



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A201

## **Diseño e implementación de un grabador digital multifunción de 4 canales**

Carlos J. Becker<sup>(a)</sup>,  
Ezequiel Mignini<sup>(b)</sup>,

(a) Estudiante de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. Riobamba 245 bis, Rosario, Argentina. E-mail: carlosbecker@gmail.com.

(b) Estudiante de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. Riobamba 245 bis, Rosario, Argentina. E-mail: ezequielmignini@gmail.com.

### **Abstract**

A four channel digital audio portable recorder was designed and implemented. Fourier spectral real-time analysis is also supported. The system is based on Linux running on an AVR32-based microprocessor. Possible sample rates and resolution are 24 bit 96 kHz and 16 bit 48 kHz. Recording is saved to a flash SD card. Development was built upon the ATNGW100 evaluation board. Battery autonomy is over two hours and a half in recording mode.

### **Resumen**

Se diseñó y construyó un grabador portátil de audio de cuatro canales, capaz de realizar la transformada de Fourier en tiempo real. El sistema se basa en el sistema operativo Linux, el cual corre sobre un microprocesador de arquitectura AVR32. Las frecuencias de muestreo de audio y resoluciones posibles son 24 bit 96 kHz y 16 bit 48 kHz. Los datos digitalizados son almacenados en una tarjeta de memoria SD. El desarrollo se realizó sobre la placa de evaluación ATNGW100 y posee una autonomía de grabación de más de dos horas y media al ser alimentado con baterías.

## 1 Introducción

El trabajo consiste en el diseño y construcción de un grabador digital de audio de cuatro canales, incluyendo la posibilidad de visualizar el análisis espectral de dichas señales en tiempo real.

Es de interés tener un aparato portátil que permita grabar ensayos, recitales e ideas musicales en forma rápida con una buena calidad de sonido.

Como ventaja frente a los grabadores ya disponibles comercialmente, el nuestro brinda la posibilidad de calcular y visualizar el espectro de la señal a grabar en tiempo real, información de gran utilidad a la hora del análisis de señales.

Dentro de las posibles aplicaciones se encuentran

- Grabación de música en vivo
- Grabación de señales para su posterior análisis en PC
- Análisis de la respuesta en frecuencia de un ambiente, de un equipo o dispositivo.

En la tabla 1 se comparan las características de grabadores existentes en el mercado de similares prestaciones.

**Tabla 1.** Comparaciones entre diferentes productos ya existentes

	Cantidad de canales	Entrada	Resolución	Formato de grabación	Capacidad y medio grabación	Otros
Zoom H4	Grab: 2 Reprod: 4	2 XLR/Jack	24/16 bit 48/96 kHz	Wav/ MP3	SD hasta 16 GB	-2 mics electrec X/Y -Incluye efectos
M-Audio Micro TrackII	Grab: 2 Reprod: 2	- 2 TRS 1/4" - TRS 1/8"	16/24 bit 44.1/48/88.2/96 kHz	Wav/ MP3	Compact Flash	-Mic. electret
Tascam DR-1	Grab: 2 Reprod: 2	2 1/8" stereo 1 1/4" stereo	24 bit 44.1/48 kHz	Wav/ MP3	SD hasta 4GB	-incluye filtros -2 mics electrec

## 2 Especificaciones generales

### 2.1 Caso de estudio y especificación

La idea principal es utilizar un sistema digital para el procesamiento de las señales. Esto implica la necesidad de convertir magnitudes analógicas en digitales y vice-versa. Como primer punto se propone muestrear las señales analógicas a una tasa máxima de 96 kHz y una resolución de 24 bit. No siempre es necesaria dicha calidad por lo que se provee la opción 48 kHz/16 bit. Esto implica una gran cantidad de datos a manipular por unidad de tiempo, por lo que se requiere un microprocesador o procesador digital de señales (DSP) capaz de adquirir, procesar y entregar la información necesaria a los periféricos de salida, es decir,

display, amplificador de auriculares y la memoria. Luego de investigar varios procesadores de fabricantes diferentes se decidió utilizar el microprocesador AT32AP7000 de la familia AVR32 de Atmel. Se trata de un núcleo de 32 bit capaz de ejecutar instrucciones a 150 MHz, el cual posee algunas características importantes detalladas a continuación.

- Posee un convertor analógico digital (DAC) de 16 bit integrado
- Soporta protocolo I2S o similar
- Es capaz de correr un sistema Linux

Cabe aclarar que, más allá de no tratarse de un DSP, la arquitectura AVR32 posee algunas rutinas propias de los DSP.

Una importante ventaja para la elección de este microprocesador es que Atmel provee una placa de desarrollo económica denominada ATNGW100. La misma cuenta con ciertas características que reducen la cantidad de hardware adicional requerida en nuestro proyecto, como ser:

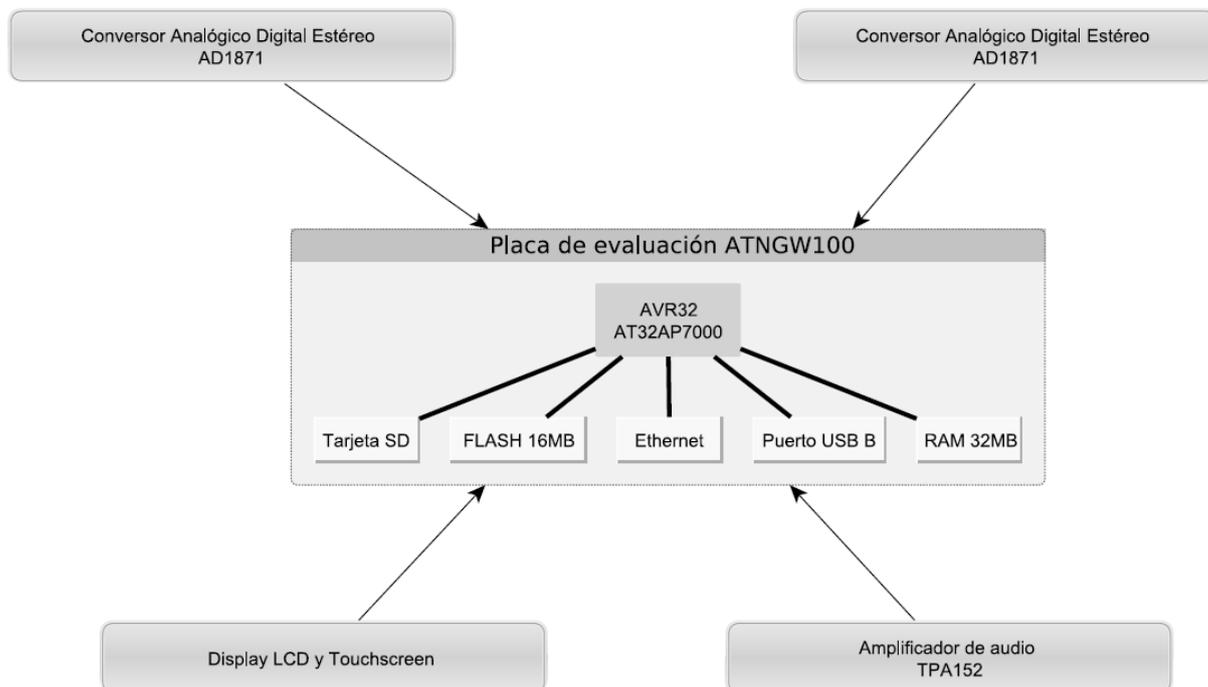
- Conector para tarjeta de memoria flash SD
- Conector para interfase USB
- Pines para expansión de las conexiones
- Conector serie RS232
- Conectores RJ45 para red ethernet

Como se mencionó anteriormente el microprocesador puede ejecutar Linux. La placa de evaluación ATNGW100 viene provista con un kernel de Linux cargado en la memoria flash de la misma como también el sistema de archivos y los programas de usuario necesarios para su correcto funcionamiento. Todo este conjunto de aplicaciones utiliza aproximadamente 14 MB de los 16 MB disponibles de memoria no volátil. Por otra parte Atmel provee actualizaciones del mismo en su sitio web, las cuales pueden ser cargadas a través de la memoria SD a través de ethernet, puerto serie o JTAG. La posibilidad de utilizar este sistema operativo no sólo facilita el desarrollo de ciertas partes del sistema sino que también garantiza y simplifica el mantenimiento, portabilidad y extensibilidad del mismo.

Como hardware adicional es necesario contar con un convertor analógico digital de dos canales que cumpla con las características de muestreo mencionadas anteriormente. Encontramos que el convertor AD1871 de Analog Devices se adapta a dichos requerimientos. Este integrado transmite el audio digitalizado a través de un bus I2S o similar, lo que lo hace fácilmente interconectable con el AT32AP7000.

Por otra parte deben incluirse en el diseño dispositivos para el manejo del grabador y la visualización del análisis de los datos. Para esto hemos optado por un visor de cristal líquido monocromático de tipo gráfico con sensor táctil o *touchscreen*, lo cual nos permite reducir el tamaño final del dispositivo.

En la figura 1 se presenta un diagrama de bloques simplificado del grabador.



**Figura 1.** Diagrama en bloques del sistema completo

### 3 Sistema base

#### 3.1 AT32AP7000

El microprocesador AT32AP7000 se basa en la arquitectura AVR32 y es capaz de ejecutar instrucciones a 150 MHz, logrando performance cercanas a los 1.2 DMIPS/MHz. AVR32 es una arquitectura de 32 bit. RISC diseñada para aplicaciones en sistemas embebidos<sup>1</sup> de bajo costo, con énfasis particular en bajo consumo de energía, alta densidad de código y alta performance.

Dentro de sus instrucciones también encontramos algunas propias de DSP, lo que lo hace especialmente apto para nuestro grabador digital ya que también se busca poder realizar la transformada rápida de Fourier (FFT).

El microprocesador AT32AP7000 implementa, entre otros periféricos y controladores, una Unidad Manejadora de Memoria (MMU), controlador de SDRAM y SRAM, controlador de tarjeta SD, Ethernet y un puerto de dispositivo USB 2.0.

En cuanto a interfaz de audio, el AT32AP7000 posee periféricos para comunicación I2S y un DAC de 16 bit especialmente diseñado para audio. Estos módulos nos permiten comunicarnos con el convertor AD externo y reproducir audio en estéreo respectivamente.

#### 3.2 Placa ATNGW100

El AT32AP7000 es un microprocesador, y como tal requiere de ciertos componentes externos para su correcto funcionamiento, como memoria SDRAM, memoria no volátil y fuentes reguladas de 3,3 V y 1,8 V entre otros.

<sup>1</sup> Un sistema embebido es un sistema informático de uso específico construido para realizar una o más funciones dedicadas.

Dado el encapsulado BGA256 de este procesador y las altas frecuencias que maneja en los bus de datos y controlador Ethernet, el diseño de una placa adecuada es complejo costoso ya que nos vemos obligados a placas multicapa de seis o más capas.

Afortunadamente Atmel comercializa una placa de diseño de referencia llamada AT32NGW100 o simplemente NGW100, la cual nos brinda el AT32AP7000 junto a los siguientes componentes o periféricos:

- 32 MB SDRAM
- 8 MB Flash
- 8 MB DataFlash
- puerto serie RS232
- 2 puertos Ethernet
- puerto USB 2.0
- zócalo para tarjeta de memoria SD
- Pines de expansión

### **3.3 Herramientas GNU (GNU Toolchain)**

La placa ATNGW100 es capaz de correr el sistema operativo Linux, versión de núcleo o kernel 2.6. Esto representa una gran ventaja al momento de desarrollar el software necesario para cumplir con las funcionalidades propuestas.

Las herramientas de desarrollo básicas son el compilador, linker y librerías GNU, conocidas generalmente como GNU Toolchain. En el caso de la librería C se utiliza la denominada uClibc, dedicada especialmente a plataformas limitadas en memoria.

## **4 Conversor AD**

Para capturar el audio a grabar y digitalizarlo es necesario un conversor analógico digital capaz de realizar dicha tarea.

Luego de investigar varias opciones concluimos que el conversor AD1871 de Analog Devices cumple ampliamente con nuestras expectativas.

El mismo es de arquitectura Sigma Delta y provee la posibilidad de muestrear en 24 bit y hasta 96 kHz en estéreo (dos canales). Para ampliar la cantidad de canales analógicos se utilizarán 2 conversores AD1871.

La comunicación con el microprocesador se realiza a través de un bus similar a I2S para el audio y un canal SPI para los comandos de control.

## **5 Conversor DA**

Como se mencionó anteriormente, el microprocesador AT32AP7000 posee un conversor digital-analógico de 16 bit estéreo. El mismo es de tipo Sigma-Delta.

A pesar de que el grabador es capaz de convertir señales analógicas utilizando 24 bit, nos pareció conveniente hacer uso del DAC interno para evitar utilizar componentes adicionales, ya que el único objetivo de esta salida de audio es verificar la correcta grabación de las señales adquiridas a través del conversor AD.

La naturaleza del conversor sigma-delta trae aparejado que su salida sea de tipo digital y deba ser acondicionada a través de un filtro pasa bajos para reconstruir la señal analógica.

Una vez reconstruida, dicha señal es adaptada en impedancia para proveer al usuario final de una salida de tipo auricular, apta para monitorear la grabación o reproducir audio desde el dispositivo de almacenamiento.

## 6 Visualizador de cristal líquido (LCD)

El grabador se comunica con el usuario a través de una pantalla de cristal líquido sobre la cual se ha montado un dispositivo de tipo pantalla táctil o touchscreen de tipo resistivo. De esta manera se obtiene una interfase simple e intuitiva con la cual resulta sencillo familiarizarse.

La pantalla utilizada es de tipo monocromático de 128x64 pixeles y tamaño 72x40mm. La misma posee LEDs de luz de fondo o backlight para facilitar la visualización sobre el mismo.

## 7 Energía y alimentación

Al tratarse de un equipo portátil, nuestro grabador debe ser capaz de funcionar sin necesidad de estar conectado a la red eléctrica durante algunas horas.

Esto implica la utilización de baterías para alimentar a todos los componentes del sistema.

### 7.1 Criterios de bajo consumo

Más allá de los requerimientos funcionales del grabador, la utilización de una fuente de energía limitada como las baterías trae aparejado una serie de nuevos criterios para optimizar el uso de la energía disponible.

Dentro de los mismos se encuentran:

- Control de la luz de fondo de la pantalla (backlight): dado el importante consumo de la misma es necesario desactivarla cuando no sea necesaria. Esto se logra desenergizando los LEDs correspondientes luego de cierto tiempo de inactividad sobre la pantalla táctil.
- Conversores analógico digitales: los integrados AD1871 proveen un modo de bajo consumo, comandado a través del puerto SPI. De esta manera los conversores sólo salen de dicho modo cuando es necesario adquirir datos de audio.
- Amplificador de salida: sólo se energiza el circuito de amplificación de salida si se detecta la presencia del auricular en el conector TRS.

Otro punto muy importante a tener en cuenta es que la arquitectura AVR32 fue pensada especialmente para aplicaciones de bajo consumo. Es imperativo controlar lo más estrictamente posible el uso de CPU ya que el consumo es proporcional al mismo, entrando el microcontrolador en estado 'idle' cuando su procesamiento no es requerido. Dicho modo de operación garantiza la menor latencia a interrupciones y eventos externos e internos, reduciendo el consumo a un valor mínimo.

### 7.2 Ahorro de energía

La placa de Atmel utilizada para este desarrollo fue diseñada principalmente para demostrar las funcionalidades de red del microprocesador AP7000. Por esta razón no fue particularmente pensada para aplicaciones de bajo consumo. Esto no nos permite optimizar totalmente los recursos dentro de la misma placa.

En especial, los elementos de mayor consumo son los transceiver de ethernet (PHY) y el transceiver de RS232 (MAX232). Otro consumo, aunque sea pequeño, que resulta innecesario es el proveniente del LED denominado "Power", conectado directamente a los 3,3 V de alimentación. Luego de desactivar vía software los PHY hemos podido verificar que el consumo se ve reducido en aproximadamente 60 mA.

Sin duda la mejor opción es desarrollar una placa específica para este proyecto que no sólo cumpla las funcionalidades necesarias que cubre la NGW100 sino que también incluya el resto de los circuitos ya comentados necesarios para el proyecto.

## **8 Transformada Rápida de Fourier (FFT)**

### **8.1 Motivación**

Como se mencionó anteriormente, es deseable que el grabador permita realizar y visualizar la transformada de Fourier en tiempo real. Esto resulta muy útil a la hora de analizar la respuesta en frecuencia de un ambiente, hacer un análisis previo de una señal a grabar y, si es necesario, modificarla mediante la inserción de algún filtro o ecualizador, para poder lograr así una correcta captura de la misma.

### **8.2 Implementación práctica**

La transformada FFT es un algoritmo eficiente para calcular la transformada discreta de Fourier (DFT) y su inversa.

El cálculo FFT tiene en cuenta ciertas particularidades de la transformada de Fourier para acelerar el cómputo de la misma. Un ejemplo de ellas es la simetría presente para señales temporales puramente reales.

Todas las transformadas FFT operan sobre señales temporales cuya cantidad de puntos es de  $2^n$  donde  $n$  es un número natural positivo. En el caso de los algoritmos radix- $m$  la FFT sólo puede operar con cantidades de puntos  $m^n$ .

La aplicación de algoritmos radix-2, radix-4 o inclusive un híbrido entre ellos, depende del grado posible de optimización dada la arquitectura del procesador donde se desea realizar la FFT.

Atmel provee un conjunto de librerías desarrolladas para GCC (GNU C Compiler) y optimizadas especialmente para la arquitectura AVR32. Se trata de una FFT de punto fijo de  $4^n$  puntos, dado que utiliza el algoritmo radix-4.

Es posible también elegir entre FFT de punto fijo de 16 bit o 32 bit, siendo la primera la más rápida.

## **9 Conclusión**

Se han alcanzado los objetivos planteados, cumpliendo con las metas propuestas y dejando abierto el desarrollo y agregado de nuevas funciones.

El grabador construido resulta de fácil manejo, robusto y proporciona una buena calidad de audio, obteniendo valores de ruido en el conversor Analógico Digital de -92 dBA a fondo de escala.

Por otra parte posee una autonomía de grabación aproximada de 3 horas con 6 pilas AA Ni-Mh de 2200 mAh, lo que nos permite sobrepasar el tiempo máximo que permite grabar una tarjeta SD de 2 GB con la mínima resolución posible en nuestro grabador.

A continuación se proponen mejoras y funciones adicionales capaces de ampliar los posibles campos de acción de este equipo.

- Agregado de un micrófono de respuesta plana y preamplificador para determinar el tiempo de reverberación de un ambiente a partir de la grabación de ruido rosa emitido dentro del mismo.
- Diseño de un sistema de alimentación basado en un conversor DC-DC Step Up (fuente conmutada) con el fin de alimentar el grabador completo con sólo dos pilas AA.

- Agregado de filtros digitales para el procesamiento de las señales que están siendo grabadas.
- Implementación de efectos tipo reverb, chorus y delay, los cuales son muy utilizados en el audio profesional.
- Posibilidad de grabación en un formato comprimido, como por ejemplo MP3 u Ogg Vorbis con el fin de poder aumentar el tiempo máximo de grabación cuando no se requiera alta calidad.

En el caso de los filtros digitales Atmel provee un conjunto de librerías capaz de realizar convolución y otras funciones matemáticas útiles en el área DSP, optimizadas en especial para la arquitectura AVR32.

Cabe aclarar también que la grabación en un formato comprimido como MP3 u Ogg Vorbis requiere de las librerías correctas optimizadas para AVR32 o al menos para punto fijo, ya que las que se encuentran disponibles abiertamente hacen uso de operaciones de punto flotante lo que las hace inviables para el proceso en tiempo real dada la ausencia de una unidad FPU en el AP7000. Sin embargo no se descarta la posibilidad de colocar algún chip externo capaz de codificar alguno o ambos de dichos formatos.

### Referencias

<http://www.atmel.com>.

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc32003.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc32003.pdf) . “AT32AP7000 Preliminary”

Pohlmann, Ken C. “Principios de audio digital”. McGraw-Hill Profesional, Madrid, España.

Bovet, Daniel P.; Cesati, Marco. “Understanding The Linux Kernel”. O'Reilly, Ciudad, País.

Corbet, J; Rubini, A; Kroah-Hartman, G. “Linux Device Drivers”. O'Reilly, Ciudad, País.

<http://www.atmel.com>. “AVR32120: AVR32 ABDACaudio bitstream DAC driver example”.

Formato de Archivo WAV <http://ccrma.stanford.edu/courses/422/projects/WaveFormat/>