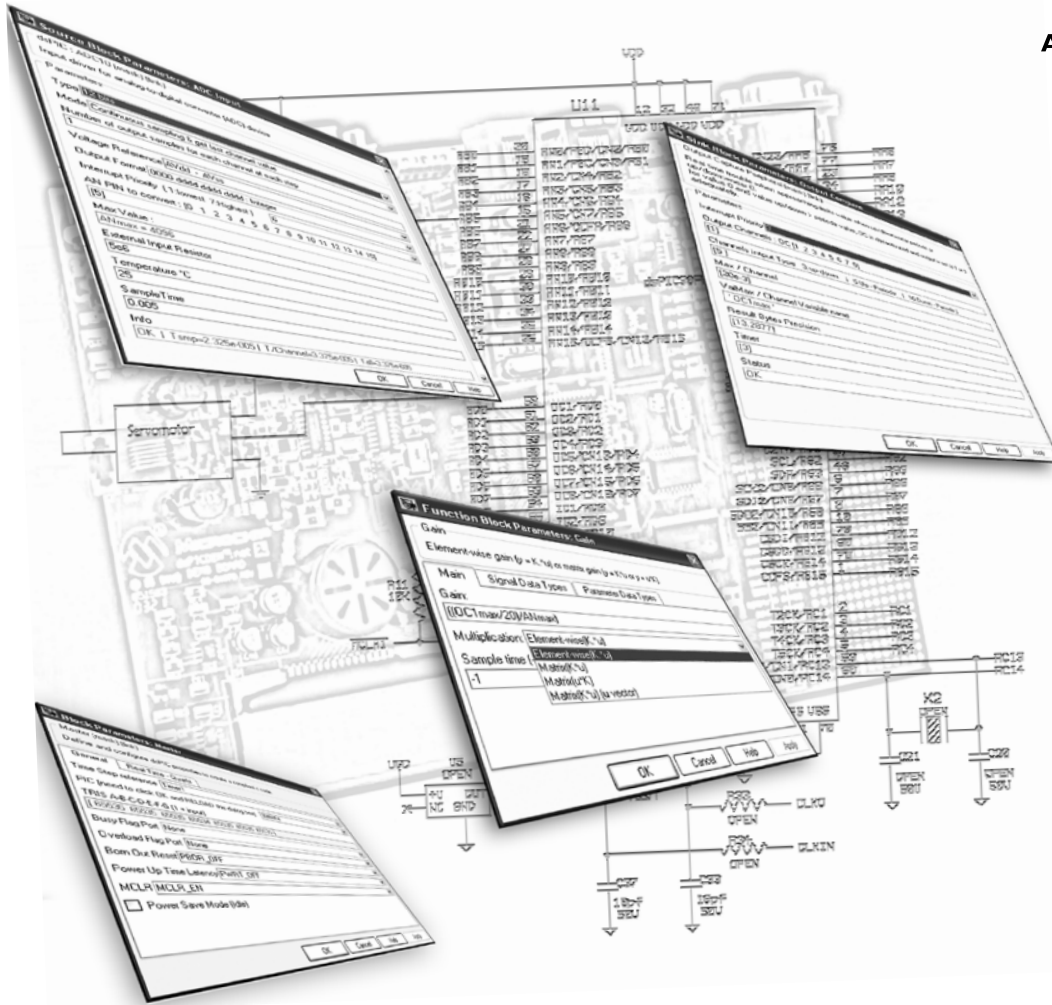


Diseño con dsPIC de la familia 30F para el control de un sistema mecatrónico usando Matlab-Simulink

Rogelio Francisco Antonio*
Jorge Cruz Mancilla*
Martín Salazar Pereyra
Alejandro Medina Santiago



Resumen

En este trabajo se diseña y simula un sistema de control que se implementa sobre un dsPIC de Microchip (dsPIC 30f6014a). Simulink compila el diseño creando un archivo en lenguaje ensamblador, que automáticamente lo integra y produce un archivo hexadecimal, el cual es grabado en el dsPIC a través del puerto ICSP.

Palabras clave: dsPIC, control, Simulink, PWM.

Introducción

En este artículo se presentan los logros alcanzados para el diseño y simulación de sistemas de control embebidos en el entorno de Simulink, así como su implantación sobre la arquitectura dsPIC de la familia 30f.

El conjunto básico de bloques de función de la biblioteca dsPIC permiten configurar el tipo de dsPIC, periféricos de entrada/salida, comunicación serial, entradas/salidas digitales, etc. La compilación y ensamblado de cada diseño la ejecuta el equipo MPLAB C30 y se graba en el archivo hexadecimal generado en la memoria de programa del dsPIC, mediante el programador PIC-PROG USB por el puerto ICSP.

Los objetivos son diseñar, simular e implementar sistemas de control desarrollados en Simulink y programados en la arquitectura dsPIC (dsPIC 30F6014A), que permitirá monitorear los datos en tiempo real de las variables de entrada al dsPIC por medio de su Interface gráfica con Matlab. Pasa ello se emplea un dsPIC 30F6014A que se encuentra en la tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.1. PLUS de Microchip.

La aplicación se lleva a cabo con la tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.1 PLUS. El modelo se crea en el entorno de Simulink, y aquí se lleva a cabo la

configuración de los parámetros de cada bloque, el dsPIC que se utiliza, así como la forma de visualizar los datos de entrada y salida con las interfaces que se tienen en las librerías hacia la PC.

El propósito es controlar la posición manual de un servomotor por medio de un potenciómetro conectado a una entrada del convertidor analógico.

I. Descripción del sistema

En el siguiente diagrama a bloques, se describe el sistema planteado en este trabajo:

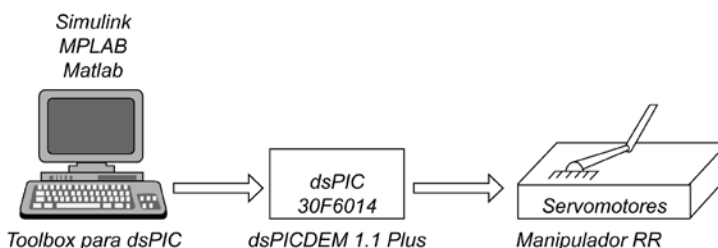


Figura I Descripción del sistema.

I.1 Compilador MPLAB C30

MPLAB C30 es un compilador optimizado que incluye extensiones del lenguaje para aplicaciones de control embebido para los dsPIC. Compila archivos C y produce archivos en lenguaje ensamblador, que al ser ensamblados producen el código hexadecimal, el cual es grabado en el dsPIC con el del programador PIC-PROG USB a través del puerto ICSP.

1.2 Controlador digital de señal dsPIC

Los dsPIC nacen después de que los DSP habían sido desarrollados durante años por otras empresas. En su creación participaron expertos y especialistas de diversas áreas, aprovechando la experiencia acumulada por otros fabricantes.

Microchip, fabricante de los dsPIC, los ha bautizado con el nombre de DSC (Digital Signal Controller), que puede ser traducido como controlador digital de señal.

Un dsPIC, es un potente microcontrolador de 16 bits al que se le han añadido las principales capacidades de los DSP. Es decir, los dsPIC poseen todos los recursos de los mejores microcontroladores embebidos de 16 bits, conjuntamente con las principales características de los DSP, permitiendo su aplicación en el extraordinario campo del procesamiento de las señales analógicas y digitalizadas.

El dsPIC30F ofrece todo lo que se espera de un DSP de su clase:

- Acumuladores de 40-bit duales.
- MAC 16 x16 de un solo ciclo.
- Registro de desplazamiento de 40-bit para el escalado.
- Bloques de registro de trabajo.
- Emulación en tiempo real.
- Optimizados para programación en lenguaje C.
- Perro guardián.

El dsPIC30F ejecuta la mayor parte de sus instrucciones en un solo ciclo (33ns a 30MIPS). Combinando este alto rendimiento con auténticas capacidades de DSP como *zero overhead looping* y la multiplicación de 16-bit en un único ciclo, se consigue tener el MCU de 16-bit más poderoso del momento.

1.3 Tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.1 PLUS

La placa dsPICDEM I.1 PLUS, proporciona un sistema de desarrollo de aplicaciones a bajo costo, mediante el cual es muy fácil familiarizarse con la arquitectura de 16 bits de los microcontroladores de señal dsPIC.

La Figura 2 muestra una fotografía de la misma, en donde aparecen números que indican dónde se encuentra situado cada dispositivo de entrada/salida.

El número 6 indica la base para colocar el dsPIC 30F6014 o 30F6014A. Ambos dsPIC son compatibles para esta tarjeta. La única diferencia es la velocidad de procesamiento y compatibilidad con los programadores actuales.

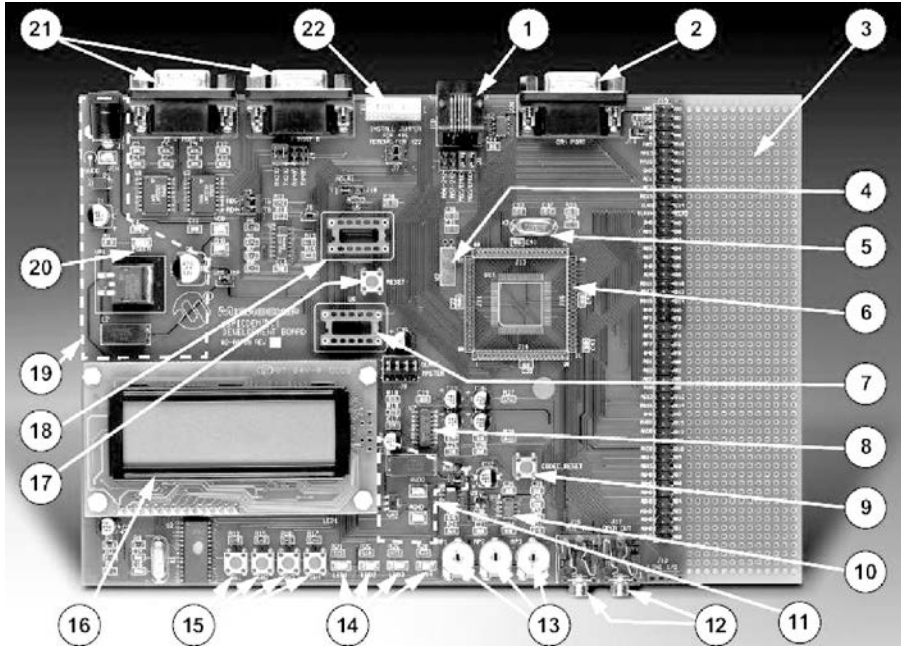


Figura 2. Tarjeta de desarrollo dsPICDEM I.I PLUS de Microchip.

La descripción de los números de la Figura 2, es la siguiente:

No	Descripción	No	Descripción
1	Conector ICD.	12	Entrada y salida de audio.
2	Puerto CAN.	13	Potenciómetros o resistencias variables analógicas.
3	Área para prototipos.	14	Diodos emisores de luz Leds.
4	Oscilador X1.	15	Interruptores de botón.
5	Oscilador X2.	16	Display grafico de 16 líneas.
6	Base para el dsPIC30f6014a.	17	Switch de reinicio.
7	Base para reloj externo para el SI3000.	18	Base para oscilador de cristal.
8	Códec SI3000.	19	Regulador de voltaje de la tarjeta.
9	Switch de reinicio de códec SI3000.	20	Indicador de luz de encendido
10	Sensor de temperatura.	21	Puerto serial RS-232
11	Regulador de voltaje AVDD.	22	Puerto RS-485/ RS-422

Una descripción mediante un diagrama a bloques de la tarjeta dsPICDEM I.1 PLUS, nos muestra cómo se comunican los diferentes dispositivos con el dsPIC 30F6014A instalado. En la Figura 3 se puede observar que se tienen dispositivos de entrada, como el controlador de audio Si3000 por el canal de comunicación DCI; además de contar con un canal para conversión de analógico a digital de 12 bits (ADC), en donde tres potenciómetros están conectados a las entradas AN4, AN5, AN6, sin olvidar que el sensor de temperatura está conectado a AN8. Los dispositivos de salida son los cuatro diodos emisores de luz (Leds), conectados al puerto de salida RD0 a RD3 y por último el canal SPI, conectado al controlador para el display gráfico.

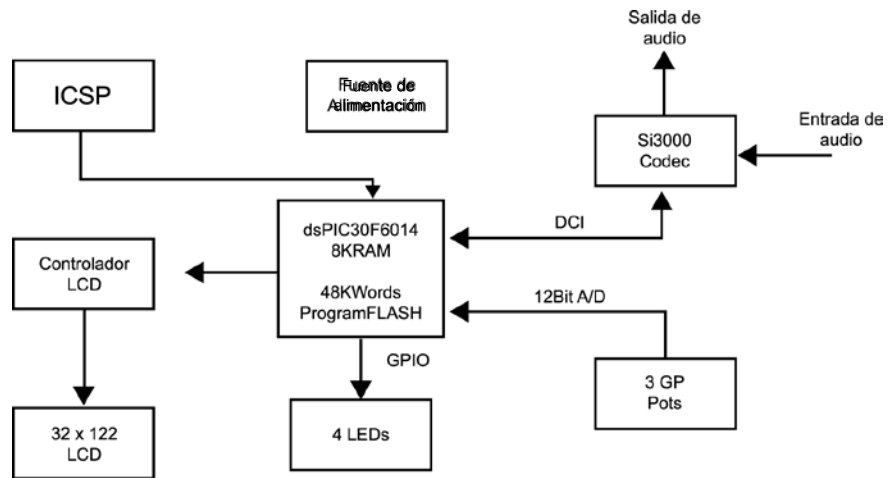


Figura 3. Diagrama a bloques interno de la tarjeta dsPICDEM I.1 de Microchip.

El elemento más importante de esta placa es el Codec Si3000, el cual permite la captura y digitalización de señales de voz de la entrada de micrófono y la conversión de señales digitales a analógicas para excitar unos altavoces. Todas las actividades planteadas para el estudio de la implementación de sistemas digitales se incluyen en el Codec, ya que este elemento es el que permite introducir una señal del exterior del sistema y generar una señal analógica como salida del sistema, siendo implementado el algoritmo de procesamiento de señal en el dsPIC, en el punto intermedio entre la entrada y la salida del Codec.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DEL PROTOTIPO

La figura muestra el esquema de control de velocidad de un motor de corriente continua utilizando un dsPIC. El dsPIC controla el convertidor (transistores de potencia) que alimenta al motor a través de una salida PWM. La señal de velocidad proporcionada por un dinamo taco métrico o por medio de un encoder acoplada al motor, es realimentada a través de un convertidor A/D al dsPIC.

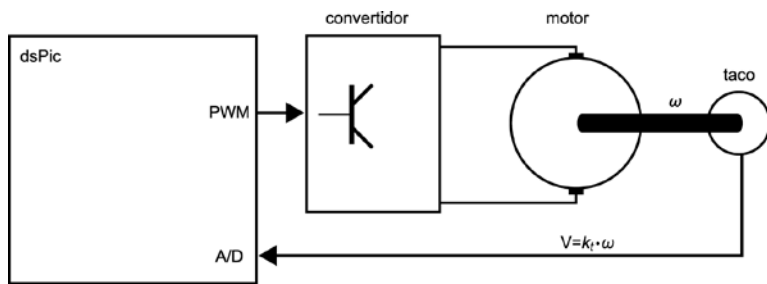


Figura 4. Sistema de control retroalimentado con dsPIC.

El diagrama a bloques del control está representado en la Figura 5.

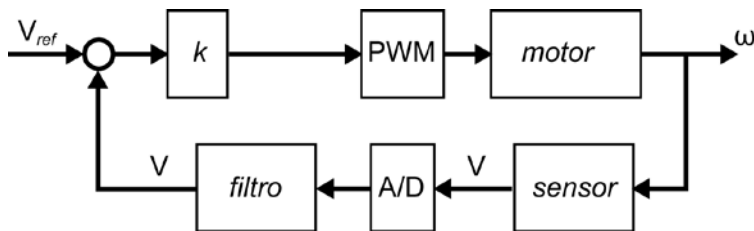


Figura 5. Diagrama a bloques del control de un sistema retroalimentado.

El sistema macatrónico que se va a implementar es un manipulador de dos grados de libertad con servomotores, para que trabajen en forma automática y se puedan manipular y monitorear desde Matlab y Simulink.

2. Descripción del desarrollo

El proceso inicia con Matlab-Simulink, donde se crea un nuevo modelo y ejecutando los siguientes pasos:

1. Abrir el conjunto básico de bloques de función de la biblioteca dsPIC.
2. Agregue el bloque MASTER al modelo.
3. En el menú del modelo que se está realizando, dé un clic en Simulation, y elija configuration Parameters.
4. Seleccione Real Time Workshop, y en el campo System target file busque el archivo dsPIC.tlc.
5. Configure el campo Make command: make_rtw y Template makefile: dsPIC_pic30_gcc.tmf.

Configure el tipo de dsPIC dando doble click en MASTER.

1. En la ventana General elegir el campo PIC y buscar el pic, en este caso es el 30F6014A.
2. En el campo MCLR: MCLR_EN
3. En la pestaña Real Time-Quart, asignamos al campo Number Instructions Per Second: 4000000, y al campo Oscillator mode: XT_PLL4.

Este es el paso más importante para la configuración correcta del modelo. Una vez terminado lo anterior, se desarrolla el diseño como cualquier otro, cuidando los formatos de datos de entrada y salida de cada bloque, ya que existen boolean, double, single, int8, uint8, int16, uint16, int32, uint32.

2.1 Diagrama a bloques en Simulink

A continuación se describe el diagrama a bloques realizado en Simulink.

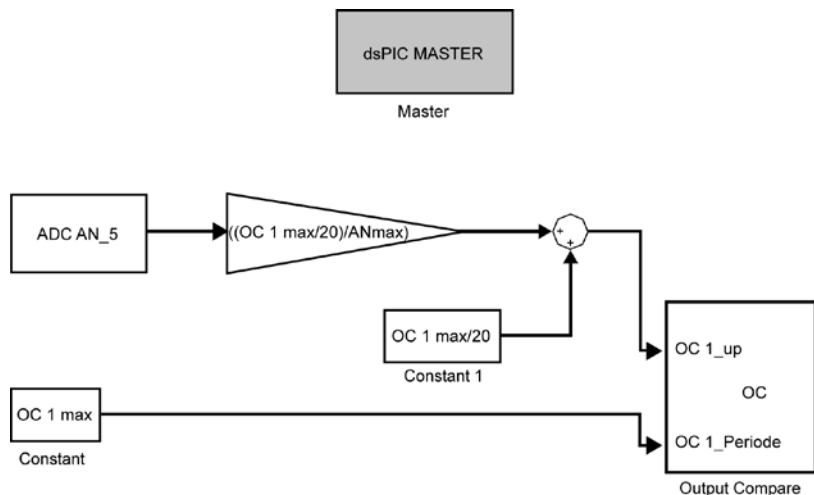


Figura 6. Diagrama a bloques en Simulink del sistema de posición manual.

La construcción del modelo se lleva a cabo con los siguientes datos:

1. ANmax= 0 a 4096, valores obtenidos con la resolución del convertidor analógico digital de 12 bits. Es decir $2^{12}=4096$.
2. OC1max interno en el dsPIC=10000.
3. Constant1 = $OC1max/20 = 500$.
4. Ganancia= $(OC1max/20)/ANmax = 500 / (0 \text{ a } 4096)$.
5. El valor de entrada para OC1_Up es desde 1000 y baja a 500.
6. El valor del periodo de entrada a OC1_Periode= 10000.
7. El bloque de comparación presenta dos estados:
 - Cero (0): cuando el valor Up/down supera el valor del periodo
 - Uno (1): cuando el valor Up/down es inferior al valor del periodo.

De esta forma, se genera la señal PWM, que es aplicada al control del servo motor. En el circuito eléctrico del sistema, el valor de entrada al convertidor digital analógico es por ADN_AN5, que es la entrada analógica número 5 del dsPIC 30F6014A (Pin número 15). La salida PWM es por el canal de comparación 1 del puerto RD0, pin número 58 del dsPIC 30F6014A.

2.2 Bloque dsPIC Master

La Figura 7 muestra la configuración más importante en la construcción de un modelo de un sistema de posición manual usando las librerías dsPIC.

En la pestaña general seleccione:

- El dsPIC que va a usar (en este caso el dsPIC 30F6014)
- El timer uno como base de tiempo en el modelo. Definido previamente en la configuración de Simulink como 5ms.
- Habilite MCRL=MCRL_ENABLE

En la pestaña Real time-Quartz seleccione:

- Indique el numero de instrucciones por segundo = 4000000 para el dsPIC 30F6014.
- El tipo de oscilador es XT_PLL4.
- La configuración de los timer es por default -1

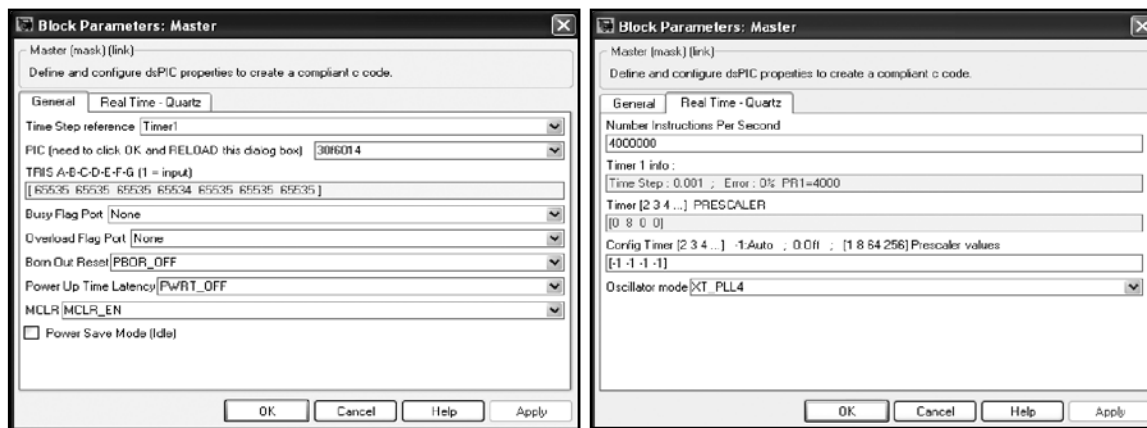


Figura 7. Configuración del bloque dsPIC MASTER para el dsPIC30F6014.

2.3 Bloque ADC_Input

El bloque ADC_Input lee una o más entradas seleccionadas. Para cada canal puedes leer una muestra (resultado escalar) o más muestras (resultado vectorial) en un solo escalón de tiempo. El resultado está en formato con signo o sin signo y además fraccionario o entero. El voltaje de referencia en el pin de entrada es configurable con 12 bits y esta depende del dsPIC que utilice. La Figura 8 muestra los parámetros del bloque ADC_Input.

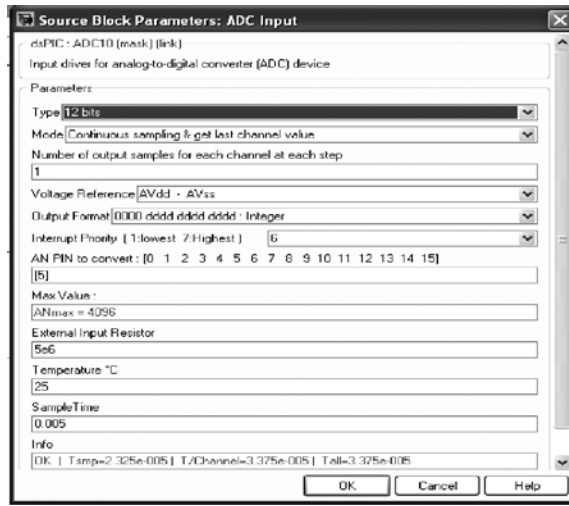


Figura 8. Configuración del bloque ADC_Input.

La configuración de este bloque permite introducir datos al dsPIC, por medio del convertidor analógico digital.

Type: muestra la resolución del ADC y que depende del dsPIC que se utilice. En nuestro trabajo se usa el dsPIC 30f6014a con 12 bits; con esto los valores de conversión van desde 0 hasta 4096 valores binarios diferentes.

Mode: seleccionamos *continuous sampling and get last channel value*, que significa muestras continuas y último valor del canal usado. Escogemos este método porque da el mínimo tiempo de retraso entre el fin de la conversión y los cálculos usando estos valores.

Voltage Reference: elegimos AVdd – AVss por las características de la tarjeta de desarrollo dsPICDEM1.1 Plus.

AN PIN to convert: terminal de entrada del convertidor analógico digital del dsPIC. En nuestro caso escogemos AN_5.Pin número 15 del dsPIC.

2.4 Bloque Output Compare

El bloque comparación de salida permite generar impulsos PWM. Para cada canal de captura se escoge un timer automáticamente y se coloca en la máxima resolución. La configuración del timer es puesta para generar la frecuencia con un máximo de pulso de duración que uno asigne. La Figura 9 muestra el bloque con los parámetros del bloque de comparación de salida.

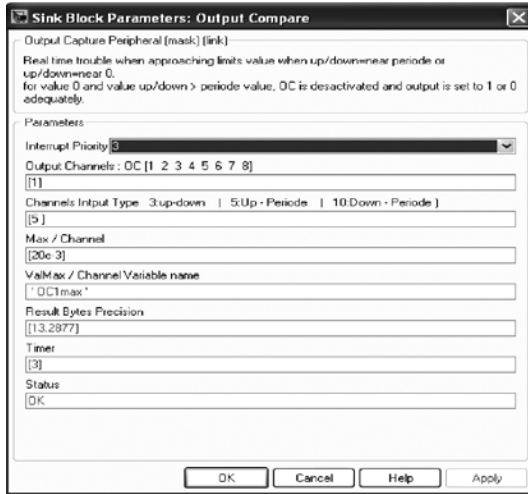


Figura 9. Bloque de parámetros del comparador de salida.

Los parámetros que se configuraron en este bloque son los siguientes:

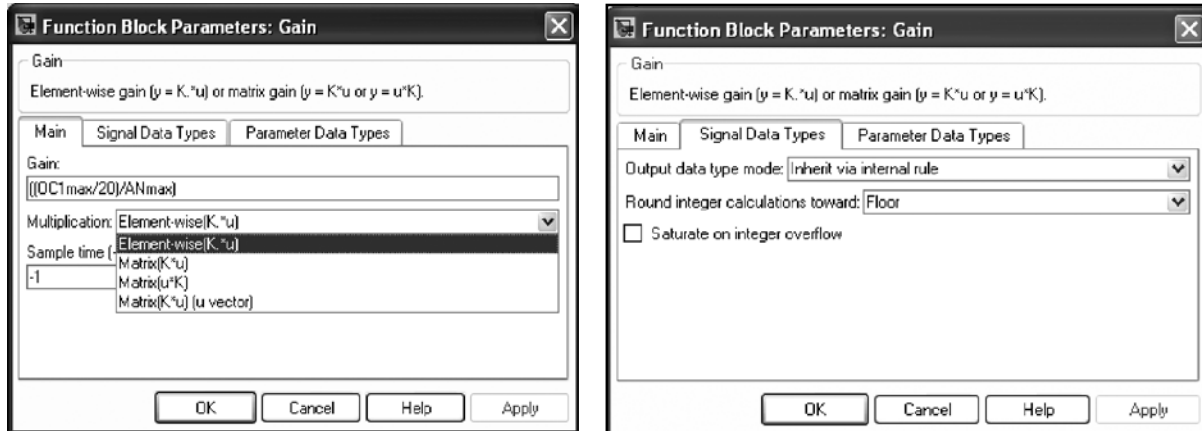
Interrupt Priority: 3, se selecciona este valor para interrumpir y capturar cada tres veces.

Output Channel= 1, canal de comparación de salida 1, del puerto RD0 pin 58 del dsPIC 30F6014A.

Channel Input type: 5, tipo de canal de entrada, para este caso es el tipo de datos que vamos a extraer: 5 significa pulso de duración y periodo.

2.5 Bloque de ganancia

Para este bloque, lo más importante es saber que el valor de entrada al convertidor analógico digital se multiplica por la ganancia y que ésta debe tener los campos configurados como se muestra en la Figura 10.



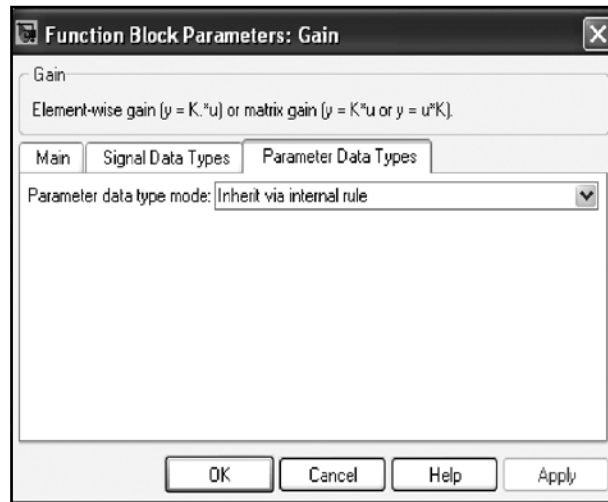


Figura 10. Configuración de los parámetros de gain.

3. Resultados

La compilación del proyecto Servo_ADCPRUEBA I, genera los siguientes archivos de la Figura 11.

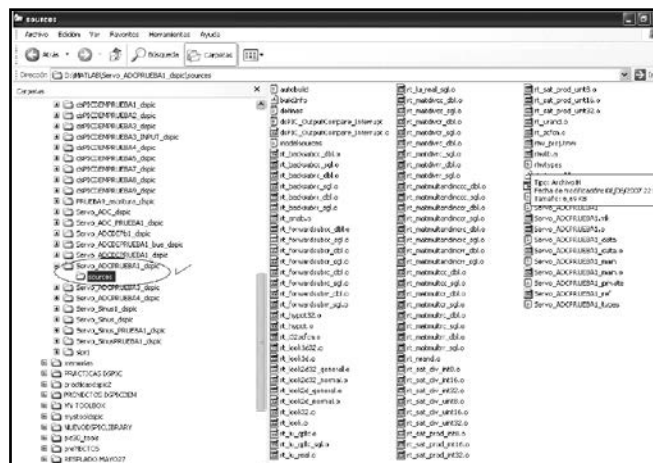


Figura 11. Archivos generados en la compilación del proyecto Servo_ADCPRUEBA I

PRUEBA I

Se genera a través del ensamblador que contiene MPLAB C30, el archivo hexadecimal (.hex) que se graba en el dsPIC 30f6014a, además del archivo .cof, estos archivos del proyecto Servo_ADCPRUEBA I los podemos ver en la Figura 12.

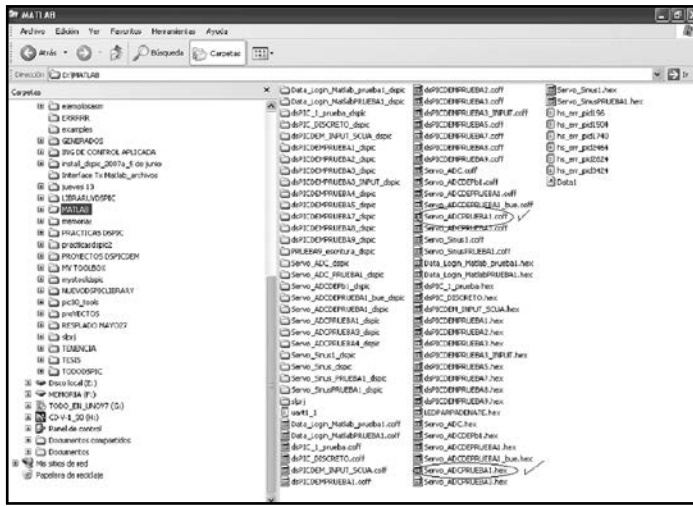


Figura 12. Archivos .hex y .cof generados después de la compilación.

La grabación del archivo hexadecimal como parte final del proyecto, es a través del programador PIC-PROG USB, mediante programación serial por medio del puerto ICSP del programador.

El programa para hacer la interface entre la PC y el programador, es llamado PIC-PROG USB EDUTRONICA REV 1.9. La Figura 13 muestra el tipo de dispositivo detectado por el programador.

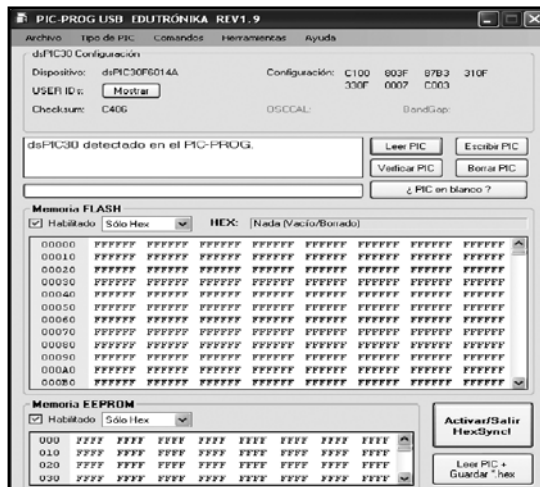
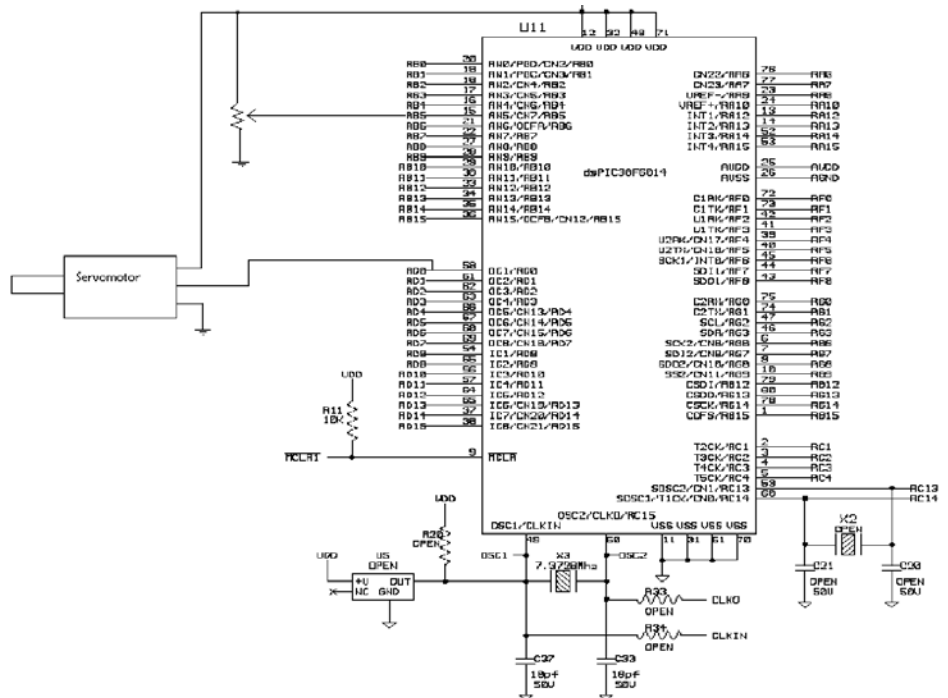


Figura 13. Vista general del programador PIC-PROG-USB.

Una vez que se llega a esta etapa de la programación, se busca el archivo hexadecimal generado en la etapa de compilación y ensamblado, se escribe en el dsPIC 30F6014A y listo, el controlador digital de señal opera de forma automática la aplicación que se le grabó en su memoria flash. Como último paso, se debe conectar el servomotor al dsPIC 30F6014A de la tarjeta de desarrollo dsPICDEMI. I Plus, como se observa en la Figura 14.



Referencias...

- Angulo Usategui, J. M. 2006. Microcontroladores avanzados dspic. Controladores digitales de señales. Arquitectura, programación y aplicaciones, Madrid:Thomson.
- Microcontroladores dsPIC, Diseño práctico de aplicaciones, Madrid: Mc Graw Hill.
- Ogata, K. 1998. Ingeniería de Control Moderno, 3a.ed. Madrid: Prentice-Hall,
- Chen, C.T. 1999. Linear System Theory and Design. 3a. ed. New York: Oxford University Press.
- Hocking, L.M. 1997. Optimal Control, An Introduction to the Theory with Applications, 2a. ed. Oxford: Clarenton Press.

Figura 14. Diagrama final del control de posición manual de un servomotor implementado en Matlab y Simulink.

Conclusiones

Los resultados obtenidos se pueden resumir en tres etapas: la primera es la instalación de la biblioteca dsPIC para sistemas embebidos en el Toolbox de Simulink; la segunda, es la configuración adecuada de los parámetros de la tarjeta de evaluación dsPICDEM I.1 PLUS que contiene al dsPIC30F6014A y la tercera, es la construcción, configuración y compilación adecuada de modelos desarrollados en Simulink con los bloques de función de la biblioteca dsPIC.

Por lo tanto, el trabajo realizado hasta ahora permite vislumbrar avances importantes en el diseño de sistemas embebidos con arquitectura dsPIC.