

## **Equipo didáctico de desarrollo para Procesamiento Digital de Señales utilizando DSPic**

Fabrizio Lumetto<sup>1</sup>, Valentín Lunati<sup>1</sup>, Agustín Núñez<sup>1</sup>, Ariel Podlubne<sup>1</sup> y Ezequiel Visuara<sup>1</sup>

Prof. Técnicas Digitales III: Ing. Juan Manuel Luzuriaga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica Nacional –  
Facultad Regional Córdoba, Argentina  
[agustin.vd@gmail.com](mailto:agustin.vd@gmail.com)

**Resumen.** Se diseñó y construyó una placa de desarrollo para la arquitectura DSPic de Microchip [1] destinada al procesamiento digital de señales analógicas de frecuencia menores a 300.000 ciclos por segundo. La misma se podrá emplear para adquisición de señales analógicas provenientes de sensores de magnitudes físicas y para el procesamiento de señales de audio, pudiéndose obtener una salida analógica como resultado, o la transmisión de la información a través de protocolos de comunicación de uso general en la industria (RS232, I2C, SPI RS485, USB). Con la placa se podrán experimentar distintas técnicas de filtrado de señales digitales estudiadas en la cátedra de Técnicas Digitales III [2] que hoy en día realiza estas prácticas por simulación. Además, permitirá aplicar técnicas de depuración de código en tiempo real del procesador mediante el uso de un programador para este tipo de tecnología denominado ICD2 [3]. La arquitectura elegida tiene como principales ventajas su disponibilidad, bajo costo, abundancia de bibliografía y soporte técnico, y herramientas de desarrollo gratuitas combinadas con una mediana capacidad de procesamiento.

### **1 Introducción**

El procesamiento digital de señales (PDS) es una de las tecnologías más poderosas que han contribuido enormemente al crecimiento de la Ciencia e Ingeniería del siglo XXI y que se vislumbra como un campo de aplicación con crecimientos insospechados para el resto del siglo. Cambios revolucionarios se están dando en un gran número de áreas: comunicaciones, procesamiento de imágenes médicas, radar y sonar, reproducción de música de alta fidelidad y búsqueda de petróleo, por nombrar algunas. Cada una de estas áreas ha adoptado la tecnología del PDS, desarrollando sus propios algoritmos, fundamentos matemáticos y técnicas especializadas que están en constante proceso de transformación.

En la universidad se estudian las bases matemáticas del análisis y procesamiento de señales, también los algoritmos y técnicas para su implementación en sistemas digitales sencillos. Por otro lado, en el mercado se encuentran muy pocos equipos con prestaciones didácticas, amigables y económicos que permitan un entrenamiento general y orientado al procesamiento digital de señales.

Esto limita el aprendizaje y desarrollo de nuevos conocimientos y, más aun, sus aplicaciones a la ciencia e industria, obligando al estudiante a investigar y desarrollar estos conocimientos autónomamente.

El objetivo principal de este desarrollo es poner al alcance de los estudiantes una herramienta sencilla y económica que sea capaz de obrar como elemento didáctico y a su vez propicio para la realización de proyectos relacionados a los PDS que los estudiantes decidan implementar.

Para ello se eligió microcontroladores con capacidad de procesamiento digital de señales de la empresa Microchip (DSC: Controladores Digitales de Señal), que combina los recursos de un microcontrolador con los de un DSP de gama media. De esta forma ocupan un nivel intermedio entre los microcontroladores y los DSP. En la actualidad, Microchip ofrece las familias de DSC DSPic30F [4] y DSPic33F [5].

## **2 Aplicaciones**

El equipo didáctico de desarrollo para Procesamiento Digital de Señales utilizando DSPic puede ser empleado en muchísimas aplicaciones que dependen especialmente de la capacidad e imaginación del usuario. Resulta especialmente útil en la cátedra de Técnicas Digitales III por las siguientes razones:

### **2.2 Aprendizaje:**

Es su misión fundamental. Que los alumnos que están aprendiendo puedan disponer de una plataforma sencilla, y fácil de usar. Se puede disponer de todos los esquemas eléctricos, los estudiantes pueden comprender los detalles y construirse sus propios “Kit de desarrollos” y realizar desde las pruebas más básicas, por ejemplo, juego de luces con cuatro LEDs que dispone la placa.

### **2.3 Comunicaciones:**

Por tratarse de un Microcontrolador de gama media que tiene incorporado varios módulos de comunicaciones (RS232, I<sup>2</sup>C, SPI) es muy útil para hacer interfaces, como por ejemplo entre un sensor y una PC.

#### **2.4 Investigación en el procesamiento de señales:**

Posibilidad de implementar distintos tipos de filtrado y análisis de señales analógicas utilizando los conversores analógico/digital que tiene incorporado el DSP utilizado.

#### **2.5 Manejo de hardware externo:**

Disponibilidad para uso del total de los pines del DSPIC, esto permite manejar dispositivos y periféricos externos a la placa de desarrollo, como por ejemplo: motores de corriente continua (uso del PWM), led's, pantallas gráficas, etc.

#### **2.6 Generación de señales:**

Mediante el uso del conversor digital-analógico es posible generar señales, para las aplicaciones en que sea necesario, por ejemplo: generación de señales previamente filtradas digitalmente en el DSPIC.

#### **2.5 Hardware Abierto:**

La posibilidad de que esta placa se convierta en un sistema de desarrollo libre empleado por desarrolladores de hardware libre, que diseñen periféricos para este "kit de desarrollo" con una licencia libre. Esto hará, como en el caso del software libre, que todos nos beneficiemos con las aplicaciones que otras personas hacen para la comunidad.

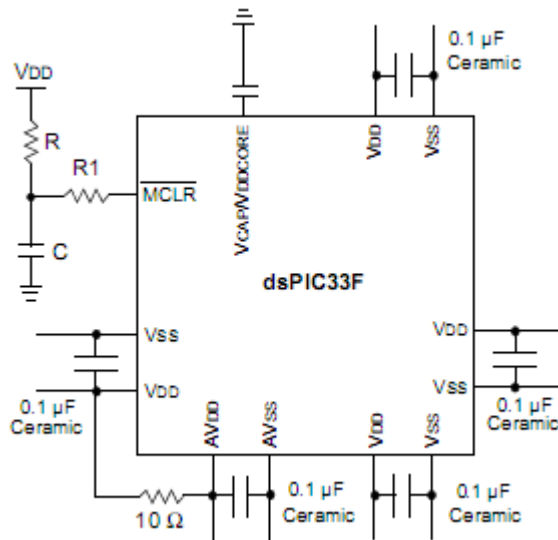
### 3 Descripción del “Kit De Desarrollo”

#### 3.1 Conexiones mínimas del DSPic

El diseño de las conexiones mínimas, se realizó basándonos en una sección de la hoja de datos del DSPic33FJ128GP804 [6], “Guía para iniciarse con los controladores digitales de señal de 16 bit” (GUIDELINES FOR GETTING STARTED WITH 16-BIT DIGITAL SIGNAL CONTROLLERS) [4]. En dicha sección se especifica el conjunto de conexiones y requerimientos mínimos necesarios que se deben agregar al DSPic antes de proceder con los desarrollos más básicos (Fig.1).

Lista de los pines que deberían estar siempre conectados:

- Todos los pines Vdd y Vss con capacitor de desacople entre ellos de 0.1 uF.
- Todos los pines AVdd y AVss Independientemente de si el módulo ADC no se utiliza.
- VCAP/VDDCORE capacitor de entre 4.7µF y 10 µF, 16V conectado en serie a masa.
- MCLR (Master Clear Reset) debe ser conectado con un circuito retardador o de inicio (ver figura).
- PGECx/PGEDx (pines usados para programación y depuración en el circuito) estos pines deberían dejarse libres, para futuras programaciones y depuraciones, y ser conectadas según el programador que se use.
- OSC1 y OSC2 pines que deben ser conectados cuando se utiliza un oscilador externo.
- VREF+/VREF- pines deben ser conectados cuando utilizamos una referencia externa para el modulo ADC. Los pines AVdd y AVss deben ser conectados independientemente de la tensión de referencia del ADC.



**Fig. 1:** Conexiones mínimas necesarias para el funcionamiento del DSPic.

**Nota:** Lo anterior es solo una pequeña reseña, para una mayor información consultar la hoja de datos del DSPic33FJ128GP804 en la sección antes mencionada.

### 3.2 Alimentación

Para mayor comodidad en el uso del “kit de desarrollo” se añadió un sistema de alimentación muy sencillo utilizando un regulador GJ1117A [7] que es capaz de entregar los 3.3V necesarios para alimentar el DSPic. El beneficio de este sistema de alimentación es que se puede alimentar la placa con niveles de tensión que van de 5V a 30V.

### 3.2 Osciladores:

Se incorpora en la placa del circuito oscilador un jumper que da a los alumnos la posibilidad de seleccionar un oscilador externo de 10Mhz utilizando los pines 31 y 32 del DSPic o en el caso de que se use el oscilador interno, liberar esos pines para usos de I/O. También se incorpora la posibilidad de seleccionar otro oscilador externo (utilizando jumpers) de baja frecuencia (32.768Khz para bajo consumo) que es utilizado para algunas tareas específicas (Ej.: el Watchdog Timer (WDT) , el Fail-Safe Clock Monitor (FSCM) y reloj y calendario en tiempo real(RTCC)).

### 3.3 Conexiones I/O:

Este conjunto de conexiones tiene la característica de usarse como multipropósito, ya que se dejan disponibles casi todos los pines para ser usados de la manera en que el usuario considere conveniente. Como el mismo no está pensado para un determinado objetivo, se debe tener en cuenta una amplia gama de aplicaciones posibles utilizando los recursos propios del DSPic. Se ha incorporado a la placa 4 LEDs para pruebas básicas, buffer de comunicación RS232 y pulsadores (Fig. 2-3).

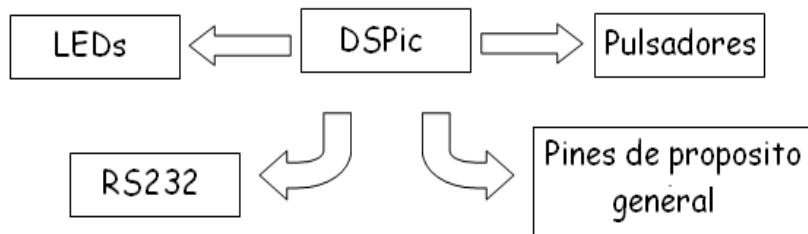


Fig. 2: Diagrama en bloque de los periféricos I/O que componen el “kit de desarrollo”.

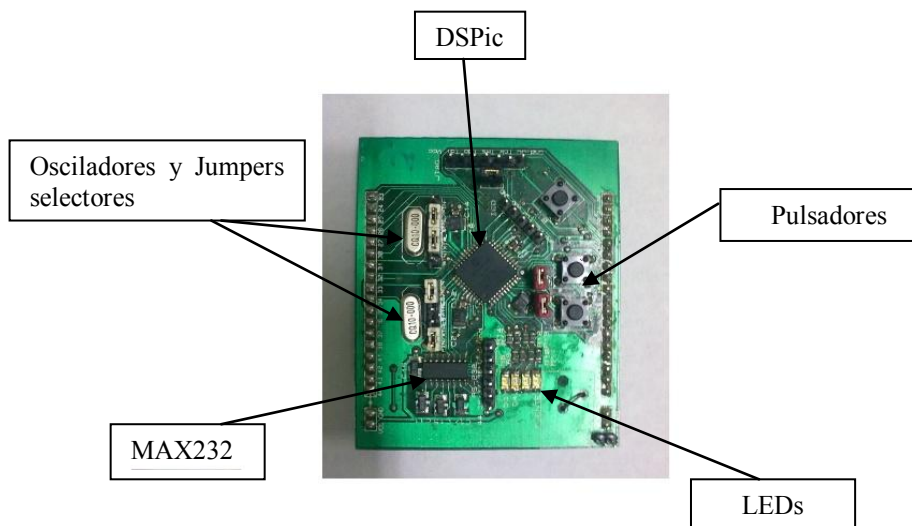


Fig. 3: Se puede observar kit de desarrollo con sus conexiones de entradas y salidas

#### 3.3.1 LEDs

Se trata de un arreglo de 4 LEDs que pueden ser utilizados para hacer prácticos básicos (Ej.: juego de luces) o como acuse de transferencia de datos a través de los pines donde están dispuestos dichos LEDs.

### 3.3.2 RS232

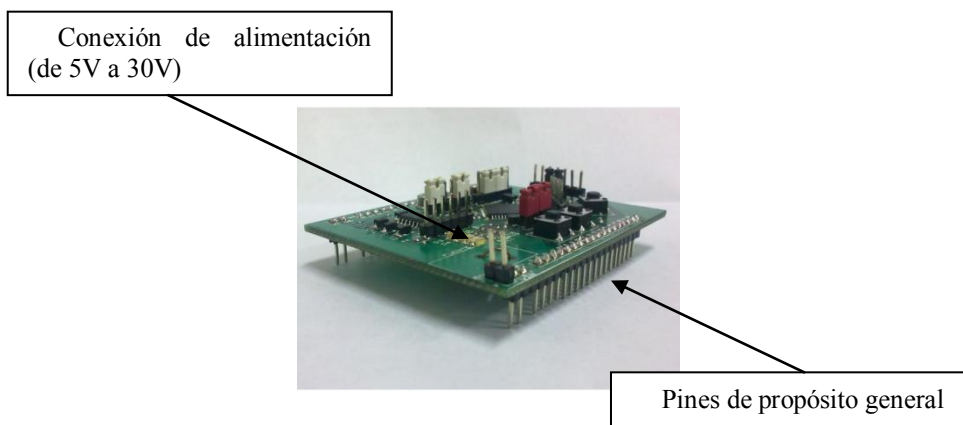
Se anexó a la placa un driver MAX232 [8] para poder realizar comunicaciones serie con la PC o con cualquier otro terminal que tenga este tipo de comunicación.

### 3.3.3 Pulsadores

Pulsadores: se incorpora al “kit de desarrollo” 2 pulsadores, normalmente abiertos, en los pines 8 y 9 para el uso que el usuario crea correspondiente (Ej.: interrupciones externas), dichos pulsadores pueden ser deshabilitados con jumpers y habilitar dichos pines para conexiones externas. También hay otro pulsador normalmente abierto, conectado con el circuito pertinente, en el pin 18 que me da la posibilidad de resetear el micro pulsando dicho pulsador.

### 3.3.4 Pines de propósito general:

La mayor parte de los pines quedan disponibles para conexión externa, Pudiendo utilizarse de la manera que el alumno lo demande. Es muy importante destacar que la placa puede montarse sobre protoboards para trabajar con mayor facilidad (Fig. 4).

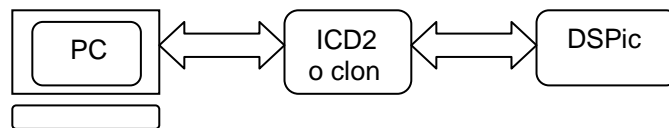


**Fig. 4:** Se puede observar la placa de perfil mostrando los pines de propósito general; estos pines encastran perfectamente en un protoboard. Esto da la posibilidad de trabajar sobre circuitos experimentales.

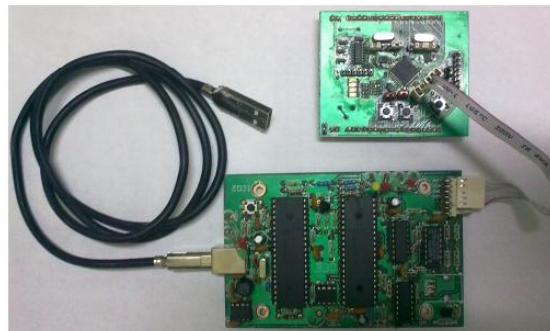
## 4 Circuito programador:

### 4.3 Conexión ICD2:

Se implementó en la placa una conexión destinada a la programación del microcontrolador mediante ICD2 (In Circuit Debugger 2) [3] o clon. Este permite la posibilidad de programación y depuración en la misma placa de desarrollo. Los esquemáticos de dicho clon de ICD2 para construirlos están disponibles en el Laboratorio de Técnicas Digitales e Informática de la UTN Facultad Regional Córdoba (Fig. 5-6).



**Fig. 5:** Diagrama en bloques de la conexión entre la PC y el con de ICD2 y el DSPic



**Fig. 6:** En esta imagen se muestra el programador ICD2 conectado al kit de desarrollo; también se puede ver el cable USB que es el que se conecta con la PC.



### 4.3 Conexión JTAG:

También se incorpora una salida para conexión JTAG. Si bien en la cátedra Técnicas Digitales III no se enseña la programación a través de este tipo de conexión, queda disponible para que el estudiante investigue su modo de uso.

**Nota:** es importante mencionar que el kit de desarrollo no dispone de hardware para adaptación de señales analógicas externas. Por lo tanto la adaptación de las mismas corre por cuenta del usuario.

## 5 Pruebas realizadas:

Para verificar que el diseño del “Kit de desarrollo” cumple con las especificaciones pretendidas, se realizaron pruebas que confirmaban la funcionalidad del mismo.

Las pruebas realizadas son:

- Utilización de los módulos ADC disponibles en el DSPic
- Utilización del módulo de Acceso de Memoria Directo (DMA)
- Utilización del módulo DAC

Las tres pruebas mencionadas anteriormente se realizaron simultáneamente. Para esto se programó el DSPic configurando las prestaciones del ADC, del DMA y del DAC. Este test consistía en ingresarle una señal analógica de audio por uno de los pines configurados como entrada, convertir esta señal analógica en una señal digital, mediante el ADC, para luego ser almacenada en un buffer de memoria de acceso directo (DMA). Una vez que se tenía la señal digital en memoria, se la reconvertía en una señal analógica utilizando el módulo DAC, y se la sacaba por un pin configurado como salida.

Las señales utilizadas fueron señales senoidales puras y señales de audio provenientes de un MP3 Player.

- Manejo del sistema flexible de clock
  - Externo, Cristal Resonador, Oscilador interno RC
  - PLL integrado
  - Temporizador/Estabilizador del oscilador en el arranque

El manejo del sistema flexible de clock es probado haciendo un programa que arranca con el oscilador interno RC y luego conmuta a las otras fuentes de clock, logrando así en conjunto con el PLL interno distintas frecuencias de operación.

- Uso de los pines como Entrada/Salida Digital

Esta prueba se realizó activando dispositivos de visualización (LEDs) en cada uno de los diferentes puertos del microcontrolador.

- Utilización de módulo de comunicación RS232

Se conectó el kit de desarrollo a través de los pines asignados para comunicación serie RS232 a una PC y se verificó el correcto funcionamiento del envío y recepción de datos.

Las pruebas mencionadas fueron realizadas con éxito. También es importante destacar que las pruebas sirven como ejemplos y están disponibles en el Laboratorio de Técnicas Digitales e Informática de la UTN-FRC para quien desee utilizar esta placa. Esto facilita a los estudiantes un primer contacto con este tipo de tecnologías.

## **6 Costos:**

Si bien no se realizó un estudio de mercado exhaustivo se averiguo que un kit de características similares al realizado en este proyecto tiene un costo de 150 dólares. La construcción del Equipo didáctico de desarrollo para Procesamiento Digital de Señales utilizando DSPic cuesta alrededor de 30 dólares. Hay buena disponibilidad, en el mercado local, de los componentes requeridos para la fabricación de este kit, lo que lo hace accesible para estudiantes que deseen fabricar su propio kit de desarrollo.

## **7 Dificultades:**

Las principales dificultades que afrontamos en la construcción de este diseño fueron:

La inexperiencia y falta de conocimiento en el ruteo y el soldado de componentes del tipo SMD (montaje superficial). Esta dificultad fue superada con el aporte y ayuda del personal Laboratorio Central de Electrónica de la UTN-FRC, quienes brindaron equipamiento y colaboraron con la capacitación, en esta área, a los integrantes de este proyecto.

Otra dificultad con la que nos topamos fue la falta de práctica en la programación del DSPic utilizando el compilador C30. Con la ayuda del docente a cargo de la cátedra Técnicas Digitales III se pudo llevar a cabo una programación exitosa.

## **8 Conclusiones:**

Se diseñó un equipo didáctico que permite consolidar los conocimientos adquiridos en las distintas asignaturas de la carrera referidos al acondicionamiento y procesamiento de señales y proveer a los estudiantes de una herramienta de trabajo con un cierto

nivel de complejidad y versatilidad para el desarrollo de prácticas más avanzadas de procesamiento de señales de baja frecuencia y audio. Sin embargo recién comienza a ser utilizado por alumnos y docentes, por lo cual pronto se empezará a divisar el verdadero potencial de este diseño, surgiendo aplicaciones, y sugerencias de posibles mejoras para incorporar a la presente versión del kit de desarrollo.

## Referencias

1. Microchip DSPic Family:  
[http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS\\_GET\\_PAGE&nodeId=75](http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=75)
2. Programa de Técnicas Digitales III de la UTN FRC:  
[http://www.institucional.frc.utn.edu.ar/electronica/pub/file/Programas/quinto/Tec\\_digitales3\\_Adec.pdf](http://www.institucional.frc.utn.edu.ar/electronica/pub/file/Programas/quinto/Tec_digitales3_Adec.pdf)
3. MPLAB ICD 2 In-Circuit Debugger/Programmer:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51264B.pdf>
4. Microchip DSPic30F Family Data Sheet:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70043F.pdf>
5. Microchip DSPic33F Family Data Sheet:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70155c.pdf>
6. Hoja de datos del dispositivo DSPic33FJ128GP804:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/70165a.pdf>
7. Hoja de datos de regulador de tensión GJ1117A.
8. Hoja de datos de MAX232.