

TÉCNICO en ELECTRÓNICA

CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y PRÁCTICA PROFESIONAL

Proyecto: analizador de espectro con PIC

- ▶ Analizador de espectro de audio
- ▶ Componentes electrónicos
- ▶ Armado del proyecto
- ▶ Prueba del analizador digital

www.reduserspremium.blogspot.com



USERS

TÉCNICO en ELECTRÓNICA

CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y PRÁCTICA PROFESIONAL

Coordinación editorial

Paula Budris

Asesor técnico

Federico Pacheco

Nuestros expertos

Diego Aranda

Esteban Aredez

Luis Ávila

Alejandro Fernández

Agustín Liébana

Lucas Lucyk

Luis Francisco Macías

Mauricio Mendoza

Norberto Morel

Juan Novo

David Pacheco

Federico Pacheco

Gerardo Pedraza

Mariano Rabioglio

Luciano Redolfi

Juan Ignacio Retta

Alfredo Rivamar



Técnico en electrónica es una publicación de Fox Andina en coedición con Dálaga S.A. Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, por ningún medio actual o futuro sin el permiso previo y por escrito de Fox Andina S.A. Distribuidores en Argentina: Capital: Vaccaro Sánchez y Cia. S.C., Moreno 794 piso 9 (1091), Ciudad de Buenos Aires, Tel. 5411-4342-4031/4032; Interior: Distribuidora Interplazas S.A. (DISA) Pte. Luis Sáenz Peña 1832 (C1135ABN), Buenos Aires, Tel. 5411-4305-0114. Bolivia: Agencia Moderna, General Acha E-0132, Casilla de correo 462, Cochabamba, Tel. 5914-422-1414. Chile: META S.A., Williams Rebolledo 1717 - Ñuñoa - Santiago, Tel. 562-620-1700. Colombia: Distribuidoras Unidas S.A., Carrera 71 Nro. 21 - 73, Bogotá D.C., Tel. 571-486-8000. Ecuador: Disandes (Distribuidora de los Andes) Calle 7° y Av. Agustín Freire, Guayaquil, Tel. 59342-271651. México: Distribuidora Intermex, S.A. de C.V., Lucio Blanco #435, Col. San Juan Tlihuaca, México D.F. (02400), Tel. 5255 52 30 95 43. Perú: Distribuidora Bolivariana S.A., Av. República de Panamá 3635 piso 2 San Isidro, Lima, Tel. 511 4412948 anexo 21. Uruguay: Espert S.R.L., Paraguay 1924, Montevideo, Tel. 5982-924-0766. Venezuela: Distribuidora Continental Bloque de Armas, Edificio Bloque de Armas Piso 9no., Av. San Martín, cruce con final Av. La Paz, Caracas, Tel. 58212-406-4250.

Impreso en Sevagraf S.A. Impreso en Argentina.

Copyright © Fox Andina S.A. VI, MMXIII.

Anónimo

Técnico en electrónica / Anónimo ; coordinado por Paula Budris. - 1a ed. - Buenos Aires : Fox Andina; Dalaga, 2013.

576 p. ; 27x19 cm. - (Users; 23)

ISBN 978-987-1949-14-4

1. Informática. I. Budris, Paula, coord. II. Título.

CDD 005.3

En esta clase veremos

UN PROYECTO DE UTILIDAD PARA EL ELECTRÓNICO TANTO EN TAREAS DE LABORATORIO COMO EN EL USO PRÁCTICO, COMO HERRAMIENTA DE MEDICIÓN: EL ANALIZADOR DE ESPECTROS.



En esta clase veremos la construcción de un circuito de gran utilidad para las tareas del técnico electrónico: el analizador de espectros (AE). Si bien existe una gran cantidad de diseños disponibles para construirlo, nos basaremos en uno realizado en base a la tecnología que vimos en la clase anterior, que es nada más y nada menos que la familia de microcontroladores PIC. Dicha tecnología nos permitirá flexibilizar ciertos parámetros del diseño, haciendo que sea más versátil y buscando una mayor simplificación en la selección y el uso de los componentes.

El analizador de espectros es un dispositivo de mediciones electrónicas que por medio de una pantalla nos permite realizar muestras visuales de los diferentes componentes de un determinado espectro de frecuencias de la señal que se inyecte en su entrada.

Este instrumento es utilizado en muchos casos para la medición del espectro de potencia eléctrica, aunque para algunos usos, poco a poco, está siendo reemplazado por un instrumento más sofisticado: el analizador vectorial de señales o VSA (*Vector Signal Analyzer*).

SUMARIO

2 PROYECTO: ANALIZADOR DE ESPECTRO DE AUDIO

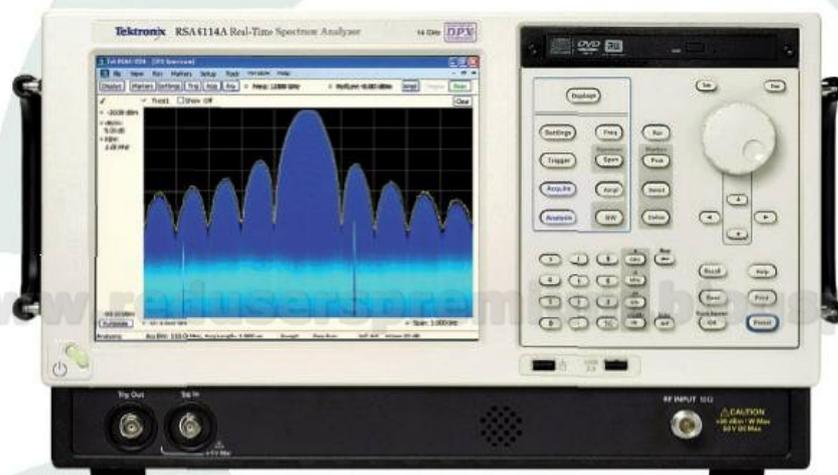
Conocimientos previos y presentación del proyecto.

8 COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Elementos que necesitaremos para trabajar.

20 PRUEBA DEL AE DIGITAL

Pruebas de funcionamiento sobre el proyecto completo.





ANALIZADOR DE ESPECTRO DE AUDIO

UN ANALIZADOR DE ESPECTRO DE AUDIO ES UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN ELECTRÓNICA QUE NOS PERMITE VISUALIZAR LOS COMPONENTES DE FRECUENCIA DE LAS SEÑALES PRESENTES EN LA ENTRADA.



R

Recordando los aportes de la **Teoría de Fourier**, una señal cualquiera está compuesta por una serie de señales senoidales de amplitud, frecuencia y fase determinada, que conocemos como **espectro de frecuencia**.

El analizador de espectro, a diferencia de un osciloscopio, es un instrumento de medición electrónica que nos muestra una señal en el dominio de la frecuencia en lugar del tiempo, por lo que recurrimos a él cuando necesitamos descomponer una señal en sus diferentes elementos de frecuencias para analizar el comportamiento de la amplitud con la frecuencia de cada componente de manera independiente.

Si consideramos un par de ejes coordenados XY, en el eje X (abscisas) representamos la frecuencia de la señal bajo análisis en una escala lineal; mientras que en el eje Y (ordenadas), el nivel de esa señal medido en dBm, en escala logarítmica. La frecuencia central del analizador de espectro concuerda con la frecuencia medida en el punto medio de la pantalla. El analizador de espectro es un instrumento de medición de banda estrecha; la sensibilidad y las frecuencias de trabajo son mucho mayores que en un osciloscopio: μV contra mV y decenas de GHz.

En cuanto a la utilidad de un analizador de espectro, permite conocer la energía de una señal en una frecuencia en particular e identificar sus componentes. Las aplicaciones se relacionan con la detección de transmisiones que se encuentren fuera del ancho de banda de trabajo y que puedan interferir con otros canales de comunicación; la medición de la intensidad de la **interferencia electromagnética (EMI)** que podamos generar y la verificación de si se encuentra dentro de los valores que establecen las regulaciones vigentes. Podemos medir la distorsión en una señal modulada o sin modular, visualizar los componentes de una señal y sus alteraciones (distorsión armónica, señales producto de la intermodulación, señales que nos interfieren y nivel de ruido), observar y medir señales moduladas y realizar mediciones de tipo general sobre señales de microondas.

Algunas mediciones requieren resguardar la información completa de señal, frecuencia y fase, este tipo de análisis se llama vectorial. Una versión avanzada de un analizador de espectro, el analizador vectorial, permite observar no solo la información de la amplitud sino también de la fase de cada componente. Por su diseño y funcionamiento, es adecuado para la medición de señales rápidas de banda ancha o espectro extendido.

LAS SEÑALES BAJO

ANÁLISIS PUEDEN SER DE TIPO ELÉCTRICO, ACÚSTICO U ÓPTICO. EN NUESTRO CASO, EN EL RANGO DE LAS FRECUENCIAS DE AUDIO.



3

// Clase 15



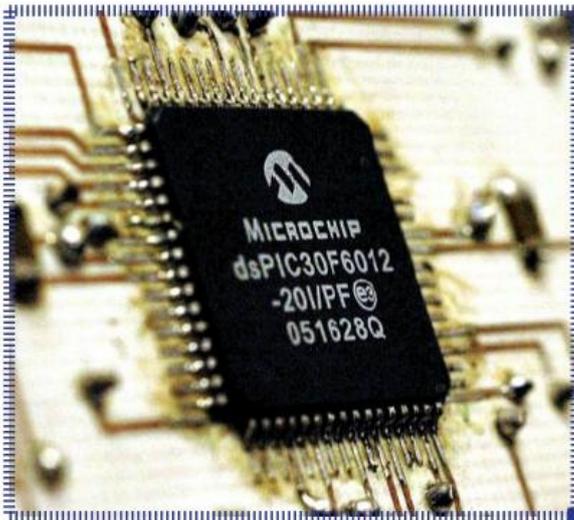
▲ **Valores adecuados de sensibilidad y margen dinámico facilitarán medir las señales de valores fuertes o débiles sin afectar la precisión.**

Introducción al proyecto

Desarrollaremos un proyecto para construir un **analizador de espectro digital** y observar la amplitud de cada uno de los componentes de la señal de audio medida.

Antes de construir nuestro analizador, necesitamos conocer sobre el procesamiento de señales y los procesadores de señal digitales (DSP), el convertor analógico-digital (DAC), los microcontroladores, los amplificadores operacionales (AO) ver Ser y los





Utilizaremos un dsPIC30F6012A de la familia dsPIC 30F de Microchip para analizar el espectro de la señal de audio que nos interesa.

LEDs. El componente principal de nuestro instrumento es un procesador digital de señal, integrado en un chip a un microcontrolador de modo de garantizar flexibilidad y potencia en el procesamiento de la señal y reducir el número y la complejidad de los componentes electrónicos utilizados.

Si bien la señal bajo análisis varía su amplitud en función del tiempo, la transformaremos en una señal equivalente en el dominio de la frecuencia. La principal ventaja es que implementaremos distintos tipos de análisis imposibles de ejecutar en una señal en el dominio del tiempo. Así, realizaremos la principal medición en una señal en el dominio de la frecuencia: la energía presente en cada una de las frecuencias de interés.

Por tratarse de un analizador de espectro digital, utilizamos el método de la Transformada inversa de Fourier para, luego de digitalizar la señal de audio (dominio del tiempo), usar un procesador de señal digital para implementar la FFT y observarla en un display, en nuestro caso, LED.

NUESTRO EQUIPO PROCESA EN TIEMPO REAL UNA SEÑAL DE AUDIO EN VEINTE BANDAS DE FRECUENCIA ESPECÍFICAS, QUE MUESTRA EN UN DISPLAY LED.



Consideraciones de diseño

El proyecto propone construir un instrumento para analizar el espectro de señales de audio en tiempo real y veinte bandas de frecuencia específicas para observarlo en una matriz de 20 por 20 LEDs.

Nuestro **analizador de espectro** consta de tres grandes bloques: bloque analógico, bloque DSP y bloque display; un esquema similar a la estructura de un analizador de espectro digital de tiempo real, o analizador de Fourier, donde, luego del filtro pasa bajos, la etapa DAC digitaliza la señal de entrada y el DSP ejecuta la Transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform* o FFT) convirtiendo una señal en el dominio del tiempo en una señal en el dominio de la frecuencia. Luego, observamos el resultado en un display LED, LCD o en el monitor de una PC.

En el instrumento, la señal de audio analógica ingresa al bloque analógico, donde un filtro pasa bajos –con frecuencia de corte igual a la frecuencia de Nyquist (dos veces la máxima frecuencia de la señal de audio)– elimina los componentes de frecuencia más alta (aliasing). Por esta razón, a este filtro pasa bajos lo conocemos como **filtro antialiasing** y si no utilizáramos la presencia de frecuencias de audio superiores a la frecuencia de Nyquist ocasionaría errores en el muestreo de la señal de audio y no recuperaríamos la señal de audio digital con fidelidad. El filtro pasa bajos realiza esta operación antes de la conversión analógico-digital en el DAC, en el dsPIC, dentro del bloque DSP.

El bloque DSP, construido alrededor de un dsPIC30F6012A de Microchip, es un chip especializado que contiene un microcontrolador de 16 bits, desarrolla una velocidad de CPU de 30 MPIS, dispone de 52 pines de I/O con una memoria RAM de tipo flash con 8192 bytes y 144 KB de memoria de programa. Es quien realiza la conversión A/D y el procesamiento de la señal digital.

Por último, el bloque display consta de una matriz de cuarenta barras con diez LEDs cada una y transistores bipolares excitadores, dado que la máxima corriente de salida del dsPIC no debe superar los 25 mA. Seleccionamos esta alternativa por el bajo costo y la disponibilidad de los LEDs, lo que contribuye a reducir los requisitos de hardware. Como el rango audible para un ser humano es de diez octavas y está comprendido entre 20 Hz y 20 kHz, para nuestro analizador vamos a definir veinte bandas de frecuencia y cada una de las frecuencias centrales.

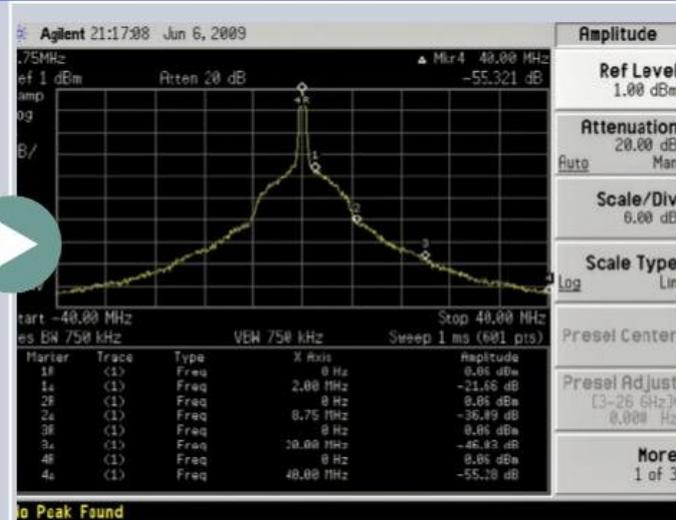
Podemos escribir el código del analizador en lenguaje C mediante MPLAB C30, y utilizar librerías existentes para las funciones que ejecutará el dsPIC.

Características

La señal de audio que ingresa al analizador de espectro es analógica (dominio del tiempo) y el tipo de señal necesaria para su procesamiento en el dsPIC es digital (dominio de la frecuencia), es decir que debemos realizar algún tipo de conversión en la señal analógica original. El circuito electrónico que convierte la señal analógica a digital es el conversor analógico-digital o DAC.

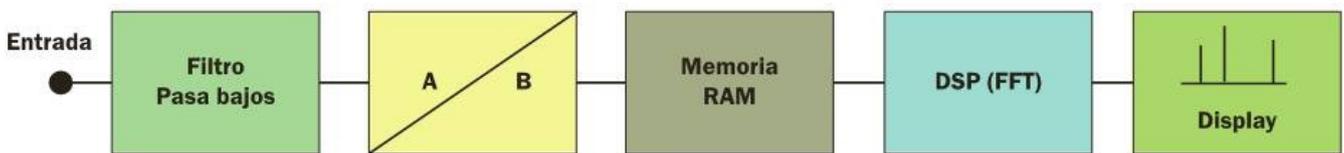
Realizamos el muestreo (*sampling*) de la **señal analógica tomando muestras** del valor de la amplitud a intervalos regulares de tiempo. La frecuencia de muestreo la conocemos como frecuencia o tasa de muestreo (kHz). En audio digital, a mayor frecuencia de muestreo, mayor cantidad de muestras y mayor calidad y fidelidad al convertir la señal digital en analógica y reproducirla en un sistema de sonido. La frecuencia de muestreo mínima requerida debe ser igual al doble de la máxima frecuencia de audio por digitalizar y se conoce como **Teorema de Nyquist**. En la cuantificación, asignamos a cada muestra de la señal

¿ANALÓGICO O DIGITAL?

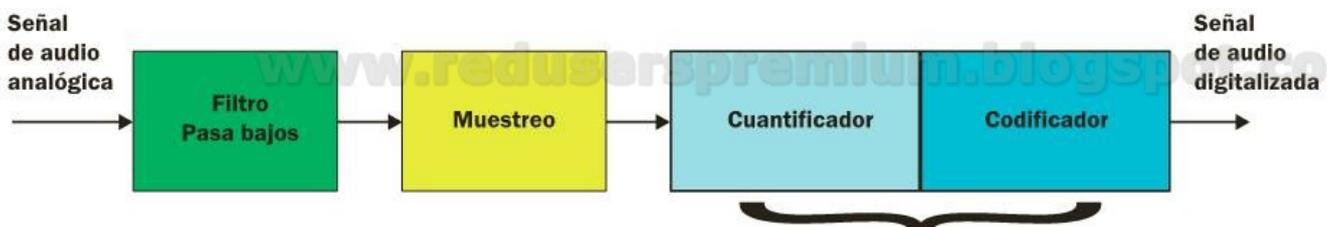


En el eje X tenemos la frecuencia de la señal y en el Y, su nivel en dBm, en escala logarítmica. La frecuencia central coincide con el punto medio de la pantalla.

Un analizador de espectro muestra los componentes de frecuencia de la señal analizada en el dominio de la frecuencia. El analizador de espectro analógico se vale de un filtro pasa banda de frecuencia variable, cuya frecuencia central se ajusta de manera automática dentro del rango del filtro; mientras que el analizador de espectro digital utiliza un proceso matemático, llamado Transformada inversa de Fourier, para transformar una señal en sus componentes espectrales



Un analizador de Fourier tiene menor sensibilidad, rango dinámico y rango de barrido que un analizador con filtros múltiples.



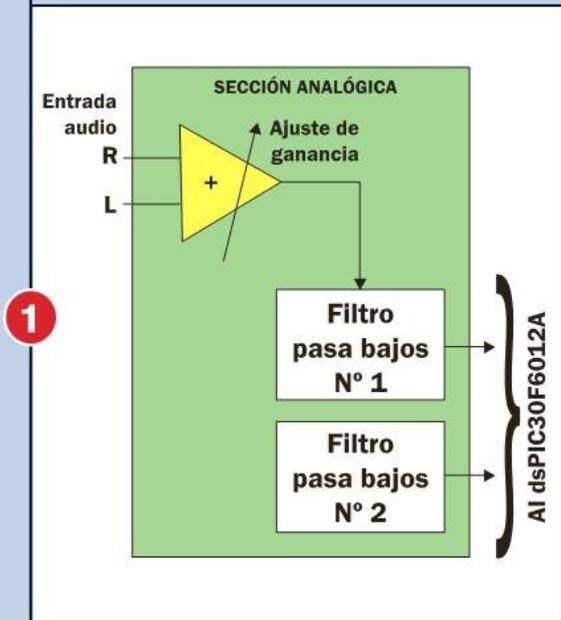
El DAC realiza tres procesos: muestreo y cuantificación de la señal de audio y codificación en código binario.



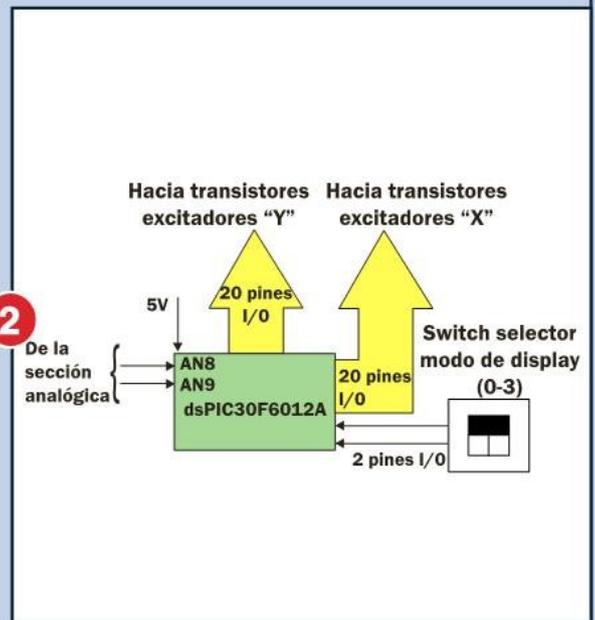
DIAGRAMA EN BLOQUES PASO A PASO

6

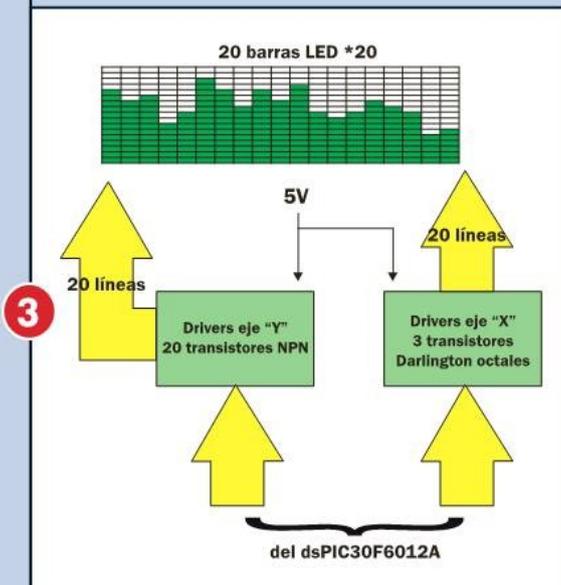
► Clase 15 //



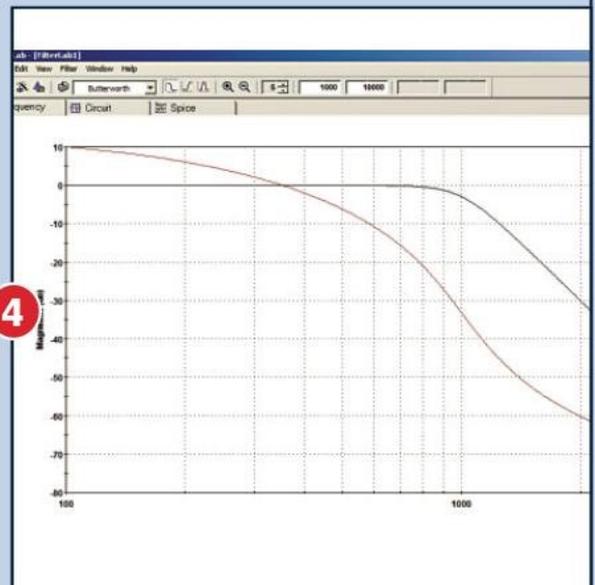
La sección analógica contiene cuatro amplificadores operacionales para dos filtros pasa bajos antialiasing y el control de ganancia de la etapa.



La etapa que procesa la señal digital la realizamos en base a un dsPIC30F6012A, con 54 pines de I/O, de la empresa Microchip.



Observamos el espectro de la señal de audio digitalizada por medio de una matriz de 40 LEDs excitados con veinte transistores NPN y tres chips Darlington.



Por último, podemos analizar el comportamiento del sistema al conectar cada una de las partes y obtener nuestro analizador de espectro digital.

DESARROLLAR CON DSPIC

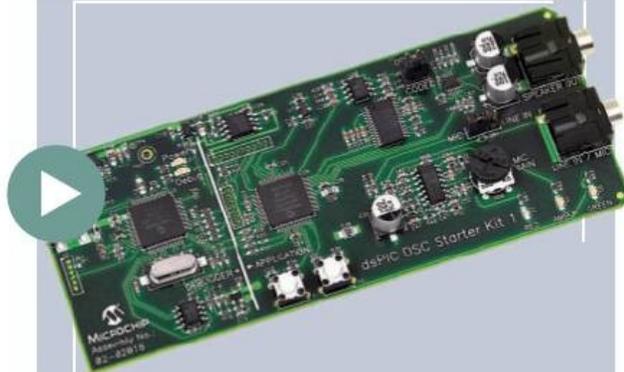
analógica el valor discreto más cercano a la amplitud de la señal original. Este proceso se conoce como cuantificación de las muestras.

Por último, en el proceso de codificación, cada valor numérico discreto producto de la cuantificación se convierte en un código numérico binario equivalente a los valores de las tensiones que conforman la señal analógica original. Así, obtenemos una señal de audio digital equivalente a la señal de audio analógica en la entrada. Realizar el diseño del analizador de espectro busca atender el efecto visual de una señal de audio analógica. En la construcción del instrumento de tres secciones, utilizaremos cuatro amplificadores operacionales MCP6022 para construir dos filtros pasa bajos antialiasing pertenecientes a la sección analógica; un procesador DSP de cincuenta y cuatro pines I/O de Microchip; el dsPIC30F6012A, que recurre a la Transformada de Fourier para convertir la señal de audio en el dominio del tiempo presente en la entrada en una señal digital en el dominio de la frecuencia y una matriz de LEDs para visualizar los resultados construida alrededor de cuarenta LEDs, excitados por transistores NPN del tipo BC337 en el eje Y (amplitud de la señal) y tres chips del tipo ULN 2803, que contienen ocho transistores Darlington cada uno en el eje X (frecuencias).

En particular, necesitamos filtros pasa bajos con una respuesta en frecuencia lo más aproximada a un filtro ideal por lo que recurrimos a un filtro pasa bajos de orden 5. Con FilterLab, el software de Microchip para filtros analógicos y digitales, diseñamos y simulamos su comportamiento.

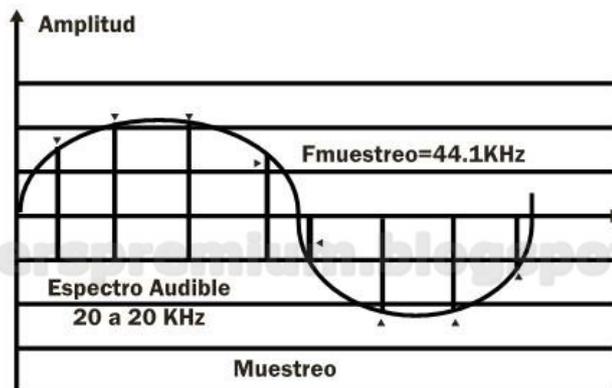
También, simulamos el comportamiento de la Transformada de Fourier mediante el software dsPICWORKS de Microchip. Descargamos ambas aplicaciones desde el sitio del fabricante: www.microchip.com. La programación del dsPIC30F6012A, la realizamos en lenguaje C mediante la herramienta gratuita MPLABC30, de modo de escribir, depurar y compilar el programa que controla el funcionamiento del analizador de espectro digital de audio.

Es importante mencionar que en el mismo sitio web disponemos de una gran cantidad de rutinas a partir de las librerías que han sido elaboradas para usar con los diferentes modelos de dsPIC. De esta manera, podemos reducir en forma considerable el tiempo destinado al desarrollo del software.



En el mercado encontramos herramientas para explorar y desarrollar aplicaciones basadas en dsPIC de Microchip, que simplifican el proceso y el tiempo de diseño.

Las herramientas de desarrollo disponibles nos ofrecen una suite muy completa, que incluye el hardware y el software para implementar aplicaciones basadas en dsPIC. Entre las facilidades más importantes, encontramos un programador/depurador integrado, alimentación mediante puerto USB, una máxima frecuencia de muestreo, un convertidor ADC y algunos sensores externos integrados para medir variables tales como la temperatura o un micrófono como transductor de audio.

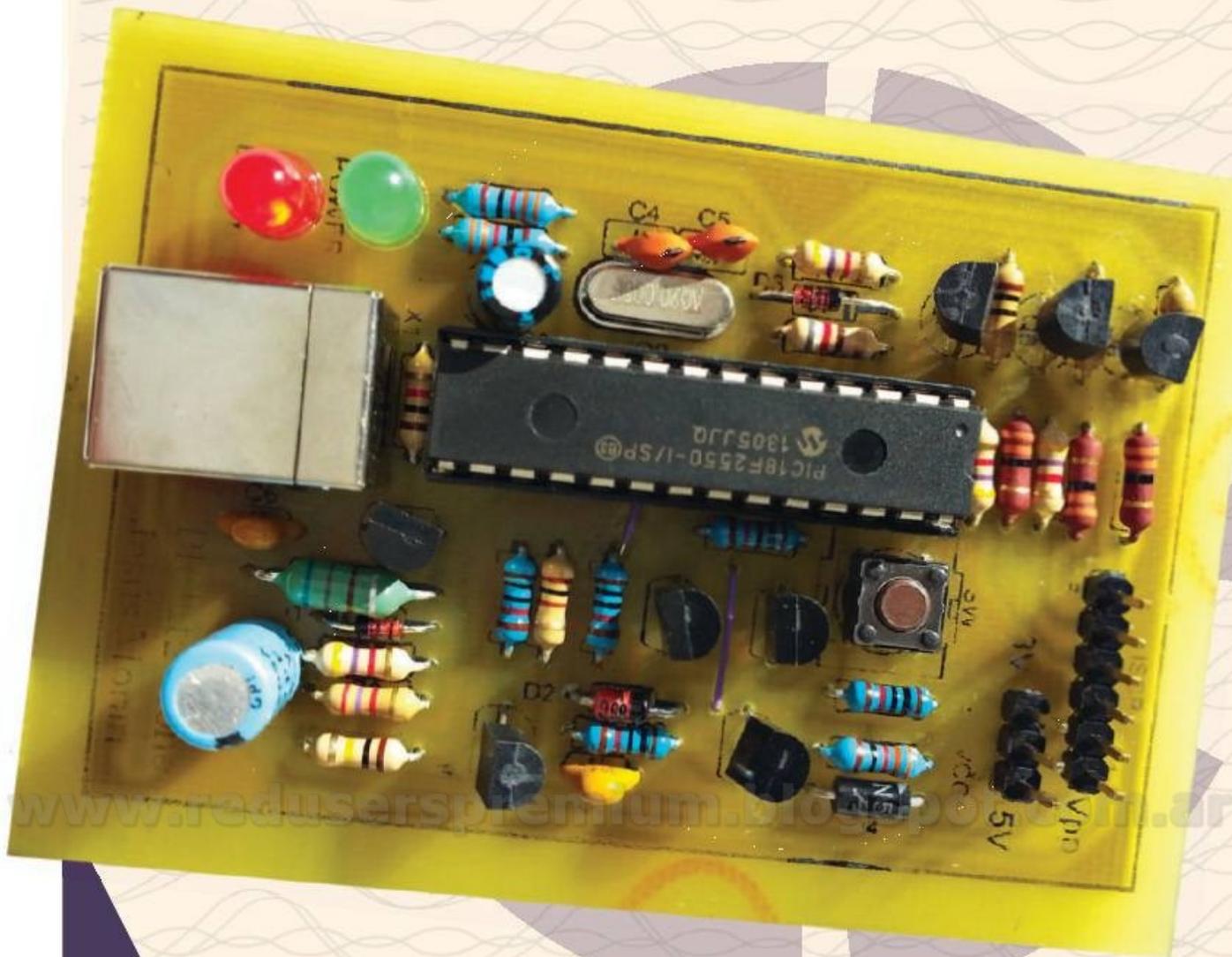


En un CD de audio tomamos 44100 m/s; en un DVD estándar, 48000 m/s y en un Blu-ray disc, 96000 m/s. A mayor m/s, mejor calidad.



COMPONENTES ELECTRÓNICOS

EN LAS SIGUIENTES PÁGINAS DESARROLLAREMOS LA PARTE CENTRAL DEL PROYECTO
Y VEREMOS CÓMO ARMAR UN ANALIZADOR DE ESPECTRO DIGITAL PARA SEÑALES
DE AUDIO BASÁNDONOS EN UN DSPIC30F6012A.





E

En el diagrama en bloques del analizador de espectro digital de audio tenemos el **bloque analógico** como primera etapa, que, de manera básica, consiste en un filtro pasa bajos antialiasing, es decir que solo deja pasar las frecuencias de audio por debajo de un cierto límite conocido como frecuencia de corte. La etapa de **filtrado analógico** es un bloque crítico dentro de nuestro analizador de espectro, ya que si no utilizamos un filtro analógico o lo diseñamos de forma incorrecta, las señales fuera de la mitad del ancho de banda del convertidor DAC se solapan con la señal original y una vez que se solapan las señales y se digitalizan es imposible diferenciar entre el ruido, las señales dentro de la banda del filtro y las señales fuera de él.

Podemos construir un filtro de acuerdo con dos tecnologías: pasiva o activa. En un filtro pasivo solo tenemos resistencias, condensadores e inductancias, todos componentes pasivos; mientras que en un filtro activo tenemos, además, a los amplificadores operacionales (AO), como componentes activos. La desventaja de un filtro pasivo es que la corriente que absorbe el componente siguiente puede modificar la respuesta en frecuencia del filtro, inconveniente que no presenta un filtro activo. Un filtro pasivo funciona bien en frecuencias mayores a unos 300 kHz, donde utilizamos inductancias que no son tan voluminosas, pesadas ni costosas; mientras que a frecuencias menores preferimos filtros activos, que no recurren a inductancias y diseñamos alrededor de AO y redes RC. La **atenuación** (dB) depende de los valores de resistencia R y la capacidad C, utilizados al configurar el filtro.

Un **amplificador operacional** es un amplificador DC de alta ganancia, del orden de 100000 veces o más, en un circuito integrado que consta de dos entradas, (+) o No Inversora y (-) o Inversora, y una salida que depende de la forma en que conectamos estas entradas. En nuestro analizador de espectro digital de audio construimos la primera etapa, o bloque analógico, por medio de amplificadores operacionales de ocho pines Microchip MCP6022.

Respecto del **filtro activo**, tenemos distintas configuraciones para construirlo; entre ellas, el **filtro de Butterworth**, uno de los filtros electrónicos más básicos diseñado para producir la respuesta más plana que sea posible hasta la frecuencia de corte. En otras palabras, la salida se mantiene constante casi hasta la frecuencia de corte, luego disminuye a razón de $20 * n$ [dB por década] (o aproximadamente $6 * n$ [dB por octava]), donde n es el número de polos del filtro.

FILTERLAB SE CARACTERIZA POR LA SENCILLEZ PARA OBTENER LA RESPUESTA EN FRECUENCIA, EL DIAGRAMA Y LA SIMULACIÓN SPICE DEL CIRCUITO. 



FilterLab 2.0 de Microchip es una herramienta innovadora que simplifica el diseño de filtros activos pasa banda antialiasing con AO.



Desde el punto de vista de la respuesta en frecuencia, un filtro posee tres regiones o bandas: la banda de paso, formada por el rango de frecuencias que pasan por el filtro sin ser atenuadas; la banda de rechazo, integrada por el rango de frecuencias rechazadas, y una región entre ambas, llamada banda de transición. Desde un punto de vista práctico, un polo se refiere a la proporción en que varía la atenuación en la región de transición a causa de cada red RC empleada para determinar la respuesta de frecuencia del filtro.

En nuestro analizador utilizamos un filtro de orden 5 y obtenemos una atenuación de 100 dB por década o unos 30 dB por octava. Una década es el intervalo de frecuencias entre un determinado valor de frecuencia y diez veces este, mientras que una octava es el intervalo de frecuencias entre una frecuencia y el doble de dicho valor.

Filtros activos con Microchip FilterLab

Los parámetros a los que tenemos que recurrir para diseñar filtros antialiasing adecuados son tres. En primer lugar, la frecuencia de corte del filtro debería ser al menos de 1 kHz, la relación SNR ideal es -74 dB y, por último, solo tendríamos que filtrar la señal analógica sin invertirla ni incorporar ganancia alguna.

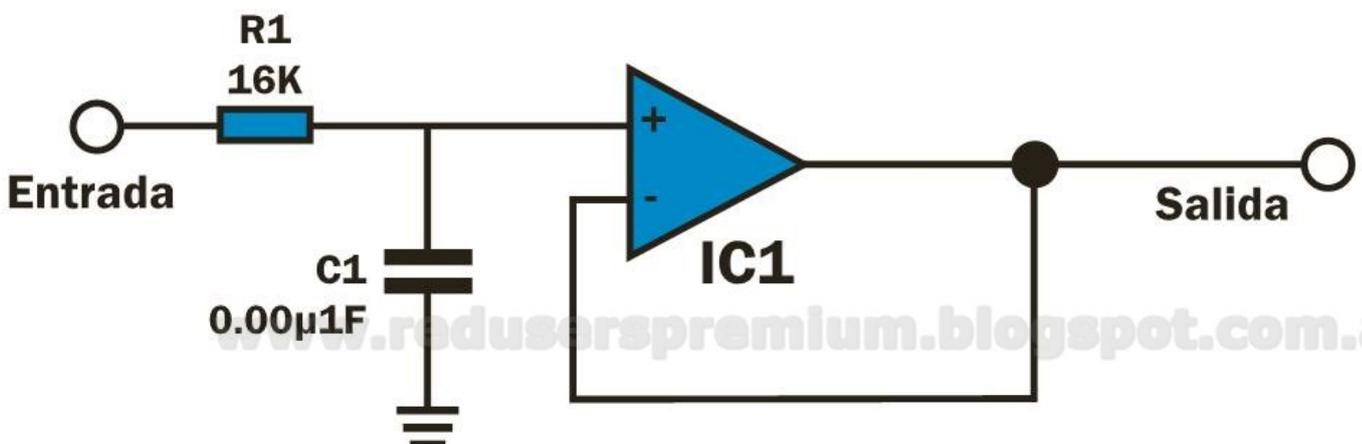
Como herramienta de diseño de nuestro filtro pasa bajos antialiasing utilizaremos **FilterLab**, el software de diseño de filtros activos analógicos y digitales Microchip, gratuito y que podemos descargar en su versión 2.0 desde www.microchip.com. FilterLab simplifica el diseño de los filtros ya que nos proporciona el circuito eléctrico del filtro junto al valor de sus componentes y muestra la respuesta en frecuencia.

EL AO MCP6022 SE IDENTIFICA POR EL ANCHO DE BANDA (10 MHz), SU BAJO NIVEL DE RUIDO (8,7 nV/√Hz) Y LA DISTORSIÓN BAJA (0,00053%).



Además, nos permite diseñar filtros pasa bajos hasta de octavo orden con respuesta **Butterworth**, **Bessel** o **Chebyshev** en frecuencias desde 0.1 Hz hasta 10 MHz; seleccionar el tramo plano de un filtro pasa banda o de la zona de transición hasta la zona fuera de banda; distintas opciones como factor de ripple mínimo y modificar el valor de los capacitores, así como generar un modelo en formato SPICE para realizar análisis del filtro en el dominio del tiempo mediante simulaciones SPICE.

Otra de las opciones de FilterLab es el asistente **Anti-Aliasing Wizard**, que colabora en el diseño de conjuntos de filtros pasa bajos. Para esto, necesitamos considerar parámetros como el ancho de banda, la frecuencia de muestreo, la resolución del DAC y la relación señal a ruido (SNR) del convertidor. La frecuencia de corte determina el ancho de banda del filtro antialiasing y el rango de frecuencia está limitado a valores desde 0.1 Hz a 1 MHz. La frecuencia de muestreo es un parámetro del convertidor, en este caso del dsPIC30F6012A, y es de 200 ks/s o 200.000



El filtro pasa bajos de primer orden de Butterworth básico se puede modificar a otros tipos de filtros, por ejemplo, filtro pasa altos.

VELOCIDAD DE CRECIMIENTO

La velocidad de crecimiento (en inglés, **Slew Rate** o SE) es una consecuencia de la no linealidad de los amplificadores y una medida de su incapacidad para seguir variaciones rápidas de la señal de entrada. La definimos como la máxima tasa de cambio en la tensión de salida cuando la tensión de entrada cambia y se mide en [V/us]. Como limita el ancho de banda total de un amplificador operacional, nos interesa una SR lo mayor posible. Tengamos en cuenta que para un AO MCP6002, el valor típico es de 7 [V/us].

muestras por segundo o Hz y debe ser al menos dos veces la frecuencia de corte.

Otro parámetro del **DAC**, comprendido entre 8 y 24 bits, es la resolución del convertidor. Consideremos que para el DAC del dsPIC30F6012A es 12 bits. La relación señal a ruido (SNR) la determinamos mediante la expresión $6.02 \cdot \text{resolución} + 1.76$ [dB], y para 12 bits de resolución es 74 dB, valor considerado ideal, que FilterLab implementa en forma predeterminada. por defecto.

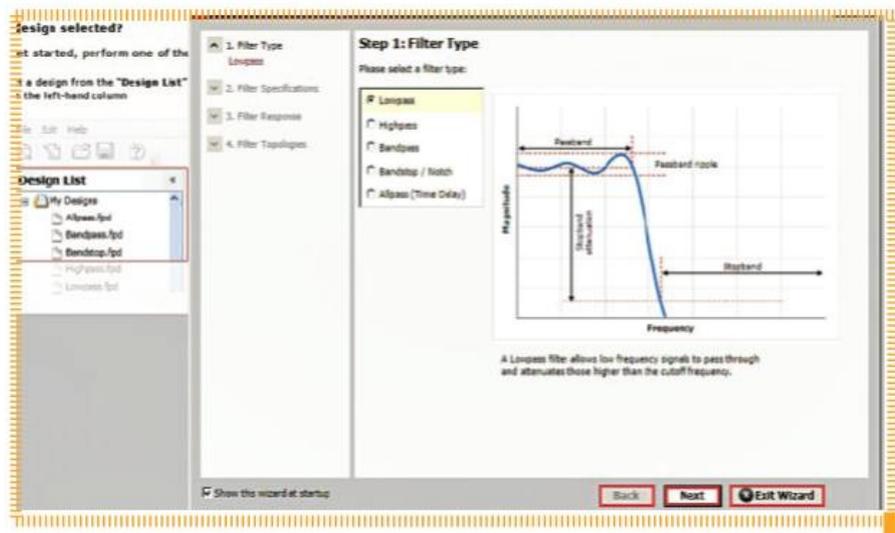
Una vez que ingresamos estos valores, FilterLab nos propone alternativas en cuanto a la topología y el orden del filtro, y selecciona la opción más conveniente. En nuestro diseño, por razones de simplicidad, escogeremos la topología denominada Butterworth y el orden 5.

Respecto del amplificador operacional, tenemos que considerar características adicionales a las ya conocidas, que colaboran en evitar inconvenientes con la distorsión no lineal y la distorsión en la respuesta del filtro. Nos interesan GBWP y SE.

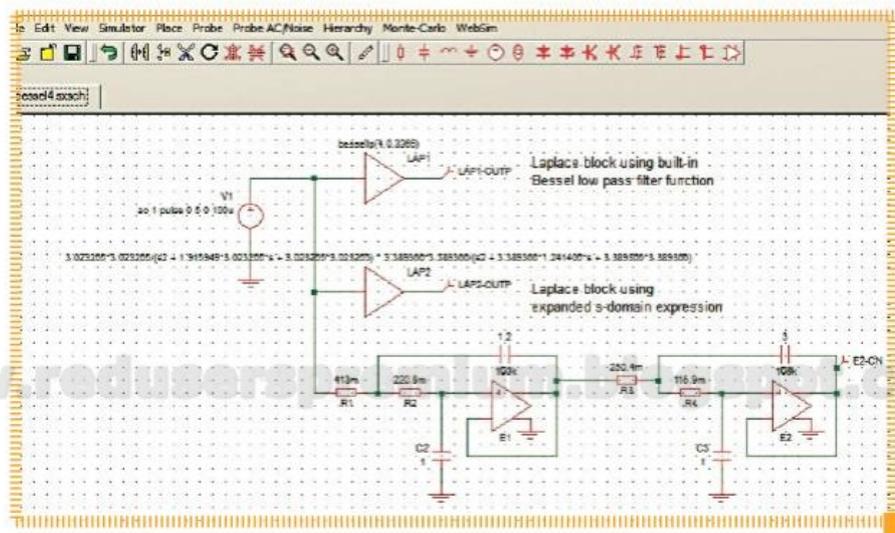
Sección de procesamiento digital

Un **procesador digital de señales** o DSP es un procesador en un chip diseñado para resolver un conjunto de operaciones matemáticas sobre una señal continua o analógica digitalizada. Representamos el procesamiento digital de señales mediante un diagrama en bloques de tres etapas que incluye la conversión de la señal analógica a digital, el procesamiento y la conversión de la señal procesada a una señal analógica.

Para aplicaciones de procesamiento digital de señales, seleccionamos un dsPIC,



Los filtros activos son vitales hoy en día aunque su diseño y su verificación pueden ser tediosos. FilterPro™ nos facilita ese proceso.



Una herramienta para diseñar filtros activos es Mindi™ Circuit Designer & Simulator de Microchip, <http://webdc.transim.com>.



antes que un microcontrolador PIC, dado que en el dsPIC las instrucciones aritméticas complejas se ejecutan en un ciclo; dispone de conversores veloces y precisos, que están preparados para que los programemos en lenguajes de alto nivel, por ejemplo, C y la velocidad y rendimiento son superiores a muchos microcontroladores. Por último, un PIC funciona ejecutando un programa predeterminado; mientras que en un dsPIC, el resultado depende de la señal analógica digitalizada y la ejecución, de los datos obtenidos en tiempo real.

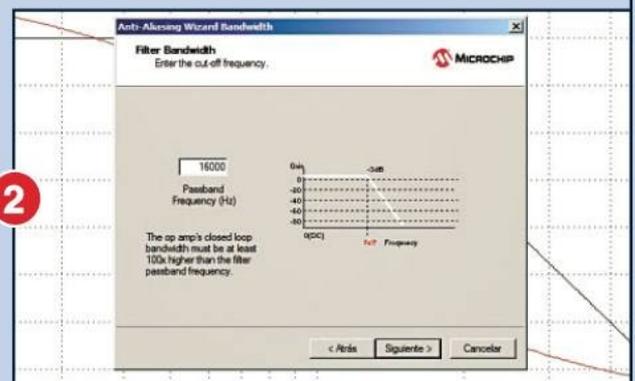
El muestreo se realiza de acuerdo con el **Teorema de Muestreo** (Nyquist-Shannon). La frecuencia de muestreo es el número de muestras por segundo y cuanto mayor

sea este valor, más parecida será la señal digital a la señal analógica original. No debemos olvidar que tanto el DAC como el procesador digital tienen que disponer de tiempo entre dos muestras para ejecutar los procesos asignados. Es común que utilicemos en el procesador digital la Transformada de Fourier, que hace uso intensivo de la función suma de productos ($\sum C_i.F(x)$), lo que implica que el procesador digital tiene que disponer de un conjunto de instrucciones muy potentes y rápidas, la multiplicación es la más importante. De manera frecuente, medimos la velocidad del DSP mediante el tiempo por ciclo de instrucción (tiempo para ejecutar la instrucción más rápida del procesador), mientras que su inverso dividido por un millón se conoce como MIPS o rendimiento del procesador en millones de instrucciones por segundo.

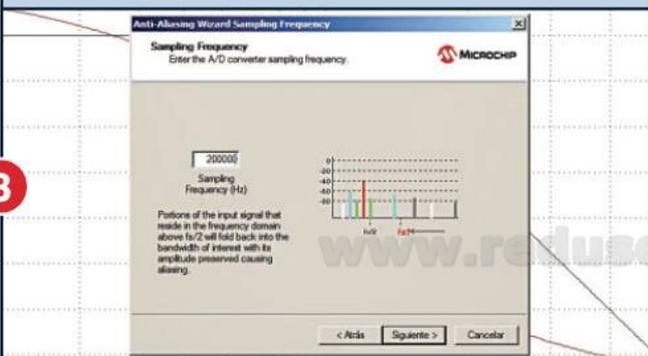
DISEÑO DE LOS FILTROS ACTIVOS PASO A PASO



Luego de que descargamos e instalamos FilterLab en nuestra PC, abrimos y seleccionamos **Anti-Aliasing Wizard**, el asistente en el proceso de diseño.



Escogemos la topología de Butterworth para nuestro filtro e ingresamos la frecuencia de corte del filtro pasa bajos antialiasing, medida en Hz.



En este paso debemos ingresar la frecuencia de muestreo del convertor, del dsPIC30F6012A. Esta información la obtenemos de la hoja de datos.



Por último, tenemos que ingresar el valor de la resolución del DAC del dsPIC, de 12 bits, y la SNR, -74 dB, en forma predeterminada para un DAC de 12 bits.

Procesamiento de la señal digital con dsPIC30F6012A

Podemos conectar el analizador de **espectro digital** en tiempo real para señales de audio a cualquier dispositivo de audio, ya que acepta señales analógicas de audio en su entrada. Nuestro analizador de espectro analiza señales de audio comprendidas entre 20 y 20000 Hz; digitaliza y procesa la señal de audio mediante un DSP de la familia dsPIC30F de Microchip, que distribuye la energía de la señal de audio en veinte bandas de frecuencia específicas y las muestra en una matriz de 20 x 20 LEDs. Recordemos que, en la sección analógica, por cuestiones de reducción de tamaño en el montaje final, utilizamos filtros de quinto orden.

Recurrimos a un DSP que utiliza la Transformada rápida de Fourier para procesar toda la banda de audio de la señal de entrada mediante un conjunto de veinte filtros pasa banda de distintas frecuencias centrales que, en seguida, nos permiten observar los resultados del análisis en un display LED. El display LED soporta cuatro modos de funcionamiento.

La **Transformada rápida de Fourier** es una herramienta fundamental en el procesamiento digital de señales y, si bien no es una nueva transformada, se trata de un algoritmo para el cálculo de la Transformada discreta de Fourier (DFT), ya que elimina una gran parte de los cálculos repetitivos que se desarrollan en la transformada discreta con lo que logramos una mayor velocidad de cálculo y, en general, una mayor precisión disminuyendo los errores de redondeo.

Aplicar el algoritmo FFT implica considerar algunas limitaciones tanto en la señal como en el espectro resultante. Por ejemplo: la señal muestreada que deseamos transformar debe contener un número de muestras igual a una potencia de dos: 5012, 1024, 2048 o 4096 en la mayoría de los DSP. El rango de frecuencias cubierto por la FFT depende de la cantidad de muestras realizadas y de la proporción de muestreo.

Podríamos preguntarnos por qué razón no utilizamos alguno de los dos tipos principales de filtros digitales, respuesta al impulso infinita (*Infinite Impulse*

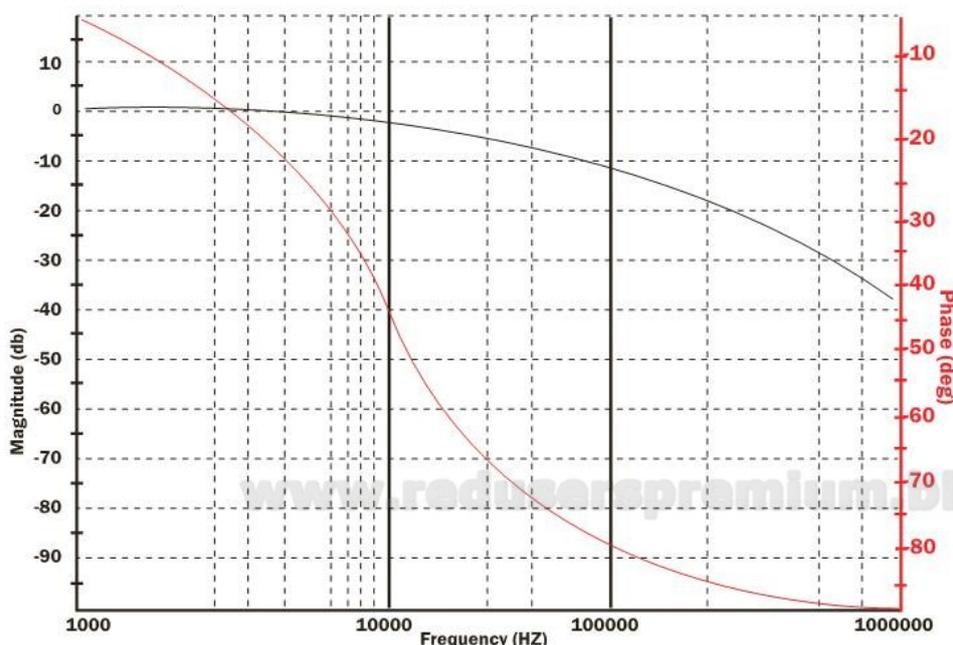
MEDIANTE BLOQUES DE CONVERSIÓN A/D, PROCESAMIENTO DIGITAL Y CONVERSIÓN D/A, DESCRIBIMOS EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES. 

13

// Clase 15



Response o IIR) y respuesta al impulso finita (*Finite Impulse Response* o FIR), para procesar la señal digital, en lugar de FFT. Considerando el orden de los filtros requeridos (mayor que ocho para lograr una resolución de 30 Hz en frecuen-



Filtro activo de Butterworth, donde observamos una atenuación de -3 dB y una variación en la fase de aproximadamente 45° a 10 kHz.



cias bajas) y la velocidad del dsPIC (30 MIPS), no tenemos otra forma que realizarlo mediante software, programando la FFT en el dsPIC30F.

Actualmente, Microchip comercializa dsPICs de 16 bits agrupados en dos clases: la familia dsPIC30F, que es el desarrollo original, y la familia dsPIC33F, que incorpora algunas mejoras, como la disponibilidad de mayor número de pines I/O, mayor capacidad de memoria flash, el doble de interrupciones, mayor capacidad de memoria SRAM, no utiliza EEPROM, tienen un nuevo modo de bajo consumo y usa un controlador de acceso directo a memoria o DMA de ocho canales por lo que libera a la CPU de la tarea de transferir datos entre los periféricos y la memoria, además de utilizar una alimentación de 3.3 V.

Para diseñar y construir nuestro analizador de espectro digital de audio recurrimos al dsPIC30F6012A, un controlador de señal digital (DSC) de 16 bits de alto rendimiento, y para el desarrollo del software, Microchip ofrece un paquete de herramientas muy similar al utilizado en microcontroladores PIC: el entorno gratuito MPLAB ICD 3 IDE, que contiene un ensamblador MPLAB ASM30, software de simulación SIM30, un compilador C MPLAB C30 y el inicializador gráfico de programas MPLAB VDI. Para el desarrollo y análisis de algoritmos DSP, uti-

LIMITACIONES DEL DSPIC30F

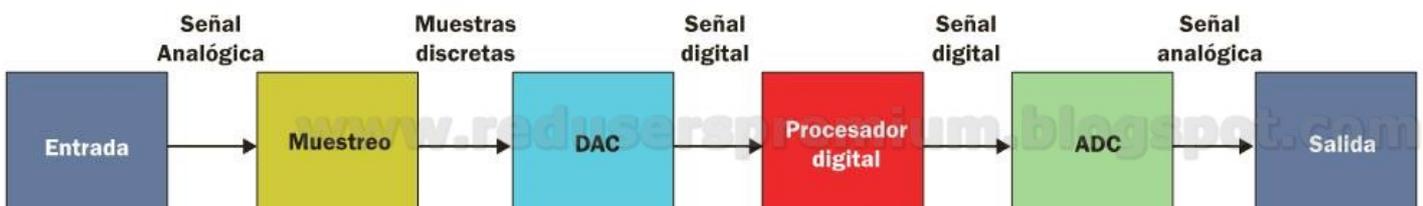
Debido a que el dsPIC30F6012A tiene limitaciones de memoria, velocidad y procesamiento matemático, para superarlas podemos dividir el espectro de audio en dos rangos con límite en 1 kHz, utilizar dos FFT con 256 puntos de muestreo cada una, dos filtros pasa bajos antialiasing con frecuencias de corte de 2 kHz y 16 kHz y tasas de muestreo de 8 kHz hasta 1 kHz y 80 kHz en frecuencias superiores. Ambas resoluciones son adecuadas para cada una de las bandas de frecuencias de las FFT.

lizamos **dsPICWORKS**, la herramienta gratuita de Microchip, apta para diseñar filtros digitales, generar señales, facilitar operaciones matemáticas para procesar señales aritméticas y también digitales, mostrar y cuantificar elementos de una a tres dimensiones que nos ofrece una extensa variedad de librerías, muchas de ellas gratuitas.

En el proceso de diseño es muy importante definir los componentes espectrales de la señal de audio digitalizada por observar. Considerando que el espectro de frecuencias audibles está comprendido entre 20 Hz y 20 kHz o diez octavas, obtenemos una buena resolución si definimos veinte bandas de frecuencia (media octava) en el rango de audio considerado. Por limitaciones en el oído humano, no es necesario extendernos a frecuencias menores que 30 Hz ni superiores a 15 kHz y dado

que el oído humano no tiene gran resolución en frecuencias bajas, por razones del hardware contenido en el dsPIC utilizado, 31 Hz sería la frecuencia del primer filtro, 62 Hz la del segundo y 93 Hz la del tercero. Del mismo modo, en las frecuencias más altas del espectro no necesitamos mostrar los componentes espectrales con una resolución mayor a 5 kHz por lo que la frecuencia del último filtro sería de 15 kHz. Considerando el rango de octavas de las frecuencias para las cuales el oído humano es más sensible, las frecuencias centrales de los filtros 4 a 19 serían 126 Hz, 170 Hz, 230 Hz, 310 Hz, 420 Hz, 563 Hz, 760 Hz, 1024 Hz, 1380 Hz, 1862 Hz, 251 Hz, 3386 Hz, 4565 Hz, 6155 Hz, 8300 Hz y 11200 Hz.

Por debajo de 100 Hz, necesitamos una resolución de frecuencias de 30 Hz entre una frecuencia central y la otra, que de-



Representamos un DSP mediante tres etapas: conversión analógico-digital, procesamiento de la señal y conversión digital-analógica.

pende de la longitud de la FFT ("N" puntos de muestreo) y de la frecuencia de muestreo; mientras que, por el Teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo tiene que ser al menos dos veces la máxima frecuencia de audio por muestrear. Si limitamos a 20 kHz la frecuencia máxima de audio, la frecuencia de muestreo mínima será 40 kHz. Para reducir el orden de los filtros de Butterworth del bloque analógico a orden 5 es suficiente realizar un sobremuestreo (en inglés, *oversampling*) de 80 kHz. Calculando el cociente entre 80 kHz y 30 Hz obtenemos un valor N de 2667. Como para aplicar la FFT y procesar una señal requerimos frecuencia de muestreo múltiplos de 2, entonces, como el valor 2667 está comprendido entre 2048 y 4096, el valor adecuado de N es 4096. Mediante un oversampling de 80 kHz reducimos el orden de los filtros antialiasing a 5 y disminuimos la complejidad en el procesamiento digital de la señal en el DSP.

Para descomponer la señal de entrada en veinte sub bandas, recurrimos a un conjunto de algoritmos para implementar un paralelo de veinte filtros pasa banda no uniformes mediante la Transformada rápida de Fourier. El dsPIC30F6012A tiene la velocidad y la capacidad de memoria suficiente para implementar estos algoritmos en tiempo real.

Sección de salida

Podemos conectar nuestro analizador de espectro digital de audio en tiempo real a cualquier dispositivo de audio, ya que acepta una señal de audio analógica en su entrada, que digitalizamos y procesamos mediante el dsPIC30F6012A. La salida procesada se corresponde con la distribución de energía de la señal de audio y la revelamos mediante veinte bandas de frecuencia específicas en un display de 20 X 20 LEDs.

Las especificaciones de diseño para el bloque de salida se relacionan con la cobertura del analizador de espectro digital de audio, 0 hasta 20000 Hz y la división del espectrograma en veinte barras gráficas con LEDs. Cada barra gráfica representa el nivel de potencia de señal total en una banda específica del espectro, como se requieren veinte bandas espectrales, necesitamos veinte filtros pasa banda proporcionados por el dsPIC. Cada barra gráfica consiste de 20 LEDs y tenemos que mostrar el análisis del espectro de audiofrecuencia en tiempo real, por lo cual deberemos procesar la señal de audio en tiempo real.

En el esquema eléctrico de la sección, podemos observar un interruptor doble en formato DIP (*Dual in line package*), que nos permite seleccionar cuatro formas diferentes de mostrar

LA FAMILIA DSPIC30F EMPLEA UN CONTROLADOR DE SEÑAL DIGITAL DE PROPÓSITO GENERAL Y 16 BITS EN ARQUITECTURA HARVARD MODIFICADA.



el espectro de audio en la matriz de LEDs. El primer modo de funcionamiento, que denominamos **barras**, nos grafica el espectro de audio en tiempo real; en el modo de presentación, que denominamos **picos**, observamos el valor pico del espectro de audio; en el tercer modo de display, que llamamos **lento**, las barras suben lentamente hasta alcanzar su pico, donde se mantienen hasta que llega otro pico mayor que el actual y por último, en el modo **lluvia**, las barras caen hasta cero a partir del valor pico alcanzado.

Cada **diodo emisor de luz** (*Light Emitting Diode* o LED) tiene la particularidad de emitir luces visibles de algún color (verde, rojo, azul, amarillo) a partir de los materiales semiconductores y de las impurezas utilizadas para construirlo. La decisión de utilizar LEDs para configurar el display del analizador de espectro surge de la necesidad de mantener reducida la complejidad del instrumento. Además, entre las características de los diodos que constituyen una ventaja en el momento de construir el analizador de espectro, mencionamos el bajo costo, la simplicidad en la conexión, su fiabilidad justamente por la simplicidad en la conexión, la eficiencia energética (bajo consumo de energía en comparación con la energía luminosa que obtenemos). Por supuesto que, como

GANANCIA POR ANCHO DE BANDA

En el diseño de filtros pasa bajos antialiasing, uno de los parámetros adicionales por considerar es GSWP, definido como el producto ganancia por ancho de banda (en inglés, Gain Bandwidth Product o GBWP). GBWP es constante y en él intervienen la ganancia (K) y el ancho de banda (fp). Para un filtro pasa bajos depende de la ganancia de la etapa el filtro (K) y la frecuencia de corte del filtro (fp). Como GBWP es constante, típico 10 MHz en un AO MCP6022, si aumenta fp disminuye K y viceversa.

15

// Clase 15

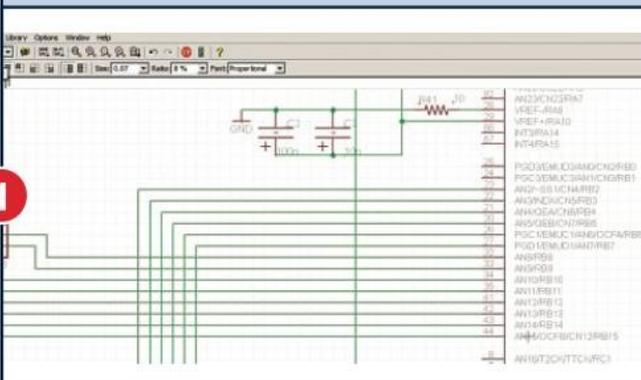




Mediante dos tasas de muestreo y dos FFT simplificamos el diseño de nuestro analizador de espectro digital en frecuencias de audio.

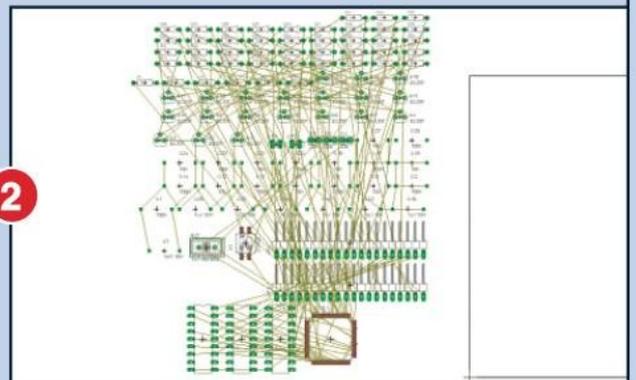
DISEÑO DEL PCB DE LA SECCIÓN DSP PASO A PASO

1



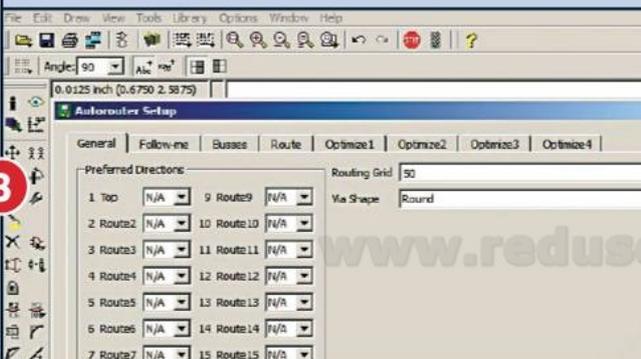
Mediante un clic sobre el icono PCB, abrimos la ventana de diseño de Eagle con los componentes fuera de la placa. Move los desplaza dentro de la placa.

2



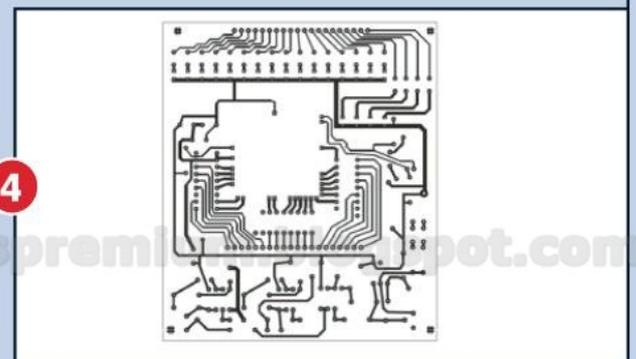
Las líneas que unen los componentes coinciden con las uniones de los hilos en el esquema, lo que facilitará dibujar las pistas de la placa PCB.

3



Podemos trazar las pistas de manera automática (mediante AutoRoute) o manual (Route). Por lo general, finalizamos el diseño de la placa en forma manual.

4



Observamos el trazado definitivo de la cara inferior del PCB del analizador que muestra los bloques analógico y digital. El diseño es doble faz.

cualquier dispositivo electrónico, presenta algunas limitaciones en cuanto a la sensibilidad a la temperatura y la necesidad de mantener la corriente que atraviesa el LED lo más constante posible para asegurarnos el tiempo de vida del diodo.

Para reducir el consumo eléctrico que genera alimentar de manera simultánea a cada uno de los 400 LEDs, recurrimos a veinte pines I/O para X y veinte pines I/O para Y a partir del procesador dsPIC alimentado con una corriente que no supera los 500 mA. Un detalle importante para tener en cuenta es que las barras de LEDs se encienden al menos con una frecuencia de cincuenta veces por segundo, de modo de evitar el parpadeo de la imagen.

La matriz de LEDs es el elemento fundamental en este bloque y la excitamos por medio de transistores NPN de uso general y circuitos integrados Darlington ULN2803. Como la corriente que nos entrega el dsPIC30F6012A en sus salidas es insuficiente para excitar la matriz de LEDs, tenemos que recurrir a veinte transistores NPN de uso general BC337 y a tres arreglos de transistores Darlington integrados en el chip ULN2803. Si bien las resistencias que utilizamos para construir el bloque analógico debían mantener una tolerancia del 1%, para el resto de las resistencias, incluyendo las que pertenecen al bloque display, es suficiente una tolerancia del 5%.

Al seleccionar un tipo de LED, seguramente nos resultará complejo distinguir a simple vista su modelo, por eso, como regla práctica, cuando no dispongamos de la hoja de datos del fabricante, vamos a limitar la corriente que se encarga de atravesar el diodo a 20 mA. En nuestro analizador, además, utilizamos arreglos de LEDs rectangulares colocados uno encima del otro para constituir las veinte barras de veinte LEDs cada una.

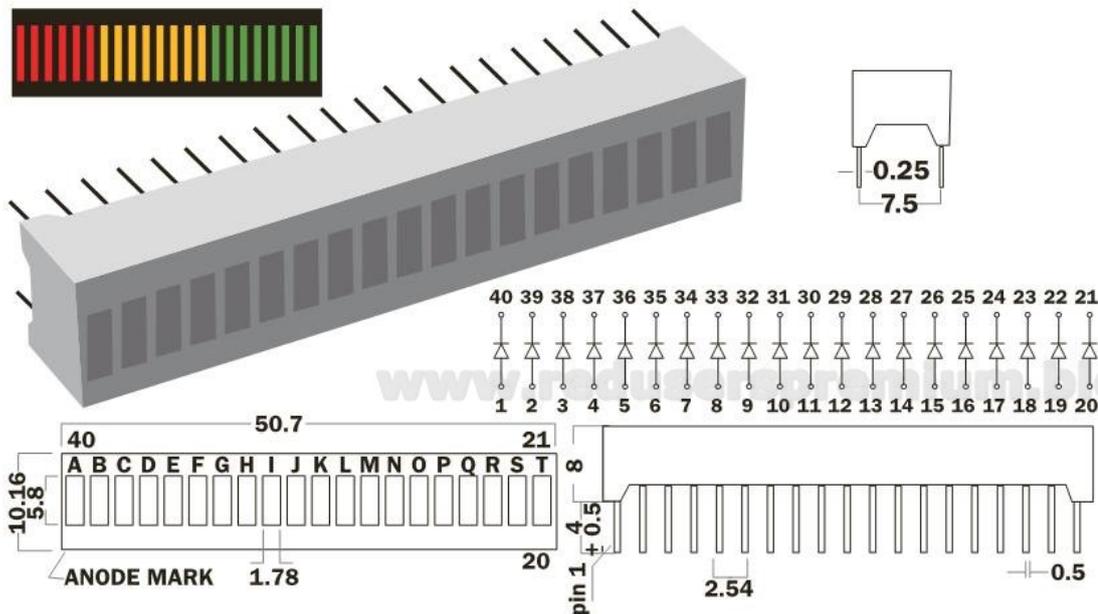
UN DSPIC30F6012A TIENE
UN RENDIMIENTO DE 30
MILLONES DE INSTRUCCIONES
POR SEGUNDO O MI/S Y UNA
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN
DE 5 V.




Electrónica de la matriz de LEDs

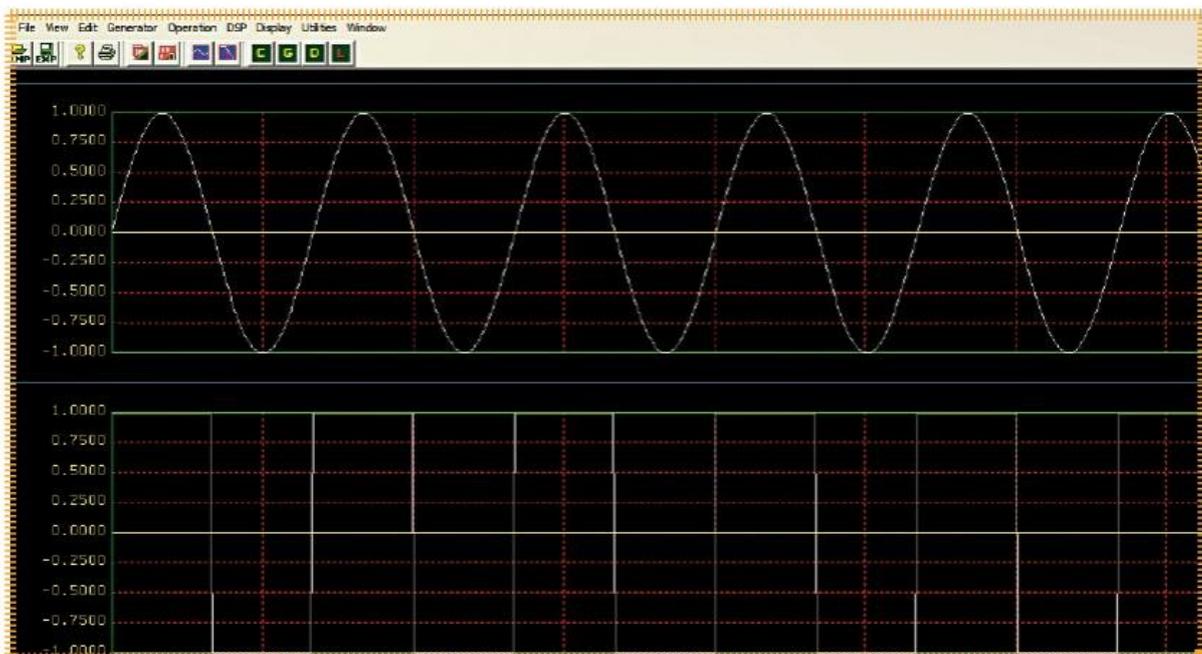
Si analizamos las curvas de salida de un transistor en continua (IC-VC), observaremos que el semiconductor puede funcionar en alguna de tres zonas: saturación, activa o corte. La zona donde la corriente de colector no es proporcional a la corriente de base se denomina zona de saturación, caracterizada porque la tensión colector-emisor (VCE) es menor a 0.7 V, la tensión de base (VB) es menor a 0 y la tensión base-emisor es 0.7 V.

En el otro extremo de la gráfica IC-VC, llamada zona de corte, la corriente de colector (IC) es aproximadamente igual a cero. Entre ambas, la zona activa se caracteriza porque la corriente de colector se mantiene constante y se cumple $IC = \beta * IB$ (IB es la corriente de base y β la ganancia de corriente continua del transistor), la tensión colector-emisor (VCE) es mayor o igual a 0.7 V y la tensión base-emisor (VB) es igual a 0.7 V. Un



Mediante dos tasas de muestreo y dos FFT simplificamos el diseño de nuestro analizador de espectro digital en frecuencias de audio.





dsPICWorks proporciona una interfaz con MPLAB IDE y con el ensamblador para dsPIC30F, MPLAB ASM30, además de procesamiento DSP.

transistor funcionando en la zona activa nos permite construir amplificadores de señal; mientras que, si el transistor conmuta entre las zonas de corte y saturación, decimos que funciona como interruptor, aplicación que utilizamos para excitar la matriz de LEDs de nuestro analizador de espectro digital de audio en tiempo real.

Analizando la configuración del bloque digital encontraremos transistores NPN BC337 con una resistencia de 1 K conectada a su base y otra resistencia de 10 ohm en su emisor, y todo el conjunto alimentado con +5 V. En la entrada del circuito, extremo de la resistencia que se encuentra conectada al dsPIC30F6012A, se aplica un tren de pulsos entre 0 y +5 V, consecuencia del procesamiento digital de la señal de audio analógica ingresada en el bloque analógico.

Bajo estas condiciones, el transistor BC337 funcionará en corte cuando la tensión en su entrada sea 0 V y en saturación, cuando el pulso alcance +5 V.

Restando de +5 V la suma de las tensiones base-emisor y la tensión entre emisor y masa (caída en la resistencia de 10 ohm) y dividiendo por la corriente de base necesaria para saturar al transistor, obtenemos el valor de la resistencia de base, en este caso, 1 K.

En el circuito del colector, considerando los +5 V de alimentación, la caída en el LED, la caída de tensión colector-emisor en saturación y la caída de tensión en la resistencia que corresponde al emisor ($I_C * R_E$), determinamos el valor de la resistencia de emisor R_E , 10 ohm en nuestro analizador.

DESVENTAJAS DE LA FFT

Aplicar la Transformada rápida de Fourier reduce el rango dinámico de la señal mostrada en el display LED y justifica limitar a 30 dB el rango dinámico del analiza-

dor de espectro. El rango o margen dinámico es la máxima diferencia de nivel entre dos señales aplicadas al mismo tiempo a la entrada, que pueden medirse con un

cierto nivel de incertidumbre. 30 dB indica una diferencia de 1000 veces. El ruido promedio del analizador de espectro limita la señal más pequeña por medir.

Para que un circuito opere en conmutación con todos los transistores, todas las corrientes y las temperaturas deberían funcionar bajo condiciones de saturación fuerte. En la práctica, aun en el peor caso, un transistor de silicio para pequeña señal tiene un β mayor que 10. Una regla práctica para asegurar la saturación fuerte, e independizarnos del valor de β , es que la corriente de base (IB) sea aproximadamente la décima parte de la corriente de colector (IC) de saturación.

En la **hoja de datos** (*datasheet*), hallamos las características, especificaciones, funciones, aplicaciones, etc. de un componente electrónico particular. Para un transistor, encontramos sus límites de funcionamiento en corriente, tensión y otros valores. Tienen especial importancia las limitaciones en la zona de ruptura y las corrientes y potencia máximas. Mantenernos alejados de estos límites extiende la vida del semiconductor.

Respecto del circuito **ULN2803A**, contiene un arreglo de ocho transistores Darlington de alta corriente, especialmente diseñado para implementarlo como interfaz de lámparas, relays, cabezales de impresoras y otras cargas similares destinadas a cubrir un rango muy amplio de aplicaciones de computadoras, industriales y consumo. El chip es compatible

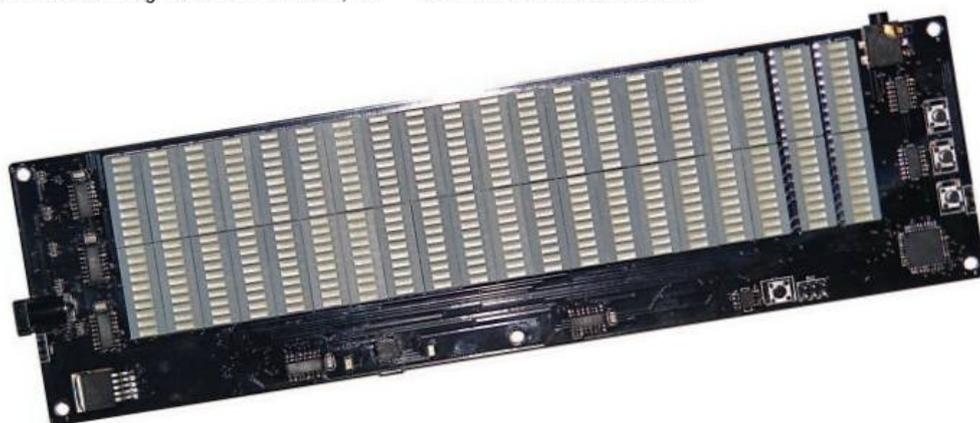
MPLAB ICD 3 ES UNA HERRAMIENTA DEPURADORA CONTROLADA DESDE UNA PC QUE CORRE SOFTWARE MPLAB IDE SOBRE UNA PLATAFORMA WINDOWS.



con la familia TTL y está optimizado para niveles CMOS entre 6 y 15 V.

Un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en cascada en un dispositivo único, que conocemos como configuración Darlington, es sumamente utilizado en electrónica cuando necesitamos alta ganancia de corriente, es

decir que podemos controlar cargas grandes con corrientes pequeñas. Entonces, la ganancia de corriente total (β total) del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales, y es frecuente que encontremos valores de 1000 o superiores. La tensión base-emisor (VBE) es la suma de ambas tensiones, alrededor de 1.4 V en transistores de silicio.



Podemos construir nosotros mismos la matriz de LEDs de acuerdo con las indicaciones del texto, aunque también es posible adquirirla a través de la Web.



¿TE RESULTA ÚTIL?

Lo que estás leyendo es el fruto del trabajo de cientos de personas que ponen todo de sí para lograr un mejor producto. Utilizar versiones "pirata" desalienta la inversión y da lugar a publicaciones de menor calidad.

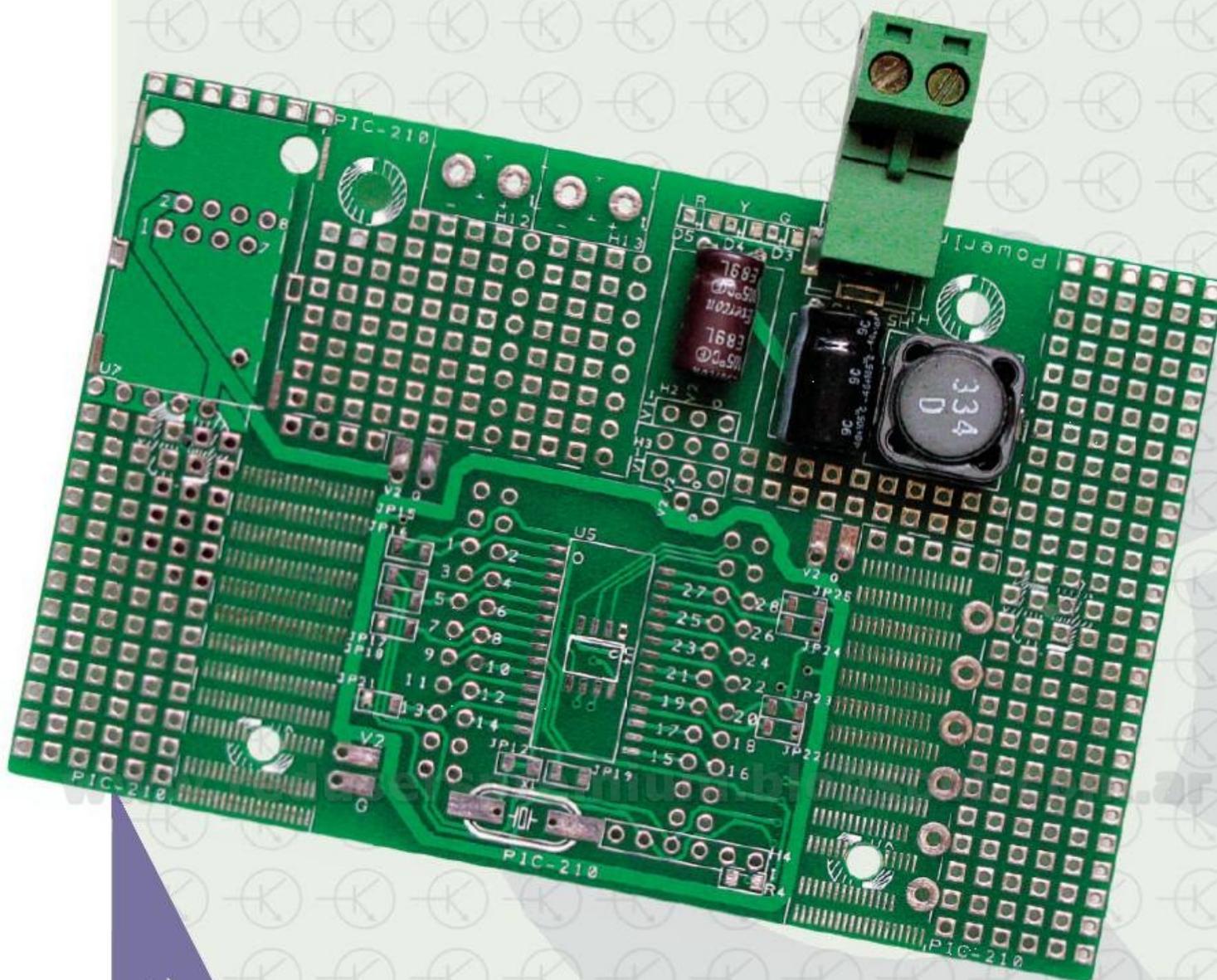
**NO ATENTES CONTRA LA LECTURA. NO ATENTES CONTRA TI.
COMPRA SÓLO PRODUCTOS ORIGINALES.**

Nuestras publicaciones se comercializan en kioscos o puestos de voceadores; librerías; locales cerrados; supermercados e internet (usershop.redusers.com). Si tienes alguna duda, comentario o quieres saber más, puedes contactarnos por medio de usershop@redusers.com



PRUEBA DEL AE DIGITAL

PARA FINALIZAR EL PROYECTO, DESCRIBIREMOS LOS FUNDAMENTOS Y LAS PRUEBAS POR REALIZAR EN NUESTRO ANALIZADOR DE ESPECTRO DIGITAL DE AUDIO PARA COMPROBAR SU FUNCIONAMIENTO.



A

ntes de realizar la prueba del instrumento completo, es necesario testear el bloque analógico para asegurarnos que los filtros activos pasa bajos antialiasing funcionan dentro de las especificaciones de diseño. El software **FilterLab** nos permite simular el funcionamiento de un filtro activo.

Un **filtro pasa bajos** admite el paso de una banda específica de frecuencias, llamada banda pasante, que, es desde DC (cero Hz) hasta la frecuencia de corte f_c (Hz). Para frecuencias superiores a f_c , el filtro atenúa la tensión de salida y a partir de una frecuencia especificada como f_s debe existir una atenuación mínima. La banda de frecuencias entre f_c y f_s es conocida como banda de transición y por encima de la frecuencia f_s , como banda eliminada. En nuestro analizador utilizamos filtros de tipo Butterworth dado que tienen una respuesta plana en ambas bandas y su diseño es el más simple. La sensibilidad de entrada varía entre 0 y 10 V, ajustable mediante un potenciómetro.

Para realizar la prueba de ambos filtros, vamos a usar un generador de señales y un osciloscopio/analizador virtual, conectados de manera adecuada. Una vez efectuado el montaje, realizaremos las pruebas de los dos filtros. Vamos a obtener la gráfica que relaciona los dB en función de la frecuencia. Desde el generador de señales, aplicamos la forma de onda más básica y utilizada comúnmente en análisis de audio: la señal senoidal, en nuestro caso de 1 VPP de amplitud y una frecuencia que variará desde 10 Hz hasta 10 kHz para el filtro N° 1 (frecuencia de corte de 2 kHz) y desde 10 Hz hasta 50 kHz para el filtro N° 2 (frecuencia de corte de 16 kHz). Podemos, en ambos casos, registrar cada lectura de amplitud para cada una de las frecuencias de prueba, hallar la

REALIZAMOS LAS
PRUEBAS CLÁSICAS
A LOS FILTROS PASA
BAJOS ANTIALIASING DE
LA SECCIÓN ANALÓGICA
APLICANDO UNA ONDA
SENOIDAL.



relación en dB que corresponda y graficar para obtener la respuesta de cada filtro o visualizar la respuesta del osciloscopio/analizador virtual en el display de nuestra computadora personal. Luego, vamos a comparar estos resultados con la simulación que realizamos mediante FilterLab.

El orden de los filtros N° 1 y N° 2 es igual a cinco para cada uno, y una regla aproximada que podemos utilizar para comprobar el orden de un filtro es mediante el número de condensadores en cada etapa, excluyendo los condensadores relacionados con la alimentación y el filtrado. Por ejemplo, en el circuito correspondiente al filtro N° 1, tenemos cinco condensadores: uno para el filtro IC2A (C5), dos condensadores (C8 y C9) para el filtro IC3A y dos condensadores para el filtro IC3B (C14 y C15). Consideremos que la atenuación en un filtro pasa bajos



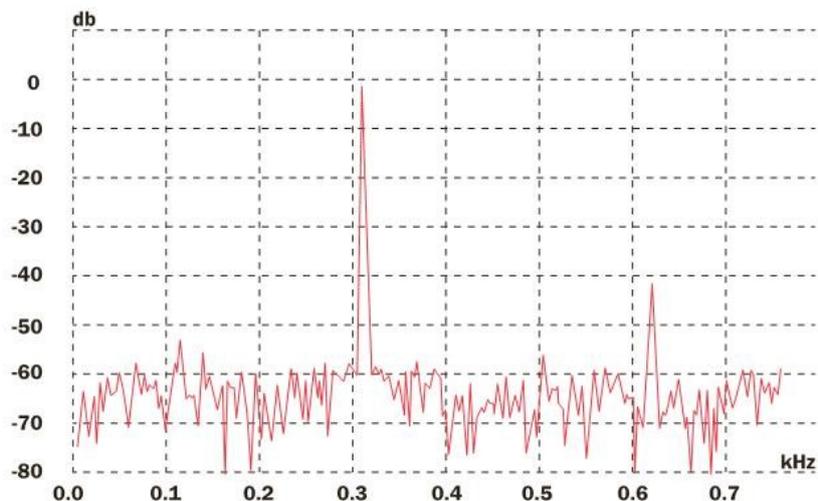
MULTI INSTRUMENTOS Y PC

Un multi instrumento es una herramienta muy poderosa porque, además de hardware, posee software que lo convierte en un osciloscopio, un analizador de espectro, un generador de señal, un multímetro y un medidor LCR, que pueden funcionar de manera simultánea y en tiempo real. Se vincula a una computadora personal por lo que muestra tanto el uso como los resultados en su display. Como analizador de espectro, presenta la amplitud y la potencia de las componentes espectrales.



Observamos ejemplos de instrumentos de medición: un generador de funciones y un multi instrumento virtual para conectar a una PC.





Espectrograma al aplicar un tono de 310 Hz a la entrada del bloque analógico. La frecuencia de 620 Hz está -30 dB de la fundamental.

es de $20 * n$ [dB por década] a partir de la frecuencia de corte f_c , o de aproximadamente $6 * n$ [dB por octava] donde n es el número de polos del filtro. En nuestro caso, la atenuación tanto del filtro N° 1 ($f_c = 2$ kHz) como del filtro N° 2 ($f_c = 16$ kHz) es de 100 dB/década o 30 dB/octava. En las pruebas mediante onda senoidal deberíamos verificar estos valores de atenuación.

Una característica importante en un **analizador de espectro**, relacionada con los filtros analógicos, es la resolución de frecuencia entendida como la habilidad del analizador de espectro para separar dos entradas senoidales simultáneas en sus distintas respuestas en frecuencias. Nuestro analizador, basado en Fourier, no presenta inconvenientes de resolución dado que Fourier considera que una onda senoidal tiene energía solo en una frecuencia.

El segundo grupo de pruebas se relaciona con nuestro analizador de espectro montado, en funcionamiento, y la realización de la medición más común: la frecuencia expresada en Hz. De manera básica, el proceso consiste en digitalizar la señal de entrada, adquirir los datos, ejecutar la operación FFT y procesar los resultados para mostrarlos en el display.

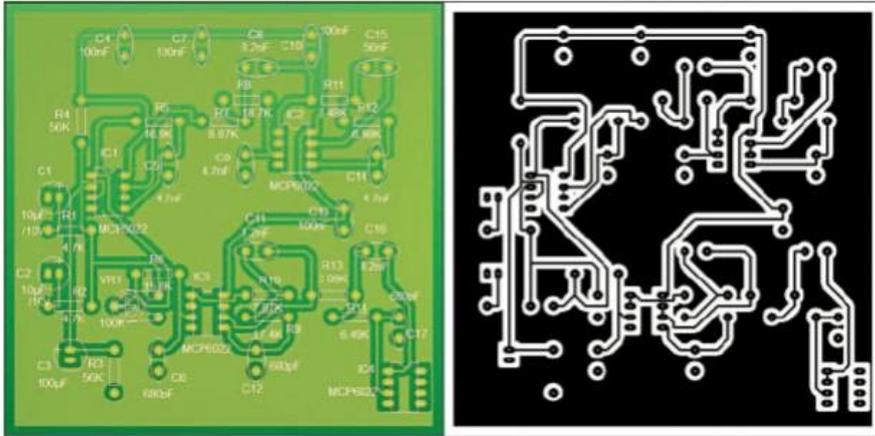
EFECTUAMOS PRUEBAS
ADICIONALES EN LA SECCIÓN
ANALÓGICA MEDIANTE
UNA ONDA CUADRADA
(RELACIONES DE FASE) Y
SEÑALES DE AUDIO REAL.

La primera prueba consiste en aplicar un tono de audio de 310 Hz y una amplitud de 0 dB, correspondiente a la frecuencia del espectro que observaremos en la barra siete del display LED. Tanto en la barra correspondiente como en el espectrograma, deberíamos tener 0 dB. La amplitud de la frecuencia 620 Hz (segunda armónica del tono de 310 Hz) está atenuada 30 dB. A continuación, aplicamos un tono de frecuencia de 170 Hz (correspondiente a la barra siete del display LED) y una amplitud de -20 dB, y en el espectrograma deberíamos observar ese mismo valor de amplitud. Por último, aplicando un tono de 3350 Hz y una amplitud de -10 dB en la entrada del bloque analógico, deberíamos obtener un valor aproximado igual en la salida, barra quince. Estas mediciones se tendrían que realizar para el resto de las frecuencias correspondientes a cada barra.

TERMINACIÓN PROFESIONAL

Por tratarse de un instrumento de medición electrónico, es recomendable colocar el AE en el interior de un gabinete. Además de las operaciones mecánicas relacionadas con la instalación del AE, vamos a necesitar identificar su frente. Entonces, podemos diagramar el frente con Eagle, dibujarlo con el editor vectorial de código abierto Inkscape, que podemos descargar desde <http://inkscape.org>, e imprimirlo en un papel adhesivo de buena calidad.

El **rango dinámico** de nuestro analizador es de aproximadamente -30 dB, y es la relación, expresada en dB, de la amplitud de señal más grande respecto de la amplitud de la señal más pequeña cuando se presentan de manera simultánea en la entrada del analizador de espectro que permite medir una señal pequeña con un cierto grado de certeza. El analizador de



Si las condiciones de instalación del AE requieren separar el bloque analógico de la placa principal, podríamos utilizar este PCB.

espectro digital utiliza una arquitectura que digitaliza una señal en el dominio del tiempo y utiliza técnicas de procesamiento digital de la señal (DSP) para implementar la Transformada rápida de Fourier (FFT) y mostrarnos la señal original en el dominio de la frecuencia. Si bien nuestro analizador de audio se caracteriza por la simplicidad del hardware utilizado, la arquitectura basada en FFT tiene algunas desventajas frente a otras utilizadas para construir analizadores de espectro en términos del rango de frecuencias, la sensibilidad y el rango dinámico.

Por último, para verificar el funcionamiento correcto de la **matriz de LEDs**, vamos a probar cada segmento de modo individual, conectando una fuente con la tensión y la polarización adecuada; luego, comprobamos el funcionamiento de cada barra y por finalizar, el funcionamiento de la matriz completa. En este caso, es conveniente intercalar un instrumento para verificar la corriente que necesitan los 400 LEDs. Los requerimientos de corriente se encuentran entre 700 y 1200 mA para tensiones de alimentación continua entre 5 y 12 V, obviamente más elevados que el conjunto bloque analógico y bloque digital, cuyo requerimiento es de 100 mA para una alimentación continua de 5 V.

Respecto del software escrito en lenguaje C, antes del funcionamiento permanente

TÓPICOS DE MEDICIONES



Para ajustar nuestro analizador de espectro de audio, utilizamos instrumentos de alta calidad para asegurarnos que funciona de acuerdo con el diseño original.

Podemos realizar pruebas adicionales, utilizando el mismo generador de señales y el osciloscopio/analizador virtual (multi instrumento), mediante onda cuadrada y onda triangular para conocer la respuesta en fase del filtro. En ambos casos tendremos que configurar tanto la amplitud como la frecuencia de la onda. Cuando aplicamos una onda no sinusoidal en la entrada, un desfase igual a cero hace que se mantenga a la salida del filtro la forma de onda que aplicamos en su entrada. Por ejemplo, si en la entrada aplicamos una onda cuadrada, que tiene una frecuencia fundamental y armónicos, y si suponemos que la frecuencia fundamental y los diez primeros armónicos (los más importantes) se encuentran dentro de la banda pasante (entre 0 Hz y f_c en Hz) del filtro pasa bajos, la señal de salida será aproximadamente igual a la onda cuadrada que aplicamos en la entrada.

del AE, debemos testear el software tanto en la conversión A/D, el procesamiento FFT y el control del encendido del display LED. La herramienta gratuita de Microchip, MPLAB C30, es adecuada para esto ya que depura y compila el código para el dsPIC. Por otra parte, el software gratuito dsPICworks, un sistema de procesamiento de señal de propósito general, nos facilita distintas funciones DSP para manipular secuencias de datos en tiempo discreto y ejecutar las operaciones de procesamiento digital más comunes, entre ellas, la Transformada rápida de Fourier (FFT). En la guía de usuario de este software, que descargamos desde el sitio de Microchip en www.microchip.com, encontramos una amplia descripción de cómo implementar y verificar el procesamiento de señal realizado mediante FFT con dsPICworks, un software que ha sido diseñado para ofrecernos una interfaz sencilla y sumamente intuitiva.

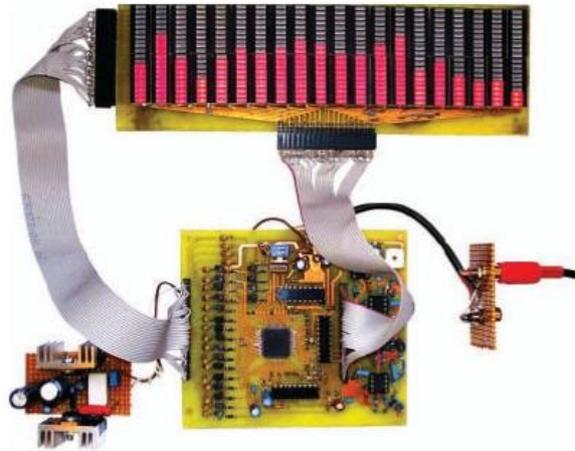
Conclusiones

El concepto de diseño original, que nos ha conducido a través de todo el proyecto, ha sido construir un analizador de espectro digital en tiempo real y para frecuencias de audio capaz de procesar el espectro de estas señales.

Seleccionamos un **dsPIC de 16 bits** de la familia 30F de Microchip por las ventajas que aporta un chip especializado en DSP frente a la alternativa de microcontroladores de uso general y porque existe una multiplicidad de librerías que facilitan el uso del **dsPIC30F6012A**.

Durante el proceso de diseño y construcción del instrumento, aprendimos a utilizar software especializado en el diseño de filtros activos FilterLab, software de diseño CAD para implementar tanto la placa principal como una placa alternativa para la sección analógica; conocimos las bases de software para procesar señales digitales, dsPICworks, y comprendimos la necesidad de utilizar

GENERAMOS TODA UNA GAMA DE
APLICACIONES MUY INTERESANTES
SI DISEÑAMOS UNA INTERFAZ
PARA CONECTAR EL AE AL PUERTO
USB DE UNA PC.



▲ **Montaje final del prototipo del analizador de espectro. Observamos la fuente de alimentación a la izquierda de la placa principal.**

un entorno de desarrollo especializado: la herramienta gratuita de Microchip, MPLAB. También experimentamos en el diseño y la configuración de una matriz de 20 x 20 LEDs.

Es necesario considerar la versión del compilador MPLAB C30 por utilizar, porque con algunas versiones el software no funciona. Podemos mejorar el rendimiento del dsPIC incrementando la velocidad hasta el límite sin olvidar controlar la temperatura en el interior del semiconductor, ya que si es muy elevada podría ocasionar inestabilidad en el funcionamiento del dsPIC o, directamente, su destrucción. En este sentido es válido el razonamiento opuesto, observar el funcionamiento del dsPIC si ajustamos la velocidad de funcionamiento a la mitad del valor máximo y analizar si tenemos alguna pérdida en el rendimiento.

Como en todo diseño, podemos mejorar las prestaciones del AE luego de evaluar su funcionamiento. Por ejemplo, podríamos reemplazar la matriz de 400 LEDs por un display LCD de alta resolución. Así, mediante el uso de tres filtros pasa bajos antialiasing en lugar de los dos que empleamos en el montaje y efectuando las modificaciones adecuadas en el software, estaríamos en condiciones de ampliar la cantidad de bandas de frecuencia a 32, 64, 128, 256 o 512 y en tiempo real. Otra alternativa sería diseñar una interfaz de salida para conectar, mediante USB, el analizador de espectro a una PC. Es probable que mejoremos el rango dinámico en unos pocos dB mediante algunas modificaciones en el software. Por último, podríamos recurrir a los mismos principios de diseño para implementar otras aplicaciones, solo libradas a la imaginación y motivación del lector.

PRÓXIMA ENTREGA



Conectividad por cable

EN LA SIGUIENTE CLASE CONOCEREMOS LOS CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA CONECTIVIDAD POR CABLE. VEREMOS LOS PROTOCOLOS TCP/IP Y LOS ESTÁNDARES ASOCIADOS. TAMBIÉN ANALIZAREMOS EL ESTÁNDAR USB Y APLICACIONES ÚTILES.



TÉCNICO en ELECTRÓNICA

CONCEPTOS FUNDAMENTALES Y PRÁCTICA PROFESIONAL

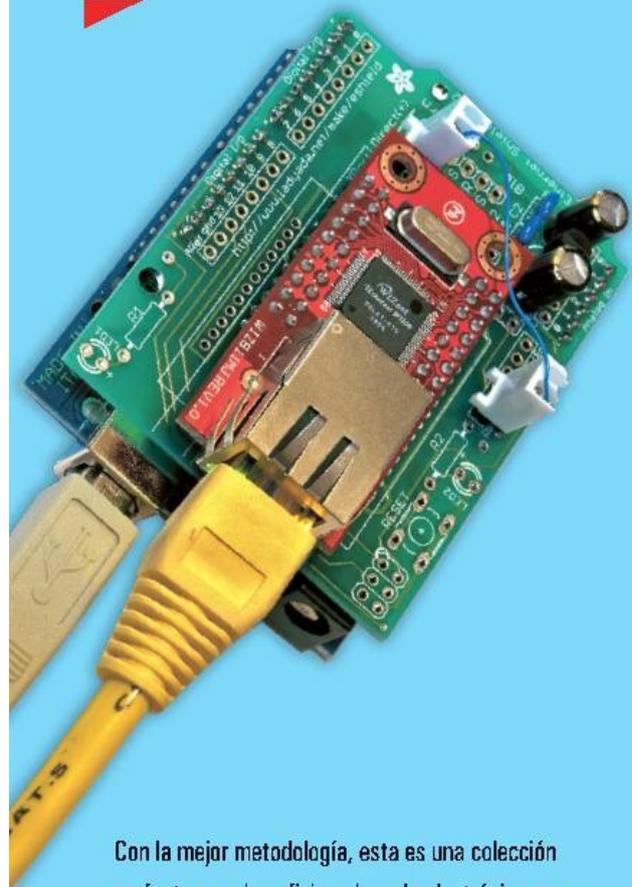


PROFESORES EN LÍNEA
profesor@redusers.com

SERVICIOS PARA LECTORES
usershop@redusers.com

SOBRE LA COLECCIÓN

CURSO VISUAL Y PRÁCTICO QUE BRINDA CONCEPTOS Y CONSEJOS NECESARIOS PARA CONVERTIRSE EN UN TÉCNICO EXPERTO EN ELECTRÓNICA. LA OBRA INCLUYE RECURSOS DIDÁCTICOS COMO INFOGRAFÍAS, GUÍAS VISUALES Y PROCEDIMIENTOS REALIZADOS PASO A PASO PARA MEJORAR EL APRENDIZAJE.



Con la mejor metodología, esta es una colección perfecta para los aficionados a la electrónica que deseen profesionalizarse y darle un marco teórico a su actividad, y para todos aquellos técnicos que quieran actualizar y profundizar sus conocimientos.

CONTENIDO DE LA OBRA

15/24

- 1 ▲ INTRODUCCIÓN A LAS REDES INFORMÁTICAS
- 2 ▲ PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA
- 3 ▲ EL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA
- 4 ▲ CORRIENTE CONTINUA
- 5 ▲ CORRIENTE ALTERNA
- 6 ▲ DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS
- 7 ▲ CONSTRUCCIÓN DE CIRCUITOS
- 8 ▲ PROYECTOS: LUCES AUDIORÍTMICAS Y MICRÓFONO FM
- 9 ▲ DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS
- 10 ▲ SIMULACIÓN DE CIRCUITOS EN LA PC
- 11 ▲ ELECTRÓNICA DIGITAL Y COMPUERTAS LÓGICAS
- 12 ▲ TÉCNICAS DIGITALES APLICADAS
- 13 ▲ MICROPROCESADORES Y MICROCONTROLADORES
- 14 ▲ MICROCONTROLADORES PIC
- 15 **PROYECTO: ANALIZADOR DE ESPECTRO CON PIC**
- 16 ▼ CONECTIVIDAD POR CABLE
- 17 ▼ CONECTIVIDAD INALÁMBRICA
- 18 ▼ DISPLAYS
- 19 ▼ SENSORES Y TRANSDUCTORES
- 20 ▼ PROYECTO: MODIFICADOR DE VOZ
- 21 ▼ FUENTES DE ALIMENTACIÓN
- 22 ▼ PLATAFORMAS ABIERTAS
- 23 ▼ PLATAFORMA ARDUINO
- 24 ▼ PROYECTO: SISTEMA DE TELEMETRÍA CON ARDUINO



9 789871 949144

00015



www.reduserspremium.blogspot.com.ar