ≤ +85°C for Industrial -40°C ≤ TA ≤ +125°C for Extended				
Param No.	Symbol	Characteristic	Min.	Typ	Max.	Units	Conditions
Device Supply							
AD01	AVDD	Module VDD Supply	Greater of VDD - 0.3 or 2.7	—	Lesser of VDD + 0.3 or 5.5	V	—
AD02	AVSS	Module VSS Supply	VSS - 0.3	—	VSS + 0.3	V	—
Reference Inputs							
AD05	VREFH	Reference Voltage High	AVSS + 2.7	—	AVDD	V	—
AD06	VREFL	Reference Voltage Low	AVSS	—	AVDD - 2.7	V	—
AD07	VREF	Absolute Reference Voltage	AVSS - 0.3	—	AVDD + 0.3	V	—
AD08	IREF	Current Drain	—	200 .001	300 2	μA μA	A/D operating A/D off

# Formato de salida del ADC.

La memoria FIFO (ADCBUF) guarda los 12 de la conversión AD, estos datos son interpretados de acuerdo a los siguientes formatos:

Figure 18-12: A/D Output Data Formats

RAM Contents:

d11	d10	d09	d08	d07	d06	d05	d04	d03	d02	d01	d00
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Read to Bus:

Integer

0	0	0	0	d11	d10	d09	d08	d07	d06	d05	d04	d03	d02	d01	d00
---	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Signed Integer

$\overline{d11}$	$\overline{d11}$	$\overline{d11}$	$\overline{d11}$	$\overline{d11}$	d10	d09	d08	d07	d06	d05	d04	d03	d02	d01	d00
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Fractional

d11	d10	d09	d08	d07	d06	d05	d04	d03	d02	d01	d00	0	0	0	0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	---	---

Signed Fractional (1.15)

$\overline{d11}$	d10	d09	d08	d07	d04	d03	d02	d01	d00	d01	d00	0	0	0	0
------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---	---	---

# Formato de salida del ADC.

Ejemplos:

**Table 18-3: Numerical Equivalents of Various Result Codes**

V <sub>IN</sub> /V <sub>REF</sub>	12-bit Output Code	16-bit Unsigned Integer Format	16-bit Signed Integer Format	16-bit Unsigned Fractional Format	16-bit Signed Fractional Format
4095/4096	1111 1111 1111	0000 1111 1111 1111 = 4095	0000 0111 1111 1111 = 2047	1111 1111 1111 0000 = 0.9998	0111 1111 1111 0000 = 0.9995
4094/4096	1111 1111 1110	0000 1111 1111 1110 = 4094	0000 0111 1111 1110 = 2046	1111 1111 1110 0000 = 0.9995	0111 1111 1110 0000 = 0.9990
...					
2049/4096	1000 0000 0001	0000 1000 0000 0001 = 2049	0000 0000 0000 0001 = 1	1000 0000 0001 0000 = 0.5002	0000 0000 0001 0000 = 0.0005
2048/4096	1000 0000 0000	0000 1000 0000 0000 = 2048	0000 0000 0000 0000 = 0	1000 0000 0000 0000 = 0.500	0000 0000 0000 0000 = 0.000
2047/4096	0111 1111 1111	0000 0111 1111 1111 = 2047	1111 1111 1111 1111 = -1	0111 1111 1111 0000 = 0.4998	1111 1111 1111 0000 = -0.0005
...					
1/4096	0000 0000 0001	0000 0000 0000 0001 = 1	1111 1000 0000 0001 = -2047	0000 0000 0001 0000 = 0.0002	1000 0000 0001 0000 = -0.9995
0/4096	0000 0000 0000	0000 0000 0000 0000 = 0	1111 1000 0000 0000 = -2048	0000 0000 0000 0000 = 0.000	1000 0000 0000 0000 = -1.000

## *Inicio del muestreo*

El muestreo se inicia de dos maneras:

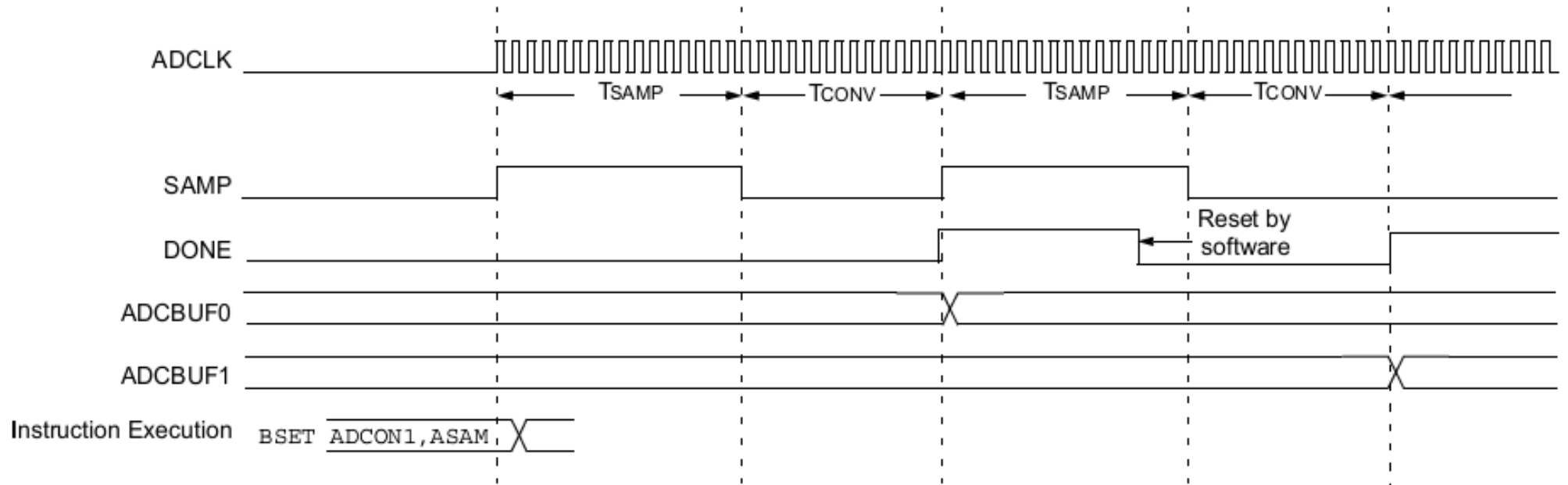
Manual. Colocando el bit SAMP=1 en el registro ADCON1, se inicia el muestreo en el ADC. Una de varias opciones puede ser usada par terminar el muestreo y completar la conversión.

Automático. Colocando el bit ASAM=1 en el registro ADCON1, se inicia el muestreo de forma automática en un canal del ADC. Una de varias opciones puede ser usada par terminar el muestreo y completar la conversión. Una vez terminada la conversión, el muestreo continua en ese canal.

---

---

# *Inicio del muestreo*





# *Contacto*

[vgarciaortega@yahoo.com.mx](mailto:vgarciaortega@yahoo.com.mx)

Gracias.....

