

El Microcontrolador PIC16F877

Resumen de hoja de datos

El PIC16F877 es un microcontrolador con memoria de programa tipo *FLASH*, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje ya que no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM, sino que permite reprogramarlo nuevamente sin ser borrado con anterioridad.

El PIC16F877 es un microcontrolador de *Microchip Technology* fabricado en tecnología CMOS, su consumo de potencia es muy bajo y además es completamente estático, esto quiere decir que el reloj puede detenerse y los datos de la memoria no se pierden.

El encapsulado más común para este microcontrolador es el DIP (*Dual In-line Pin*) de 40 pines, propio para usarlo en experimentación. La referencia completa es PIC16F877-04 para el dispositivo que utiliza cristal oscilador de hasta 4 MHz, PIC16F877-20 para el dispositivo que utiliza cristal oscilador de hasta 20 MHz o PIC16F877A-I para el dispositivo tipo industrial que puede trabajar hasta a 20 MHz. Sin embargo, hay otros tipos de encapsulado que se pueden utilizar según el diseño y la aplicación que se quiere realizar. Por ejemplo, el encapsulado tipo *surface mount* (montaje superficial) tiene un reducido tamaño y bajo costo, que lo hace propio para producciones en serie o para utilizarlo en lugares de espacio muy reducido.

Configuración de pines

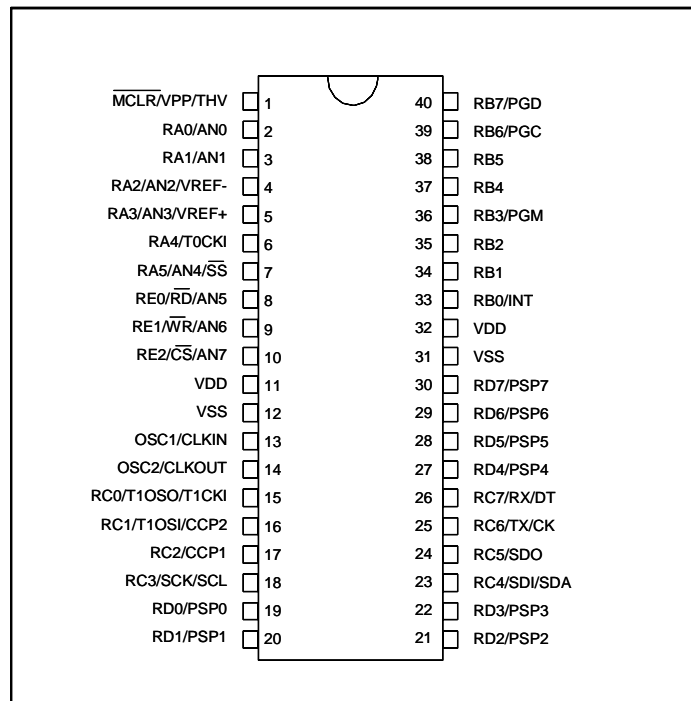


Figura 3.1. Distribución de pines del PIC16F877.

Los pines de entrada/salida de este microcontrolador están organizados en cinco puertos, el puerto A con 6 líneas, el puerto B con 8 líneas, el puerto C con 8 líneas, el puerto D con 8 líneas y el puerto E con 3 líneas. Cada pin de esos puertos se puede configurar como entrada o como salida independiente programando un par de registros diseñados para tal fin. En ese registro un bit en "0" configura el pin del puerto correspondiente como salida y un bit en "1" lo configura como entrada. Dichos pines del microcontrolador también pueden cumplir otras funciones especiales, siempre y cuando se configuren para ello, según se verá más adelante.

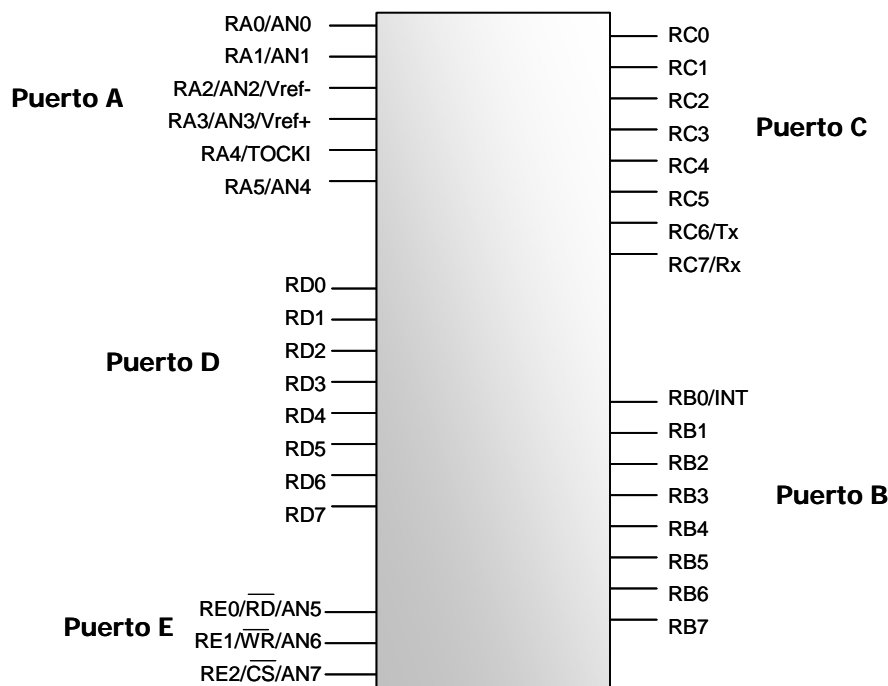


Figura 3.2. Distribución de los puertos del PIC16F877

Los pines del puerto A y del puerto E pueden trabajar como entradas para el convertidor Analógico a Digital interno, es decir, allí se podría conectar una señal proveniente de un sensor o de un circuito analógico para que el microcontrolador la convierta en su equivalente digital y pueda realizar algún proceso de control o de instrumentación digital. El pin RB0/INT se puede configurar por software para que funcione como interrupción externa, para configurarlo se utilizan unos bits de los registros que controlan las interrupciones.

El pin RA4/TOCKI del puerto A puede ser configurado como un pin de entrada/salida o como entrada del temporizador/contador. Cuando este pin se programa como entrada digital,

funciona como un disparador de *Schmitt* (*Schmitt trigger*), puede reconocer señales un poco distorsionadas y llevarlas a niveles lógicos (cero y cinco voltios). Cuando se usa como salida digital se comporta como colector abierto (*open collector*), por lo tanto, se debe poner una resistencia de *pull-up* (resistencia externa conectada a un nivel de cinco voltios). Como salida, la lógica es inversa: un "0" escrito al pin del puerto entrega en el pin un "1" lógico. Además, como salida no puede manejar cargas como fuente, sólo en el modo sumidero.

El puerto E puede controlar la conexión en modo microprocesador con otros dispositivos utilizando las líneas RD (*read*), WR (*write*) y CS (*chip select*). En este modo el puerto D funciona como un bus de datos de 8 bits (pines *PSP*).

La máxima capacidad de corriente de cada uno de los pines de los puertos en modo sumidero (*sink*) o en modo fuente (*source*) es de 25 mA. La máxima capacidad de corriente total de los puertos es:

	PUERTO A	PUERTO B	PUERTO C	PUERTO D
Modo sumidero	150 mA	200 mA	200 mA	200 mA
Modo fuente	150 mA	200 mA	200mA	200mA

El consumo de corriente del microcontrolador para su funcionamiento depende del voltaje de operación, la frecuencia y de las cargas que tengan sus pines. Para un oscilador de 4 MHz el consumo es de aproximadamente 2 mA; aunque este se puede reducir a 40 microamperios cuando se está en el modo *sleep* (en este modo el micro se detiene y disminuye el consumo de potencia). Se sale de ese estado cuando se produce alguna condición especial que veremos más adelante.

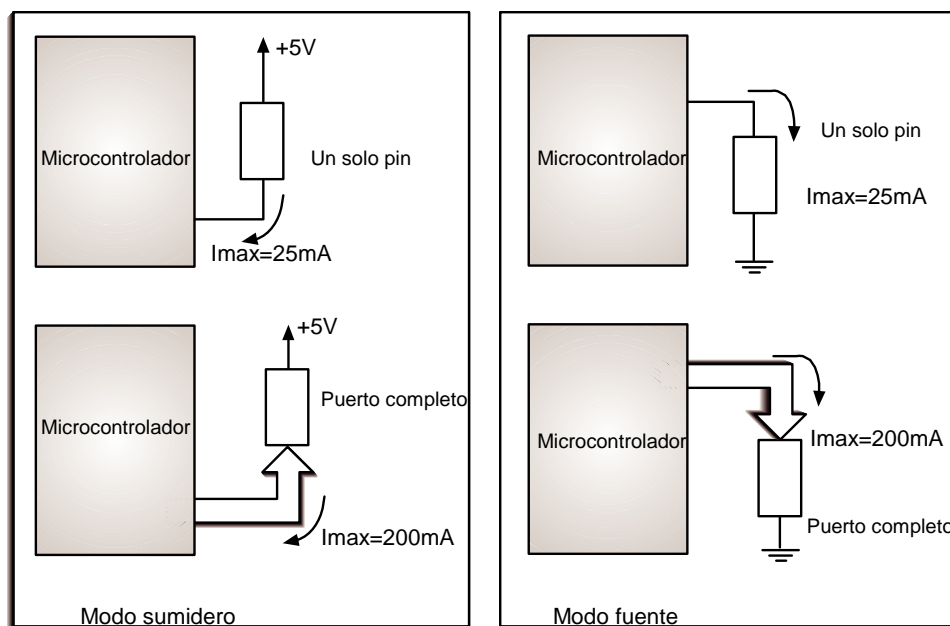


Figura 3.3. Capacidad de corriente de los pines y puertos.

Descripción de los pines del microcontrolador

Nombre pin	Pin	Descripción
RA0/AN0	2	E/S Digital o Entrada análoga 0.
RA1/AN1	3	E/S Digital o Entrada análoga 1.
RA2/AN2 V_{ref}^-	4	E/S Digital o Entrada análoga 2.
RA3/AN3/ V_{ref}^+	5	E/S Digital o Entrada análoga 3.
RA4/T0CKI	6	Bit 4 del puerto A (E/S bidireccional). También se usa como entrada de reloj al temporizador/contador TMR0. Salida de colector abierto.
RA5/SS/AN4	7	E/S Digital o Entrada análoga 4. También lo usa el puerto serial síncrono.
RB0/INT	33	Bit 0 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. También se usa como entrada de interrupción externa (INT).
RB1	34	Bit 1 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
RB2	35	Bit 2 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL
RB3/PGM	36	Bit 3 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL (Programación en bajo voltaje)
RB4	37	Bit 4 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin.
RB5	38	Bit 5 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL. Interrupción por cambio del pin.
RB6/PGC	39	Bit 6 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de reloj para programación serial.
RB7/PGD	40	Bit 7 del puerto B (E/S bidireccional). Buffer E/S: TTL/ST. Interrupción por cambio del pin. Entrada de datos para programación serial.
RC0/T1OSO/T1CKI	15	E/S Digital. Salida del oscilador Timer 1 o entrada de reloj Timer 1.
RC1/T1OSI/CCP2	16	E/S Digital. Entrada del oscilador Timer 1. Entrada Captura 2; Salida Compara 2; Salida PWM 2
RC2/CCP1	17	E/S Digital. Entrada Captura 1; Salida Compara 1; Salida PWM 1
RC3/SCK/SCL	18	E/S Digital. Línea de reloj serial asíncrono en el modo SPI y el modo I ² C
RC4/SDI/SDA	23	E/S Digital. Línea de datos en el modo SPI o en el modo I ² C
RC5/SDO	24	E/S Digital.
RC6/TX/CK	25	E/S Digital. Transmisión asíncrona (USART) o reloj síncrono (SSP).
RC7/RX/DT	26	E/S Digital. Recepción asíncrona (USART) o línea de datos (SSP).
V_{DD}	11,32	Voltaje de alimentación DC (+)
V_{SS}	12,31	Referencia de voltaje (GND).
MCLR	1	Entrada de RESET al microcontrolador. Voltaje de entrada durante la programación. En nivel bajo resetea el microcontrolador.
OSC1/CLKIN	13	Entrada oscilador cristal oscilador / Entrada fuente de reloj externa.
OSC2/CLKOUT	14	Salida oscilador cristal. Oscilador RC: Salida con un ¼ frecuencia OSC1
RD0/PSP0	19	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD1/PSP1	20	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD2/PSP2	21	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD3/PSP3	22	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD4/PSP4	27	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD5/PSP5	28	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD6/PSP6	29	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RD7/PSP7	30	E/S Digital. Puede ser puerto paralelo en bus de 8 bits.
RE0/RD/AN5	8	E/S Digital. Puede ser pin de lectura (<i>read</i>) en modo microprocesador.
RE1/WR/AN6	9	E/S Digital. Puede ser pin de escritura (<i>write</i>) en modo microprocesador.
RE2/CS/AN7	10	E/S Digital. Puede ser pin de selección de chip (<i>chip select</i>) en modo microprocesador.

El oscilador externo

Todo microcontrolador requiere un circuito externo que le indique la velocidad a la que debe trabajar. Este circuito, que se conoce como oscilador o reloj, es muy simple pero de vital importancia para el buen funcionamiento del sistema. El PIC16F877 puede utilizar cuatro tipos de oscilador diferentes. Estos tipos son:

- **RC**. Oscilador con resistencia y condensador.
- **XT**. Cristal (por ejemplo de 1 a 4 MHz).
- **HS**. Cristal de alta frecuencia (por ejemplo 10 a 20 MHz).
- **LP**. Cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia.

En el momento de programar o “quemar” el microcontrolador se debe especificar que tipo de oscilador se usa. Esto se hace a través de unos fusibles llamados “*fusibles de configuración*”.

El tipo de oscilador que se sugiere para las prácticas es el XT con un cristal de 4 MHz, porque garantiza precisión y es muy comercial. Internamente esta frecuencia es dividida por cuatro, lo que hace que la frecuencia efectiva de trabajo sea de 1 MHz en este caso, por lo que cada instrucción se ejecuta en un microsegundo. El cristal debe ir acompañado de dos condensadores y se conecta como se muestra en la figura 3.4.

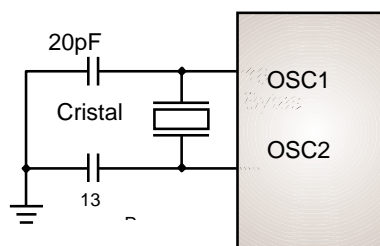


Figura 3.4. Conexión de un oscilador XT.

Si no se requiere mucha precisión en el oscilador y se quiere economizar dinero, se puede utilizar una resistencia y un condensador, como se muestra en la figura 3.5.

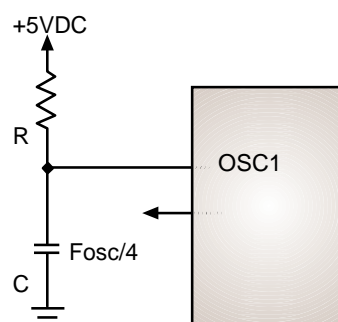


Figura 3.5. Conexión de un oscilador RC.

Reset

En los microcontroladores se requiere un pin de *reset* para reiniciar el funcionamiento del sistema cuando sea necesario, ya sea por una falla que se presente o porque así se haya diseñado el sistema. El pin de reset en los PIC es llamado MCLR (*master clear*). Existen varias formas de resetear o reiniciar el sistema:

- Al encendido (*Power On Reset*)
- Pulso en el pin MCLR durante operación normal
- Pulso en el pin MCLR durante el modo de bajo consumo (modo *sleep*)
- El rebase del conteo del circuito de vigilancia (*watchdog*) durante operación normal
- El rebase del conteo del circuito de vigilancia (*watchdog*) durante el modo de bajo consumo (*sleep*)

El *reset* al encendido se consigue gracias a dos temporizadores. El primero de ellos es el OST (*Oscillator Start-Up Timer*: Temporizador de encendido del oscilador), orientado a mantener el microcontrolador en *reset* hasta que el oscilador del cristal es estable. El segundo es el PWRT (*Power-Up Timer*: Temporizador de encendido), que provee un retardo fijo de 72 ms (nominal) en el encendido únicamente, diseñado para mantener el dispositivo en *reset* mientras la fuente se estabiliza. Para utilizar estos temporizadores, sólo basta con conectar el pin MCLR a la fuente de alimentación, evitándose utilizar las tradicionales redes de resistencias externas en el pin de *reset*.

El *reset* por MCLR se consigue llevando momentáneamente este pin a un estado lógico bajo, mientras que el watchdog WDT produce el *reset* cuando su temporizador rebasa la cuenta, o sea que pasa de 0FFh a 00h. Cuando se quiere tener control sobre el *reset* del sistema se puede conectar un botón como se muestra en la figura 3.6.

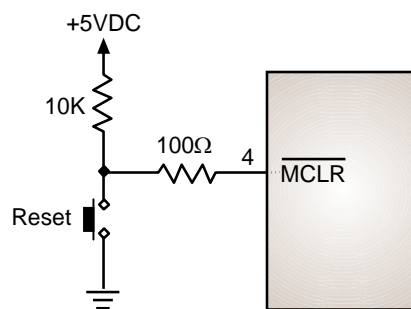


Figura 3.6 Conexión del botón de reset.

Arquitectura interna del microcontrolador

Este término se refiere a los bloques funcionales internos que conforman el microcontrolador y la forma en que están conectados, por ejemplo la memoria FLASH (de programa), la memoria RAM (de datos), los puertos, la lógica de control que permite que todo el conjunto funcione, etc.

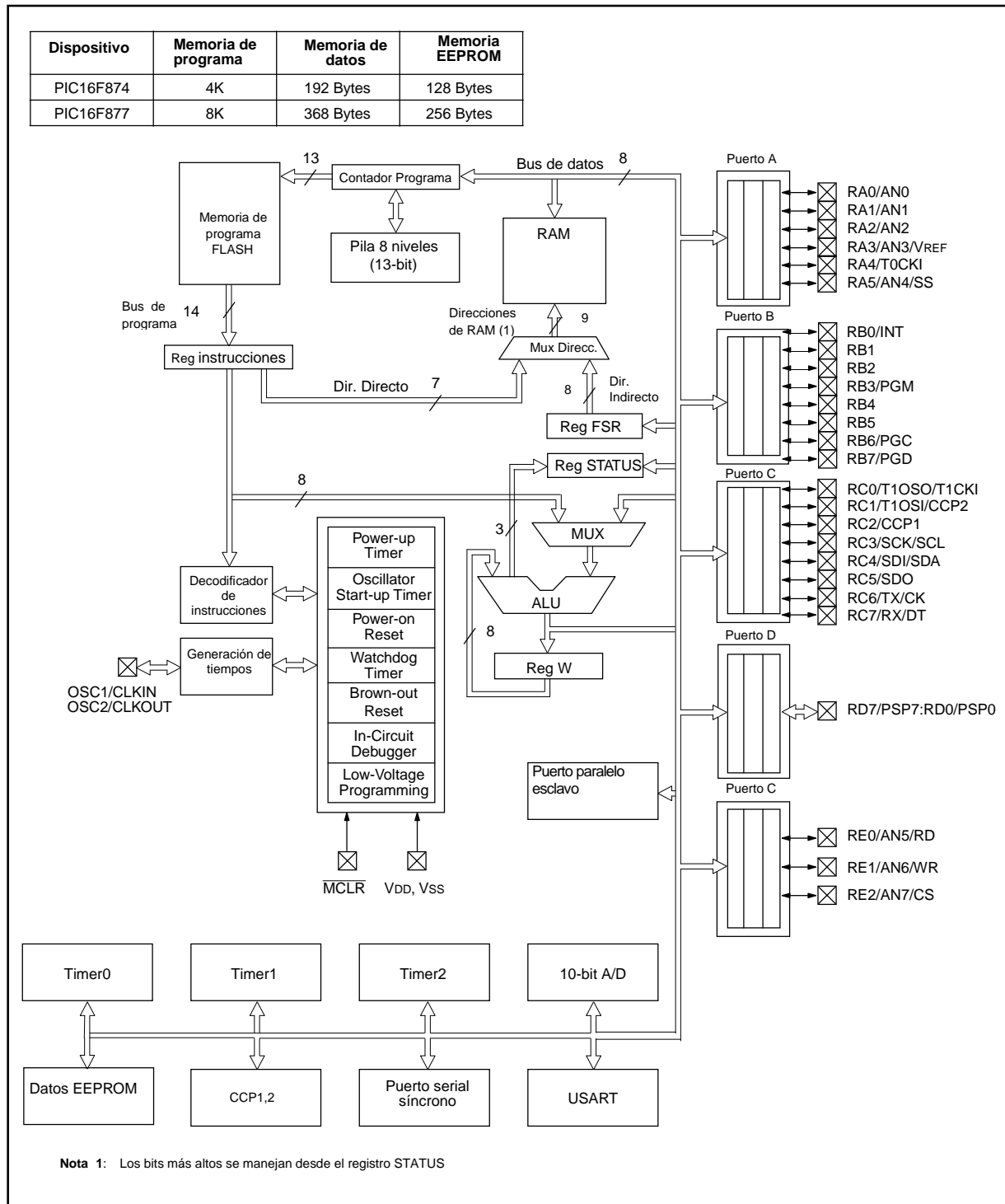


Figura 3.7. Arquitectura del PIC16F877

La figura 3.7 muestra la arquitectura general del PIC16F877, en ella se pueden apreciar los diferentes bloques que lo componen y la forma en que se conectan. Se muestra la conexión de los puertos, las memorias de datos y de programa, los bloques especiales como el *watchdog*, los temporizadores de arranque, el oscilador, etc.

Todos los elementos se conectan entre sí por medio de buses. Un bus es un conjunto de líneas que transportan información entre dos o más módulos. Vale la pena destacar que el PIC16F877 tiene un bloque especial de memoria de datos de 256 bytes del tipo EEPROM, además de los dos bloques de memoria principales que son el de programa y el de datos o registros.

El PIC16F877 se basa en la arquitectura *Harvard*, en la cual el programa y los datos se pueden trabajar con buses y memorias separadas, lo que posibilita que las instrucciones y los datos posean longitudes diferentes. Esta misma estructura es la que permite la superposición de los ciclos de búsqueda y ejecución de las instrucciones, lo cual se ve reflejado en una mayor velocidad del microcontrolador.

Memoria de programa (FLASH)

Es una memoria de 8K de longitud con datos de 14 bits en cada posición. Como es del tipo *FLASH* se puede programar y borrar eléctricamente, lo que facilita el desarrollo de los programas y la experimentación. En ella se graba o almacena el programa o códigos que el microcontrolador debe ejecutar. En la figura 3.8 se muestra el mapa de la memoria de programa.

La memoria de programa está dividida en cuatro bancos o páginas de 2K cada uno. El primero va de la posición de memoria 0000h a la 07FFh, el segundo va de la 0800h a la 0FFFh, el tercero de la 1000h a la 17FFh y el cuarto de la 1800h a la 1FFFh.

Vector de reset. Cuando ocurre un reset al microcontrolador, el contador de programa se pone en ceros (0000H). Por esta razón, en la primera dirección del programa se debe escribir todo lo relacionado con la iniciación del mismo.

Vector de interrupción. Cuando el microcontrolador recibe una señal de interrupción, el contador de programa apunta a la dirección 04H de la memoria de programa, por eso, allí se debe escribir toda la programación necesaria para atender dicha interrupción.

Pila (Stack)

Estos registros no forman parte de ningún banco de memoria y no permiten el acceso por parte del usuario. Se usan para guardar el valor del contador de programa cuando se hace un llamado a una subrutina o cuando se atiende una interrupción; luego, cuando el micro regresa a seguir ejecutando su tarea normal, el contador de programa recupera su valor leyéndolo nuevamente desde la pila. El PIC16F877 tiene una pila de 8 niveles, esto significa que se pueden anidar 8 llamados a subrutina sin tener problemas.

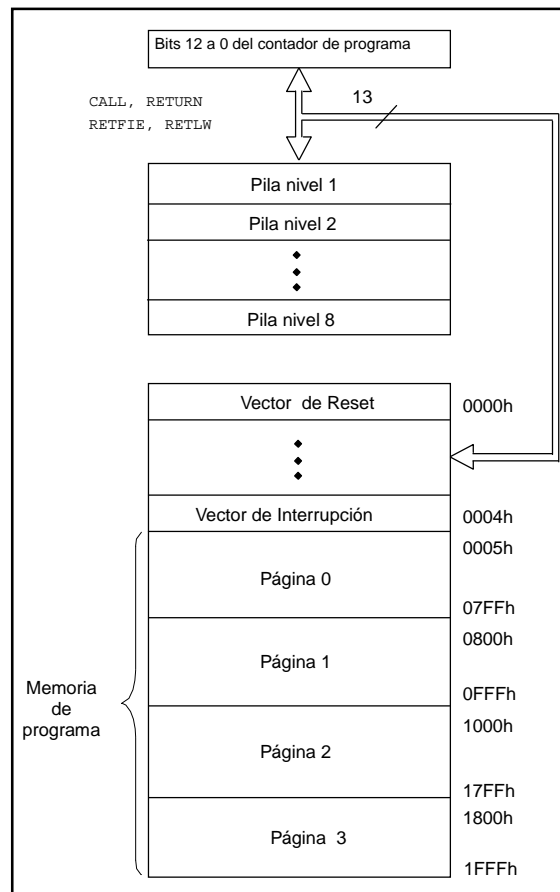


Figura 3.8. Memoria de programa del PIC16F877.

Memoria de datos (RAM)

El PIC16F877 posee cuatro bancos de memoria RAM, cada banco posee 128 bytes. De estos 128 los primeros 32 (hasta el 1Fh) son registros que cumplen un propósito especial en el control del microcontrolador y en su configuración. Los 96 siguientes son registros de uso general que se pueden usar para guardar los datos temporales de la tarea que se está ejecutando, figura 3.9.

Todas las posiciones o registros de memoria se pueden acceder directa o indirectamente (esta última forma a través del registro selector FSR). Para seleccionar que página o banco de memoria se trabaja en un momento determinado se utilizan los bits RP0 y RP1 del registro STATUS.

Resumen de algunos de los registros de configuración

BANCO 0:

- **TMRO**: Registro del temporizador/contador de 8 bits.
- **PCL**: Byte menos significativo del contador de programa (PC).
- **STATUS**: Contiene banderas (bits) que indican el estado del procesador después de una operación aritmética/lógica.
- **FSR**: Registro de direccionamiento indirecto.
- **PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE**: Registro de puertos de E/S de datos. Conectan con los pines físicos del micro.
- **PCLATH**: Byte alto (más significativo) del contador de programa (PC).
- **INTCON**: Registro de control de las interrupciones.
- **ADRESH**: Parte alta del resultado de la conversión A/D.
- **ADCON0**: Controla la operación del módulo de conversión A/D

BANCO 1:

- **OPTION**: Registro de control de frecuencia del TMRO.
- **TRISA, TRISB, TRISC, TRISD, TRISE**: Registros de configuración de la operación de los pines de los puertos.
- **ADRESL**: Parte baja del resultado de la conversión A/D.
- **ADCON1**: Controla la configuración de los pines de entrada análoga.

BANCO 2:

- **TMRO**: Registro del temporizador/contador de 8 bits.
- **PCL**: Byte menos significativo del contador de programa (PC).
- **FSR**: Registro de direccionamiento indirecto.
- **EEDATA**: Registro de datos de la memoria EEPROM.
- **EEADR**: Registro de dirección de la memoria EEPROM.
- **PCLATH**: Byte alto (más significativo) del contador de programa (PC).
- **INTCON**: Registro de control de las interrupciones.

BANCO 3:

- **OPTION**: Registro de control de frecuencia del TMRO.
- **EECON1**: Control de lectura/escritura de la memoria EEPROM de datos.
- **EECON2**: No es un registro físico.

INDF	00h	INDF	80h	INDF	100h	INDF	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR TRISA	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD	08h	TRISD	88h		108h		188h
PORTE	09h	TRISE	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reservado	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reservado	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
SSPBUF	13h	SSPADD	93h				
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h	Registros de Propósito General		Registros de Propósito General	
RCREG	1Ah		9Ah				
CCPR2L	1Bh		9Bh				
CCPR2H	1Ch		9Ch	16 Bytes		16 Bytes	
CCP2CON	1Dh		9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h	Registros de Propósito General 80 Bytes	120h	Registros de Propósito General 80 Bytes	1A0h
Registros de Propósito General 96 Bytes		Registros de Propósito General 80 Bytes	0EFh				
			0F0h		16Fh		1EFh
					170h		1F0h
					17Fh		1FFh
Banco 0	7Fh	Banco 1	FFh	Banco 2		Banco 3	

Figura 3.9. Organización de la memoria RAM del PIC16F877.

Función de algunos registros especiales

00h o INDF: Registro para direccionamiento indirecto de datos. Este no es un registro disponible físicamente; utiliza el contenido del registro FSR y los bits RP0 y RP1 del registro STATUS para seleccionar indirectamente la memoria de datos, la instrucción que lo acompañe determinará que se debe realizar con el registro señalado.

01h o TMR0. Temporizador/contador de 8 bits. Este es un contador que se puede incrementar con una señal externa aplicada al pin RA4/TOCKI o de acuerdo a una señal interna proveniente del reloj de instrucciones del microcontrolador. La rata de incremento del registro se puede determinar por medio de un preescalador o divisor de frecuencia, localizado en el registro OPTION. Como una mejora con respecto a referencias anteriores, se le ha agregado la generación de interrupción cuando se rebasa la cuenta (el paso de 0FFh a 00h).

02h o PCL: Contador de programa. Se utiliza para direccionar las palabras de 14 bits del programa que se encuentra almacenado en la memoria ROM; este contador de programas es de 13 bits de ancho, figura 3.10. Sobre el byte bajo, se puede escribir o leer directamente, mientras que sobre el byte alto, no. El byte alto se maneja mediante el registro PCLATH (0Ah). Ante una condición de reset el microcontrolador inicia el contador de programa con todos sus bits en "cero". Durante la ejecución normal del programa, y dado que todas las instrucciones ocupan sólo una posición de memoria, el contador se incrementa en uno con cada instrucción, a menos que se trate de alguna instrucción de salto.

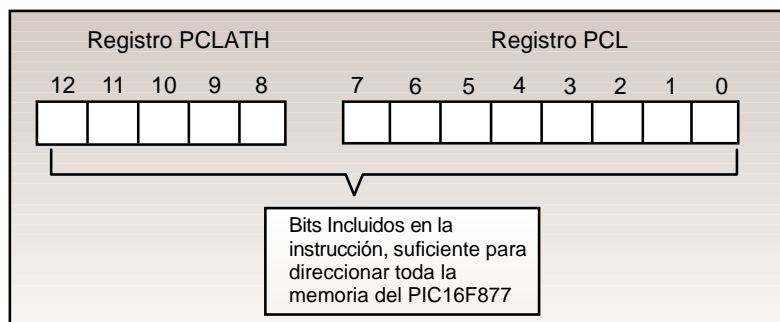


Figura 3.10. Registros que conforman el Contador de programa.

En una instrucción CALL o GOTO la dirección de memoria a donde se quiere ir, es decir, los bits 12 a 0 del contador de programa se cargan desde el código de operación de la instrucción.

En algunas instrucciones donde la parte baja del contador de programa, es decir los ocho bits bajos del registro PCL, es el destino, los otros cinco bits se cargan directamente desde el

PCLATH (bits 4 a 0), por ejemplo en el caso de la instrucción ADDWF. Esto se debe tener en cuenta cuando se desea hacer lectura de tablas usando el comando: ADDWF PC,1, en este caso se debe tener en cuenta que la tabla debe estar comprendida dentro de un solo bloque de 256 bytes (0-255, 256-511, etc.).

03h o STATUS: Registro de estados. Contiene el estado aritmético de la ALU, la causa del reset y los bits de preselección de página para la memoria de datos. La figura 3.11 muestra los bits correspondientes a este registro. Los bits 5 y 6 (RP0 y RP1) son los bits de selección de página para el direccionamiento directo de la memoria de datos; solamente RP0 se usa en los PIC16F84. RP1 se puede utilizar como un bit de propósito general de lectura/escritura. Los bits TO y PD no se pueden modificar por un proceso de escritura; ellos muestran la condición por la cual se ocasionó el último reset.

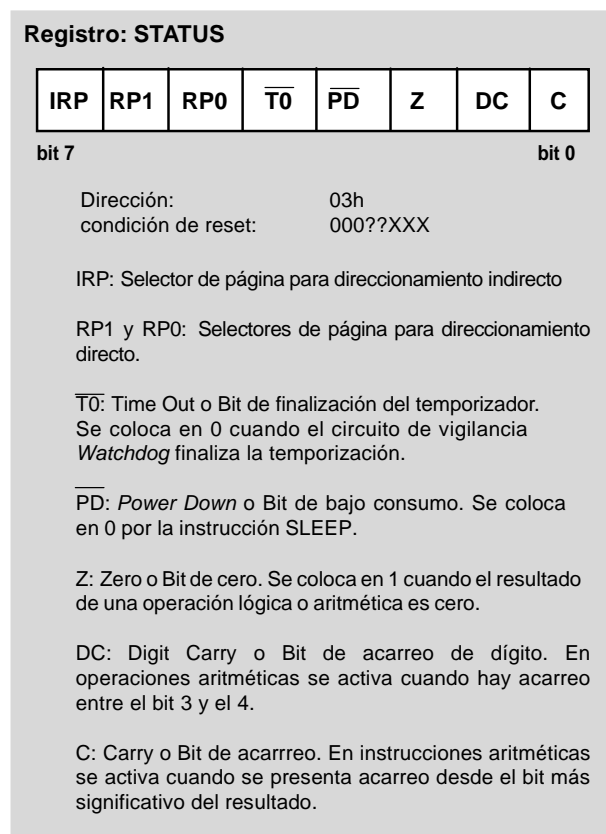


Figura 3.11. Bits del Registro de Estados.

04h o FSR: Registro selector de registros. En asocio con el registro IND0, se utiliza para seleccionar indirectamente los otros registros disponibles. Si en el programa no se utilizan llamadas indirectas, este registro se puede utilizar como un registro de propósito general.

Para entender mejor el funcionamiento de este registro veamos un programa simple que borra el contenido de la memoria RAM, empleando direccionamiento indirecto.

```
        MOVLW    20h        ;inicializa el puntero en la posición de memoria RAM
        MOVWF    FSR        ;que se va a borrar
NEXT    CLRF      INDO      ;borra el registro indexado (es decir el que está
                           ;siendo direccionado por el FSR)
        INCF     FSR,1      ;incrementa el puntero
        BTFSS    FSR,6      ;pregunta por el bit 6 para ver si ya acabó de borrar
        GOTO     NEXT      ;sigue borrando los registros que faltan
        continúa .....    
```

05h o PORTA: Puerto de Entrada/Salida de 6 bits. Este puerto, al igual que todos sus similares en los PIC, puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera. El registro que controla el sentido (entrada o salida) de los pines de este puerto está localizado en la página 1, en la posición 85h y se llama TRISA. El puerto A también puede ser configurado para que trabaje como entradas análogas para el convertidor Análogo a Digital interno del microcontrolador.

06h o PORTB: Puerto de entrada/salida de 8 bits. Al igual que en todos los PIC, este puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera; algunos de sus pines tienen funciones alternas en la generación de interrupciones. El registro de control para la configuración de la función de sus pines se localiza en la página 1, en la dirección 86h y se llama TRISB. Puede ser configurado también para cumplir otras funciones.

07h o PORTC: Puerto de entrada/salida de 8 bits. Al igual que en todos los PIC, este puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera; algunos de sus pines tienen funciones alternas. El registro de control para la configuración de la función de sus pines se localiza en la página 1, en la dirección 87h y se llama TRISC. Puede ser configurado también para cumplir otras funciones.

08h o PORTD: Puerto de entrada/salida de 8 bits. Al igual que en todos los PIC, este puede leerse o escribirse como si se tratara de un registro cualquiera; algunos de sus pines tienen funciones alternas cuando se utiliza el micro en modo microprocesador. El registro de control para la configuración de la función de sus pines se localiza en la página 1, en la dirección 88h y se llama TRISD. Puede ser configurado también para cumplir otras funciones.

09h o PORTE: Puerto de Entrada/Salida de 3 bits. Este puerto, al igual que todos sus similares en los PIC, puede leerse o escribirse como si se tratara de un

registro cualquiera. El registro que controla el sentido (entrada o salida) de los pines de este puerto está localizado en la página 1, en la posición 89h y se llama TRISE. El puerto E también puede ser configurado para que trabaje como entradas análogas para el convertidor Análogo a Digital interno del microcontrolador o para que maneje las señales de control en el modo microprocesador.

85h o TRISA: Registro de configuración del puerto A. Como ya se mencionó, es el registro de control para el puerto A. Un “cero” en el bit correspondiente al pin lo configura como salida, mientras que un “uno” lo hace como entrada.

86h o TRISB: Registro de configuración del puerto B. Orientado hacia el control del puerto B. Son válidas las mismas consideraciones del registro TRISA.

87h o TRISC: Registro de configuración del puerto C. Orientado hacia el control del puerto C. Son válidas las mismas consideraciones del registro TRISA.

88h o TRISD: Registro de configuración del puerto D. Orientado hacia el control del puerto D. Son válidas las mismas consideraciones del registro TRISA.

89h o TRISE: Registro de configuración del puerto E. Orientado hacia el control del puerto E. Son válidas las mismas consideraciones del registro TRISA.

020h a 7Fh: Registros de propósito general. Estas 96 posiciones están implementadas en la memoria RAM estática, la cual conforma el área de trabajo del usuario. Pueden ser utilizadas para almacenar cualquier dato de 8 bits.

Registro de trabajo W. Este es el registro de trabajo principal, se comporta de manera similar al acumulador en los microprocesadores. Este registro participa en la mayoría de las instrucciones. Está directamente relacionado con la Unidad Aritmética y Lógica ALU.

Módulo del convertidor Análogo a Digital

Este módulo permite la conversión de una señal de entrada análoga a su correspondiente valor numérico de 10 bits. El módulo tiene ocho entradas análogas, las cuales son multiplexadas dentro de un circuito de muestreo y retención. La salida del multiplexor es la entrada al convertidor, el cual genera el resultado por medio de aproximaciones sucesivas, figura 3.12.

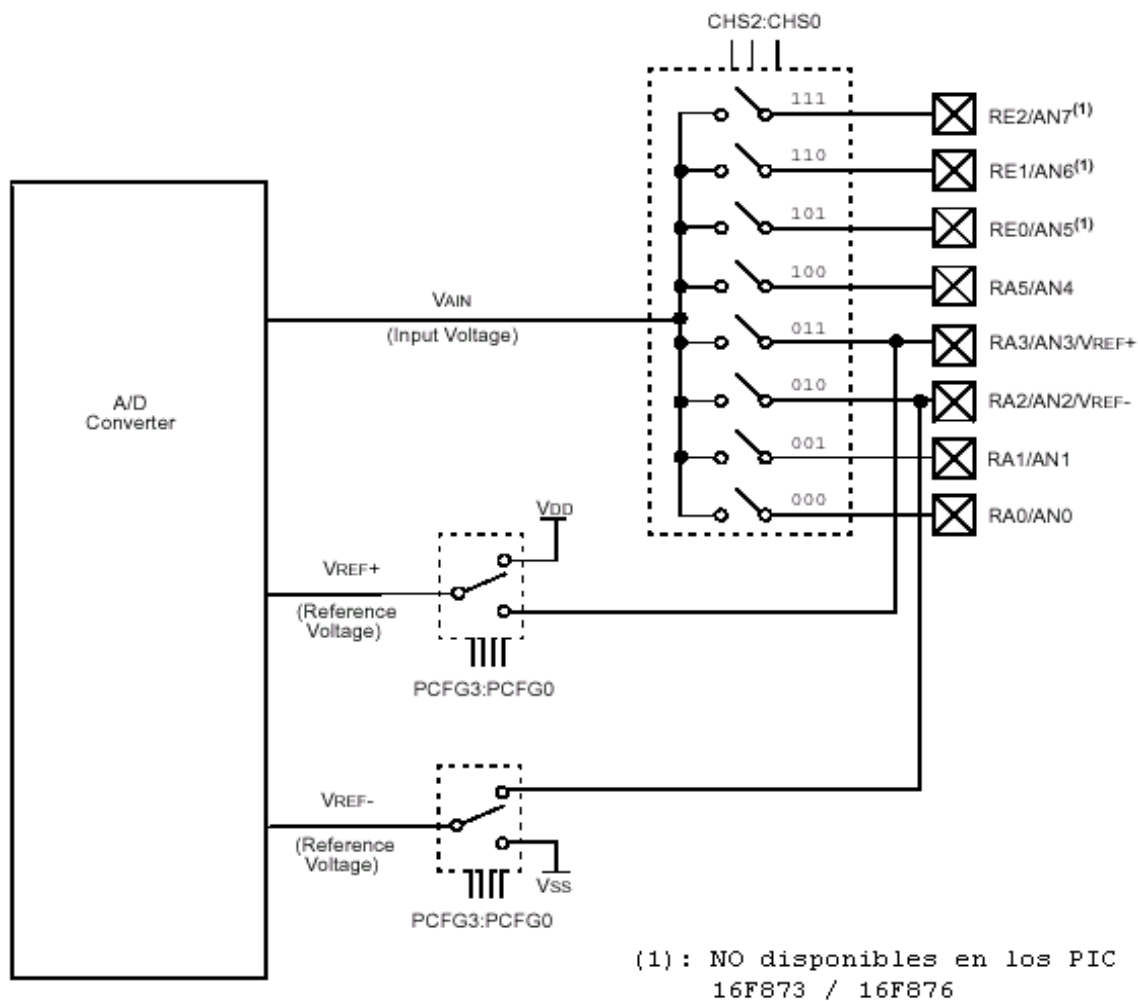


Figura 3.12. Módulo del Convertidor A/D

La referencia análoga de voltaje es seleccionada por software permitiendo utilizar la fuente de alimentación del PIC (VDD) o un nivel de voltaje externo aplicado al pin 5 (RA3/AN3/ VREF +).

El módulo tiene los siguientes registros asociados:

- ADCON0 : Controla la operación del módulo A/D.
- ADCON1 : Configura las funciones de los pines del puerto análogo.

- ADRESL : Contiene la parte BAJA del resultado de la conversión A/D.
- ADRESH : Contiene la parte ALTA del resultado de la conversión A/D.

Registros de Control del Módulo Convertidor Análogo/Digital

Registro ADCON0

Este es un registro que permite seleccionar cual de las entradas análogas va a ser leída y permite dar la orden de iniciar el proceso de conversión, sus ocho bits son los siguientes:

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

- Bit 0 (ADON): Bit de activación del módulo. ADON = 1, Módulo A/D operando. ADON = 0, Módulo A/D desactivado.
- Bit 2 (GO/DONE): Estado de conversión: GO = 1, Empieza conversión. GO = 0, conversión finalizada.
Si ADON = 0, Este bit es cero.
- Bits 3, 4 y 5 (CHS0, CHS1, CHS2): Selección del canal a convertir (canal 0 - 7).
- Bits 6 y 7 (ADCS0, ADCS1): Selección del reloj de conversión.

ADCS1	ADCS0	FRECUENCIA DE CONVERSIÓN
0	0	$F_{osc} / 2$
0	1	$F_{osc} / 8$
1	0	$F_{osc} / 32$
1	1	FRC

Figura 3.13. Frecuencias de conversión para el módulo A/D

Registro ADCON1.

Este es un registro que permite seleccionar como se ubican los diez bits resultado de la conversión A/D y permite seleccionar cuales de los pines del puerto A trabajarán como entradas análogas y cuales como entradas digitales. Adicionalmente, permite seleccionar los voltajes de referencia del convertidor.

ADFM	-	-	-	-	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit7					bit 0		

El bit 7 (ADFM) selecciona el formato del resultado de la conversión:

Si ADFM = 1, el resultado se justifica a la derecha: Los 6 bits más significativos de ADRESH son cero.

Si ADFM = 0, el resultado se justifica a la izquierda: Los 6 bits menos significativos de ADRESL son cero.

Con los tres bits (PCFG0, PCFG1, PCFG2) se configuran los pines del puerto A como de entradas análogas o entrada/salida digital, así como la referencia de voltaje que utilizará el convertidor. Figura 3.14.

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
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 = Entrada Análoga

D = Entrada/Salida Digital

Nota 1: Estos canales no están disponibles en los dispositivos de 28 pines

Figura 3.14. Selección de los canales análogos a utilizar.

Cuando se completa la conversión A/D, el resultado se carga en los registros ADRESH y ADRESL (en el formato configurado por el bit ADFM).

El bit GO/DONE (ADCON0<2>) se pone en cero y el bit bandera de la interrupción A/D (ADIF) se pone en uno.

Después de que el módulo ha sido configurado, al canal seleccionado se debe hacer un muestreo antes de empezar la conversión. El tiempo requerido para el muestreo es definido como Tad.

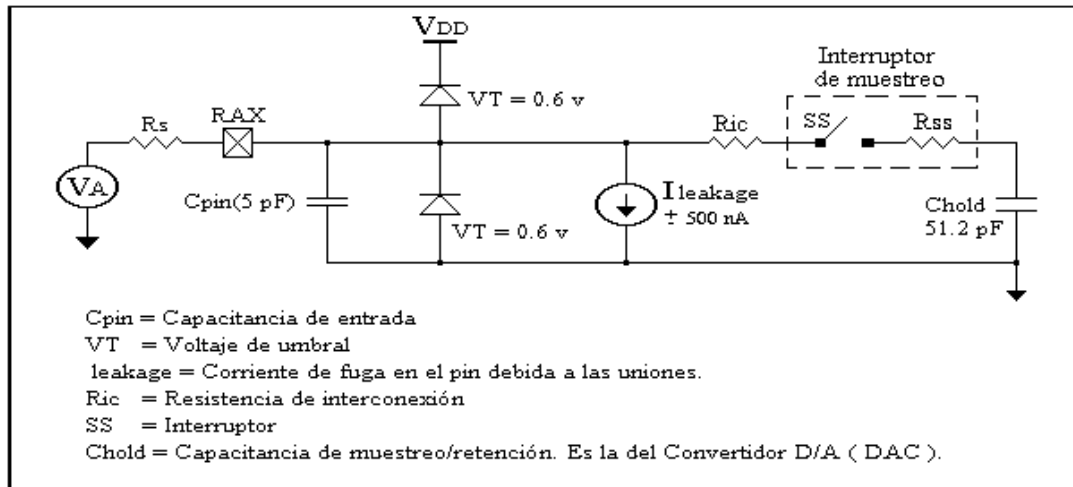


Figura 3.15. Modelo circuital de la Entrada Análoga.

Requerimientos para el Muestreo:

Para que el convertidor A/D tenga precisión, se debe permitir que el condensador de retención se cargue con todo el nivel de voltaje del canal de entrada. En la figura 3.15. se muestra el modelo de entrada análoga. La máxima impedancia recomendada para las fuentes análogas es de 10 Kohm. Después que se selecciona el canal de entrada análoga (o es cambiado) se debe esperar un tiempo de muestreo antes de que la conversión se inicie.

Selección de la frecuencia de conversión:

La conversión A/D requiere 10 T_{ad} . La fuente del reloj de conversión es seleccionada por software. Las cuatro opciones posibles para T_{ad} son:

- 2 T_{osc}
- 8 T_{osc}
- 32 T_{osc}
- Oscilador interno RC

Para conversiones correctas, el reloj de conversión (T_{ad}) debe ser seleccionado para tener un tiempo mínimo T_{ad} de 1.6 μseg .

FORMA DE REALIZAR LA CONVERSIÓN A/D :

- Configurar el módulo A/D:
 - Configurar los pines análogos, referencia de voltaje y E/S digitales (ADCON1).
 - Seleccionar canal de entrada A/D.
 - Seleccionar reloj de conversión A/D.
 - Activar el módulo A/D.
- Configurar la interrupción A/D (si se requiere): $ADIF = 0$ (PIR1<6>); $ADIE = 1$ (PIE1<6>) y $GIE = 1$ (INTCON<7>).

- Asegurar el tiempo de muestreo requerido [Tad].
 - Empezar la conversión.
 - Esperar que se realice la conversión, así :
 - Haciendo un muestreo al bit GO/DONE hasta que éste es cero.
 - Esperar la interrupción del convertidor.
 - Leer los registros ADRESH y ADRESL. ADIF se debe resetear si se usa interrupción.
 - Para una siguiente conversión vaya al paso primero o segundo según se requiera.
- Antes de empezar otro muestreo se debe esperar como mínimo 2 Tad.

Resumen de Características principales del PIC16F877:

- Memoria de programa : FLASH, 8 K de instrucciones de 14 bits c/u.
- Memoria de datos : 368 bytes RAM, 256 bytes EEPROM.
- Pila (Stack) : 8 niveles (14 bits).
- Fuentes de interrupción : 13
- Instrucciones : 35
- Encapsulado : DIP de 40 pines.
- Frecuencia oscilador : 20 MHz (máxima)
- Temporizadores/Contadores: 1 de 8 bits (Timer 0); 1 de 16 bits (Timer 1); 1 de 8 bits (Timer 2) con pre y post escalador. Un perro guardián (WDT)
- Líneas de E/S : 6 del puerto A, 8 del puerto B, 8 del puerto C, 8 del puerto D y 3 del puerto E, además de 8 entradas análogas.
- Dos módulos de Captura, Comparación y PWM:
 - Captura: 16 bits. Resolución máx. = 12.5 nseg.
 - Comparación: 16 bits. Resolución máx. = 200 nseg.
 - PWM: Resolución máx. = 10 bits.
- Convertidor Análogo/Digital de 10 bits multicanal (8 canales de entrada).
- Puerto serial síncrono (SSP) con bus SPI (modo maestro) y bus I²C (maestro/esclavo).
- USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con dirección de detección de 9 bits.
- Corriente máxima absorbida/suministrada (sink/source) por línea (pin): 25 mA
- Oscilador : Soporta 4 configuraciones diferentes: XT, RC, HS, LP.
- Tecnología de Fabricación: CMOS
- Voltaje de alimentación: 3.0 a 5.5 V DC
- Puede operar en modo microprocesador