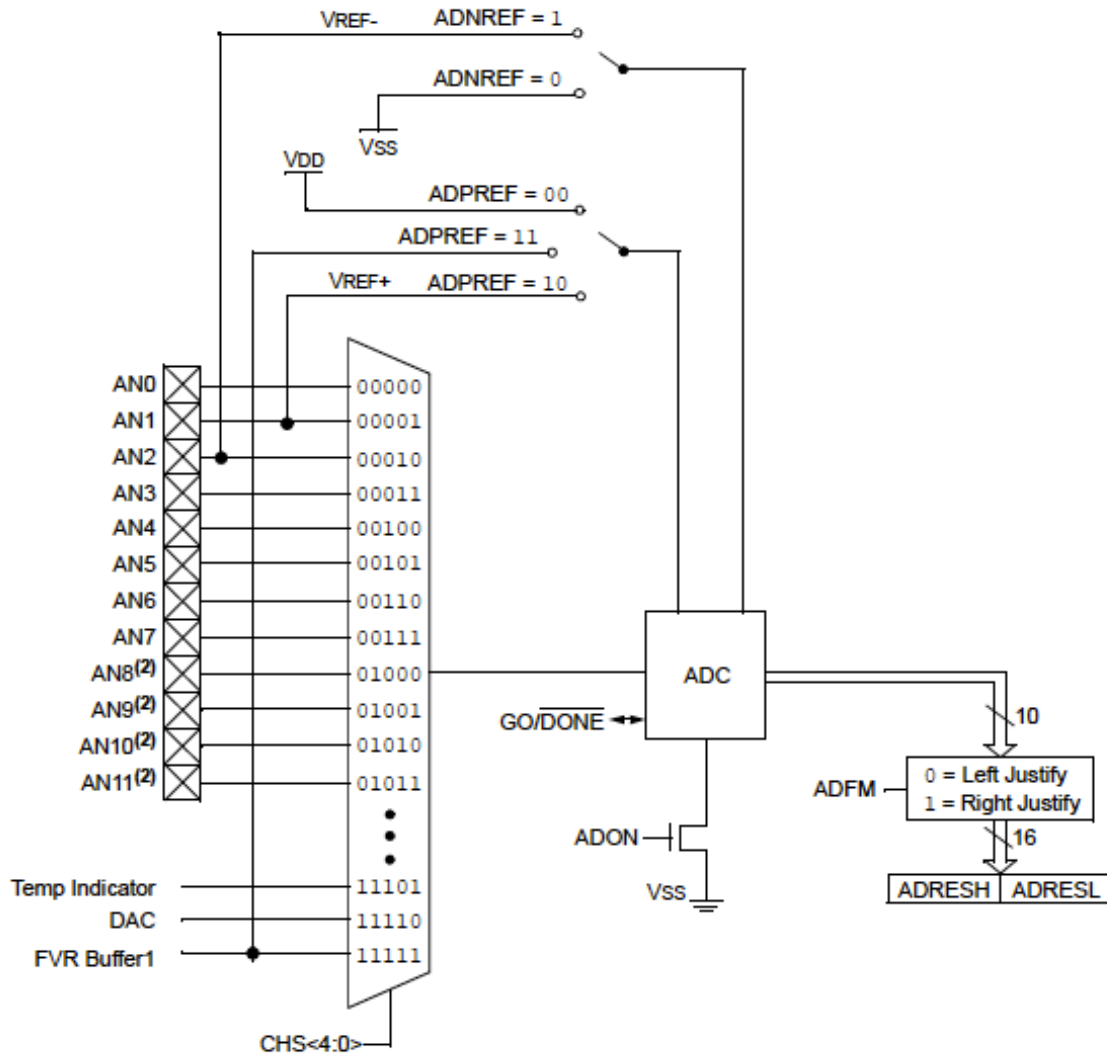


...Convertor analógico a digital

El convertidor de analógico a digital (ADC) puede convertir una señal de entrada analógica en una representación digital binaria de 10 bits de esa señal. Las entradas analógicas de los microcontroladores de Microchip, que se multiplexan en un solo circuito de muestra y retención. La salida de la muestra y retención está conectada a la entrada del ADC. El ADC genera el resultado binario de 10 bits a través de aproximaciones sucesivas y almacena el resultado de la conversión en los registros de resultados del ADC.



(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/adcblock.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

El ADC utiliza una referencia de voltaje que es seleccionable por software para generarse internamente o suministrarse externamente.

El ADC también puede generar una interrupción al finalizar una conversión. Esta interrupción se puede utilizar para despertar el dispositivo de SLEEP.

Configuración ADC

Cuando el ADC se configura por primera vez, debe tener varios ajustes de configuración habilitados. Éstos incluyen:

- Configuración del puerto ADC
- Selección de canal ADC
- Selección de referencia de voltaje ADC

- Fuente de reloj de conversión ADC
- control de interrupción ADC
- formato de resultado ADC

Veremos paso a paso cada uno de estos a continuación.

Configuración del puerto ADC

El primer ajuste de configuración es la configuración de pines de E/S. La mayoría de los pines de E/S del ADC se pueden usar como entrada analógica o entrada digital. Al convertir señales analógicas usando el ADC, el pin de E/S debe configurarse para entrada analógica configurando los bits asociados en el registro TRIS y el registro ANSEL.

El registro TRIS para el pin de E/S debe tener su bit asociado establecido en 1 para convertirlo en una entrada. Si el pin de E/S es parte del bloque PORTA, el registro TRISA contiene el bit.

REGISTER 6-4: TRISA: PORTA TRI-STATE REGISTER

R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1
TRISA7	TRISA6	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0
bit 7							bit 0

(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/trisa.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

El siguiente paso es establecer el bit en el registro ANSEL para el pin de E/S y establecer el bit en 1 para habilitar el ADC en ese pin. Si el pin de E/S es parte del bloque PORTA, el registro ANSELA contiene el bit.

REGISTER 6-5: ANSELA: PORTA ANALOG SELECT REGISTER

U-0	U-0	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1	R/W-1/1
—	—	ANSA5	ANSA4	ANSA3	ANSA2	ANSA1	ANSA0
bit 7							bit 0

(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/ansela.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

Selección de canal ADC

El multiplexor ADC debe conectarse al pin de E/S antes de iniciar el proceso de muestreo y retención. Esto se hace con un conjunto de bits en el registro ADCON0.

Antes de que se solicite una muestra de ADC, estos bits de selección de canal se configuran para conectarse al pin de E/S deseado. Solo se puede conectar un pin al ADC a la vez. Una vez que se completa el proceso, los bits de selección se pueden cambiar para conectarse al siguiente pin y el proceso ADC comienza de nuevo.

REGISTER 11-1: ADCON0: A/D CONTROL REGISTER 0

U-0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0
—	CHS4	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON
bit 7							bit 0

(https://microchipdeveloper-com.translate.google/local--files/8bit:adc/adcon0.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

bit 6-2

CHS<4:0>: Analog Channel Select bits

00000 = AN0

00001 = AN1

00010 = AN2

00011 = AN3

00100 = AN4

00101 = AN5

00110 = AN6

00111 = AN7

01000 = AN8⁽¹⁾

01001 = AN9⁽¹⁾

01010 = AN10⁽¹⁾

01011 = AN11⁽¹⁾

01100 = Reserved. No channel connected.

•

•

•

11100 = Reserved. No channel connected.

11101 = Temperature Indicator⁽⁴⁾

11110 = DAC output⁽²⁾

11111 = FVR (Fixed Voltage Reference) Buffer 1 Output⁽³⁾

(https://microchipdeveloper-com.translate.google/local--files/8bit:adc/adselect.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

Algunos dispositivos pueden tener menos canales

- Consulte la página "Módulo convertidor de digital a analógico (DAC) (MCU de 8 bits)" (https://microchipdeveloper-com.translate.google/8bit:dac?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc) para obtener más información.
- Consulte la página "Referencia de voltaje fijo (FVR)" (https://microchipdeveloper-com.translate.google/8bit:fvr?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc) para obtener más información.
- Consulte la página "Indicador de temperatura" (https://microchipdeveloper-com.translate.google/8bit:temp?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc) para obtener más información.

419&_x_tr_pto=sc) para obtener más información.

Selección de referencia de voltaje ADC

El ADC puede usar varias fuentes de referencia de voltaje como base para las mediciones de voltaje analógico.

$$\text{Valor digital} = [\text{Tensión analógica} / (V_{\text{REF}+} - V_{\text{REF}-})] * 1024$$

Los bits ADPREF del registro ADCON1 proporcionan control de la referencia de voltaje positivo. La referencia de tensión positiva puede ser:

- $V_{\text{REF}+}$
- V_{DD}
- Referencia de voltaje fijo (FVR)

Los bits ADNREF del registro ADCON1 proporcionan control de la referencia de voltaje negativo. La referencia de tensión negativa puede ser:

- $V_{\text{REF}-}$
- V_{SS}

V_{DD} y V_{SS} son las conexiones al bus de voltaje que alimenta el dispositivo.

$V_{\text{REF}+}$ y $V_{\text{REF}-}$ son pines de E/S específicos en el dispositivo. Una referencia de voltaje externo está conectada a estos pines.

FVR es una función en muchos dispositivos ^{PIC®}, aunque no en todos. Puede incluir un solo voltaje o, a veces, más de un nivel de voltaje está disponible.

Los bits de selección de referencia de voltaje están en el registro ADCON1 y las opciones de selección se muestran a continuación.

REGISTER 16-2: ADCON1: A/D CONTROL REGISTER 1

R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0	U-0	R/W-0/0	R/W-0/0	R/W-0/0
ADFM	ADCS<2:0>			—	ADNREF	ADPREF<1:0>	
bit 7				bit 0			

(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/adcon1.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

bit 2	ADNREF: A/D Negative Voltage Reference Configuration bit 0 = VREF- is connected to Vss 1 = VREF- is connected to external VREF- pin ⁽¹⁾
bit 1-0	ADPREF<1:0>: A/D Positive Voltage Reference Configuration bits 00 = VREF+ is connected to VDD 01 = Reserved 10 = VREF+ is connected to external VREF+ pin ⁽¹⁾ 11 = VREF+ is connected to internal Fixed Voltage Reference (FVR) module ⁽¹⁾

(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/vref.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

Fuente de reloj de conversión ADC

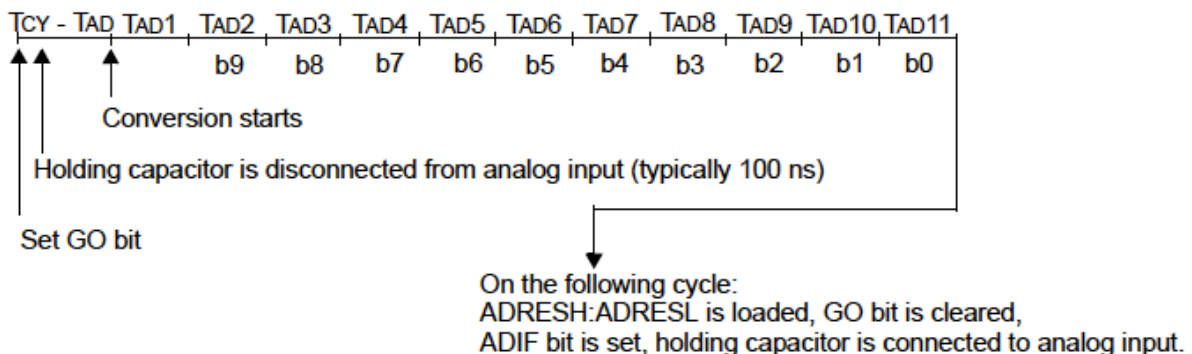
La fuente del reloj de conversión es seleccionable por software a través de los bits ADCS del registro ADCON1. Hay hasta siete opciones de reloj posibles según el dispositivo que se utilice:

- FOSC/2
- FOSC/4
- FOSC/8
- FOSC/16
- FOSC/32
- FOSC/64
- FRC (oscilador interno dedicado)

F_{OSC} es el oscilador del sistema que ejecuta el reloj de instrucciones del dispositivo.

El reloj es fundamental para producir la conversión analógica a digital más rápida pero también precisa.

El tiempo para completar la conversión de un bit se define como T_{AD} . Una conversión completa de 10 bits requiere períodos de $11,5 T_{AD}$, como se muestra aquí:



(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/tad.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

Para una conversión correcta, se debe cumplir con la especificación T_{AD} adecuada. Un reloj ADC se puede seleccionar fácilmente de la tabla a continuación. Aparece un gráfico similar en la hoja de datos del dispositivo. Los mejores valores se muestran en el medio del gráfico con un fondo blanco.

ADC Clock Period (T_{AD})		Device Frequency (F_{osc})					
ADC Clock Source	ADCS<2:0>	32 MHz	20 MHz	16 MHz	8 MHz	4 MHz	1 MHz
$F_{osc}/2$	000	62.5ns ⁽²⁾	100 ns ⁽²⁾	125 ns ⁽²⁾	250 ns ⁽²⁾	500 ns ⁽²⁾	2.0 μ s
$F_{osc}/4$	100	125 ns ⁽²⁾	200 ns ⁽²⁾	250 ns ⁽²⁾	500 ns ⁽²⁾	1.0 μ s	4.0 μ s
$F_{osc}/8$	001	0.5 μ s ⁽²⁾	400 ns ⁽²⁾	0.5 μ s ⁽²⁾	1.0 μ s	2.0 μ s	8.0 μ s ⁽³⁾
$F_{osc}/16$	101	800 ns	800 ns	1.0 μ s	2.0 μ s	4.0 μ s	16.0 μ s ⁽³⁾
$F_{osc}/32$	010	1.0 μ s	1.6 μ s	2.0 μ s	4.0 μ s	8.0 μ s ⁽³⁾	32.0 μ s ⁽³⁾
$F_{osc}/64$	110	2.0 μ s	3.2 μ s	4.0 μ s	8.0 μ s ⁽³⁾	16.0 μ s ⁽³⁾	64.0 μ s ⁽³⁾
Frc	x11	1.0-6.0 μ s ^(1,4)	1.0-6.0 μ s ^(1,4)	1.0-6.0 μ s ^(1,4)	1.0-6.0 μ s ^(1,4)	1.0-6.0 μ s ^(1,4)	1.0-6.0 μ s ^(1,4)

Legend: Shaded cells are outside of recommended range.

Note 1: The Frc source has a typical T_{AD} time of 1.6 μ s for V_{DD} .

2: These values violate the minimum required T_{AD} time.

3: For faster conversion times, the selection of another clock source is recommended.

4: The ADC clock period (T_{AD}) and total ADC conversion time can be minimized when the ADC clock is derived from the system clock F_{osc} . However, the Frc clock source must be used when conversions are to be performed with the device in Sleep mode.

(https://microchipdeveloper-com.translate.google/local--files/8bit:adc/tadchart.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

La selección de FRC del oscilador interno será una conversión más lenta pero garantizará que se cumplan los requisitos de T_{AD} . El FRC también se puede usar en modo de suspensión para ejecutar mediciones de ADC.

Control de interrupciones

El módulo ADC tiene la capacidad de generar una interrupción al finalizar una conversión de analógico a digital. Esta interrupción también se puede generar mientras el dispositivo está funcionando o mientras está en SUSPENSIÓN. Si el dispositivo está en SUSPENSIÓN, la interrupción activará el dispositivo y luego procesará la Rutina de servicio de interrupción (ISR) siempre que los bits de interrupción estén habilitados.

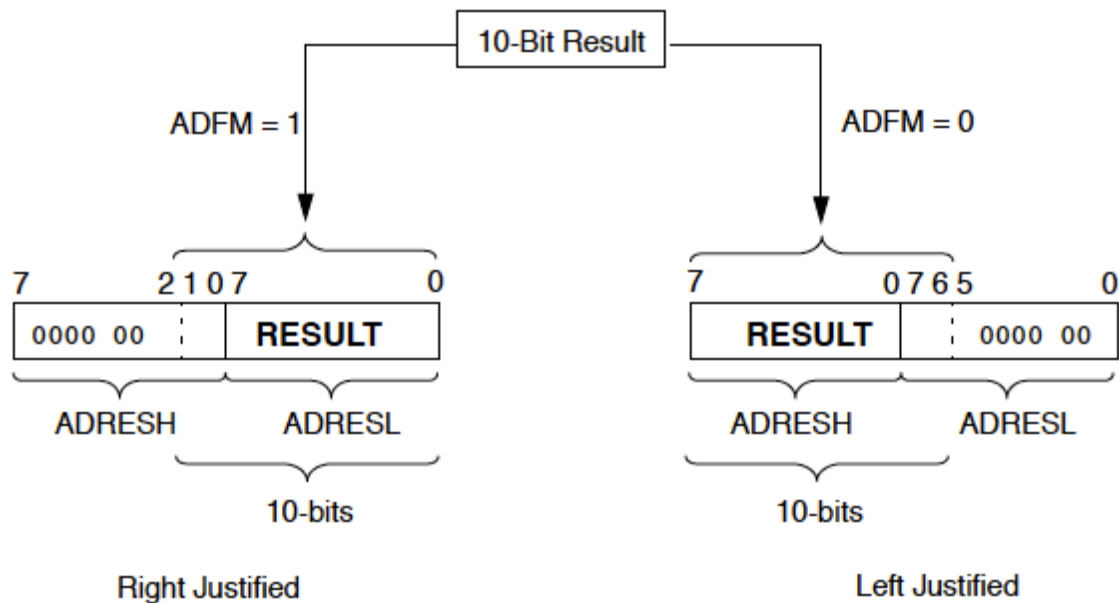
Esos bits de interrupción incluyen:

- El indicador de interrupción ADC es el bit ADIF en el registro 1 de interrupción periférica (PIR1).
- La habilitación de interrupción ADC es el bit ADIE en el registro de habilitación de interrupción periférica (PIE1).
- El bit de habilitación de interrupción global (GIE) y los bits de habilitación de interrupción periférica (PEIE) en el registro INTCON también deben estar habilitados.

Después de ejecutar una interrupción del modo SLEEP y completar ISR y ADC, el bit ADIF debe borrarse en el software.

Formato de resultado ADC

El resultado de la conversión ADC se almacena en dos registros de 8 bits de ancho; ADRESH y ADRESL. Este par de registros tiene 16 bits de ancho, por lo que el módulo ADC tiene la flexibilidad de justificar a la izquierda o a la derecha el resultado de 10 bits en el registro de resultados de 16 bits. El bit de selección de formato ADC (ADFM) en el registro ADCON1 controla esta justificación. Los bits adicionales en los registros ADRESH y ADRESL se cargan con '0'.



(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/justified.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

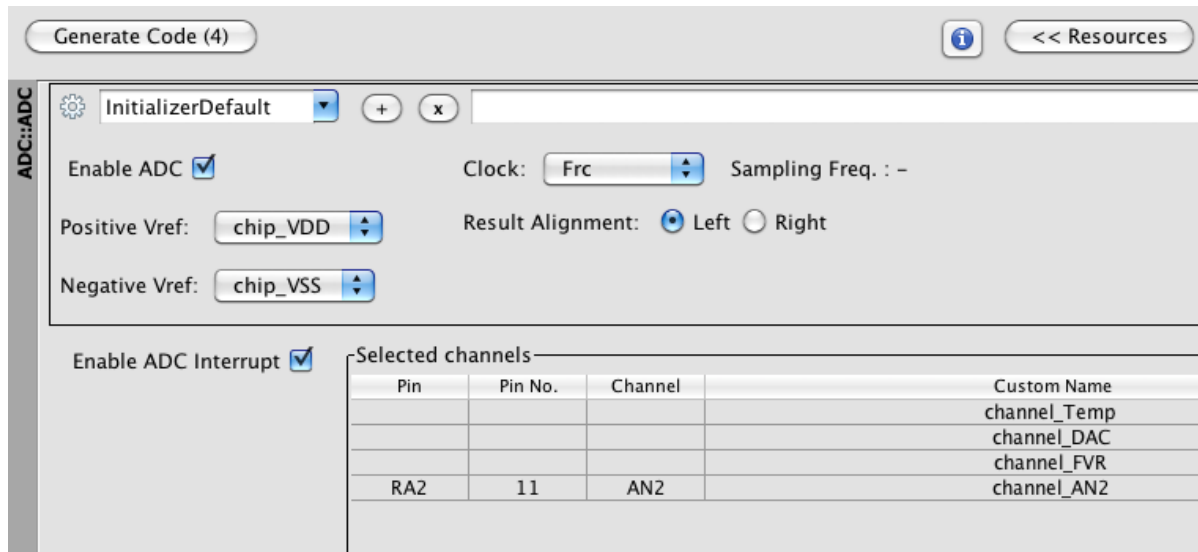
bit 7 **ADFM: A/D Result Format Select bit**
1 = Right justified. Six Most Significant bits of ADRESH are set to '0' when the conversion result is loaded.
0 = Left justified. Six Least Significant bits of ADRESL are set to '0' when the conversion result is loaded.

(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/adfmbit.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

Luego, el resultado puede copiarse en una variable o usarse en una ecuación para implementar una función basada en el resultado de ADC.

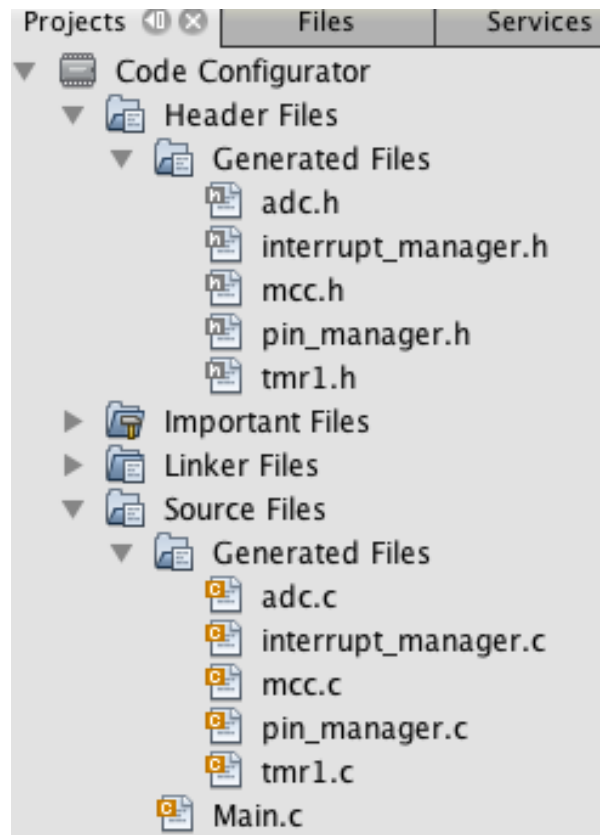
ADC

MPLAB® Code Configurator (MCC) (https://microchipdeveloper-com.translate.googleusercontent.com/mcc:overview?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc) facilita la configuración del código ADC. Todos los ajustes de configuración descritos anteriormente se pueden configurar en una pantalla GUI simple dentro de MPLAB X IDE. La pantalla ADC se muestra aquí:



(https://microchipdeveloper-com.translate.googleusercontent.com/local--files/8bit:adc/mc2.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

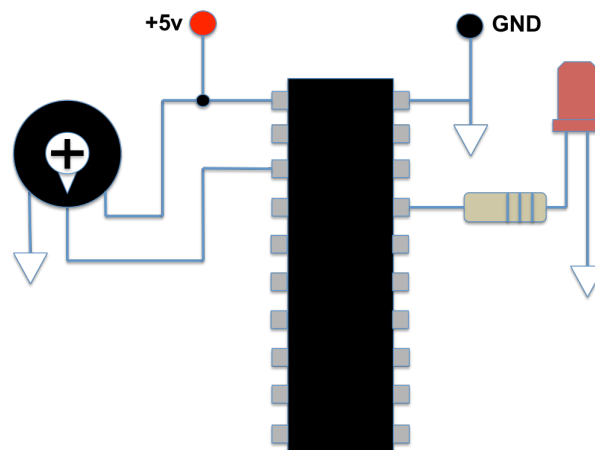
Cada opción de configuración se selecciona como una casilla de verificación o desde un menú desplegable. Una vez realizadas las selecciones, el código se genera y se coloca en el proyecto. Se crean dos archivos llamados `adc.h` y `adc.c`. Contienen código de configuración de ADC y también funciones personalizadas para usar el ADC dentro de los archivos de su proyecto principal.



(https://microchipdeveloper-com.translate.goog/local--files/8bit:adc/mc2code.png?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)

Ejemplo de proyecto ADC

Aquí hay un proyecto de ejemplo paso a paso para configurar el ADC usando MCC (https://microchipdeveloper-com.translate.goog/projects:mcu1101-project-3?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc) .



(<https://microchipdeveloper-com.translate.goog/projects:mcu1101->

project-3?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&
_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)