

---

# Analizador de espectro de baja frecuencia utilizando hardware libre

## Low frequency analyzer using free hardware

Santiago Manzano<sup>1</sup>, Freddy Carrillo, Patricio González, Marco Jurado Juan Pablo Pallo  
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato,  
Ambato, Ecuador.

### Resumen

El presente artículo evalúa la implementación de un equipo modular para la adquisición y procesamiento de señales, que pueden ser analizadas en el dominio del tiempo y la frecuencia, utilizando hardware y software libre, logrando de esta manera un dispositivo de bajo costo al alcance de los estudiantes y aficionados a la Electrónica. El dispositivo construido utiliza un conversor análogo/digital MCP3008 que trabaja a una frecuencia de muestreo de 200 KHz y para la adquisición de los datos se ejecuta un programa en el sistema de la placa Raspberry Pi, capturando 200 muestras por canal; esta información es almacenada en archivos de texto y procesada por el programa principal para ser presentada en la pantalla del dispositivo. La interfaz de usuario está construida en Python, lo que permite tener una flexibilidad en el desarrollo de nuevas herramientas que puedan ser manejadas por parte de los usuarios. Sin embargo el equipo trabaja a una frecuencia de muestreo máxima de 18,32KHz, debido a que el kernel del sistema de la placa Raspberry Pi ejecuta múltiples procesos comprometiendo la velocidad de adquisición de datos.

**Palabras clave:** Analizador de espectro, Raspberry PI, Software libre, kernel, bajas frecuencias.

### Abstract

This article evaluates the implementation of a modular equipment for the acquisition and signal processing, which can be analyzed in the time domain and the frequency, using free hardware and software, thus achieving a device inexpensive available to students and electronic hobbyists. The built device uses an analog / digital converter MCP3008 that working at a frequency sampling of 200 KHz and data acquisition program running on the system board Raspberry Pi, capturing 200 samples per channel; this information is stored in text files and processed by the main program to be presented on the screen of the device. The user interface

Recibido: 15 enero 2016; revisión aceptada 17 marzo 2016

<sup>1</sup>Correspondiente al autor: victorsmanzano@uta.edu.ec

is built in Python, which allows flexibility in the development of new tools that can be handled by users. However the team works to a maximum sampling frequency of 18,32KHz, because the system kernel plate Raspberry Pi running multiple processes compromising the speed of data acquisition.

**Keywords:** Emotional education, emotional intelligence, family, teacher training.

---

## Introducción

El uso de equipos de medición es imprescindible para la realización de prácticas de laboratorio en las carreras de ingeniería en Electrónica o Telecomunicaciones, siendo los más utilizados: multímetros y osciloscopios con la función de análisis espectral.

Un Osciloscopio es una herramienta que permite visualizar señales variables en el dominio del tiempo, determinando directamente el período, voltaje de la señal y componentes de ruido en el tiempo. Existen osciloscopios con la función de análisis espectral que permiten medir la magnitud de una señal en función de su frecuencia. Su uso principal es calcular la potencia del espectro conocido y visualizar los armónicos existentes (Miranda, 2002, Maiores, 2006, Pelander, 2008).

La necesidad de contar con esta clase de equipos en el campo de la Electrónica y las Telecomunicaciones es fundamental, ya que facilitan la realización de trabajos prácticos. Sin embargo el alto costo de los equipos de laboratorio impide que los estudiantes los adquieran, por ello deben dirigirse a los laboratorios de sus respectivas universidades para poder realizar sus prácticas, y deben ajustarse a los horarios disponibles para el uso de estos dispositivos (Poerwanto, 2006).

Los aspectos antes mencionados muestran la necesidad de desarrollar un Analizador de Espectro orientado a estudiantes, cuyo costo

sea relativamente bajo comparado con las opciones disponibles en el mercado.

El objetivo del presente artículo es el diseño y la implementación de un equipo completamente modular de bajo coste, que permite modificaciones de hardware o software; dotando al estudiante una herramienta de trabajo que sea personalizable en base a sus necesidades.

Se han realizado diversos trabajos investigativos, con el objetivo de desarrollar Analizadores de Espectro:

En 1977, en Quito-Ecuador, en la Escuela Politécnica Nacional, se realizó el diseño e implementación de un equipo Analógico para realizar el Análisis Espectral empleando una tarjeta analógica y un monitor TRC, actualmente este diseño se considera obsoleto por sus limitadas prestaciones (Doring, 1977).

En 1996, en México, Universidad Tecnológica de la Mixteca, el equipo desarrollado alcanzó una frecuencia de operación de 62,17 KHz, utilizando una tarjeta de adquisición de datos con conexión de puerto paralelo (Hernández, 1996).

En el año 1999, en Italia, en la Politécnica de Milano, se propuso un Analizador de Espectro con reducción de ruido y técnica de correlación cruzada en dos canales. Posee una resolución en el orden de los Pico Voltios por Hertz, su rango de operación va desde

los 10 mHz hasta los 10 MHz, puede ser acoplado a sistemas de alta o baja impedancia (Sampietro, 1999).

En el año 2000, en Quito-Ecuador, en la Escuela Politécnica Nacional, se diseñó e implementó un analizador de espectro utilizando una tarjeta de audio para la captura de datos, logrando alcanzar una frecuencia de muestreo de 44.1KHz, actualmente el software y hardware se encuentran discontinuados (Merchán, 2000).

En 2002, en Quito-Ecuador, en la Escuela Politécnica Nacional, utilizando un procesador DSP se desarrolló un analizador de espectro portátil que alcanzó los 20 KHz, el equipo tiene un costo aproximado de 400 dólares (Vilatuña, 2002).

En el mismo Año, en Polonia en el Instituto de Radioelectrónica de la Universidad de Warsaw, se diseñó e implementó de un analizador de espectro virtual, utilizando una tarjeta de adquisición de datos, el equipo se diseñó enfatizando su exactitud y velocidad. La interfaz fue desarrollada completamente en LabView (Bilski, 2002).

En 2005, en España, Universidad Complutense de Madrid, el equipo implementado posee una frecuencia de operación de 20 KHz, cuyo propósito es emular de una manera realista la forma en que el oído humano capta los sonidos; su aplicación es experimental, así que no está pensada para el uso general (Sánchez, 2005).

En 2006, en Guatemala, Universidad de San Carlos, empleando un procesador DSP se alcanzó los 20 KHz, el sistema utiliza el puerto RS232 para realizar la comunicación, cabe recalcar que los computadores y demás dispositivos no poseen puertos RS232 actualmente. En el mismo año se diseñó e implementó un sistema para el Análisis

Espectral Sísmico, según su autor el sistema puede ser adaptado a otras áreas de medición (Guarango, 2014).

En 2008, en México, en el Instituto Politécnico Nacional del Distrito Federal, se diseñó e implementó un Analizador de Espectro empleando un FPGA, la frecuencia de operación máxima es de 3 KHz, está orientado a la detección de armónicos en las redes eléctricas (Soberanis, 2008).

En el año 2009, en China, en la Conferencia Internacional de Educación Tecnología y Entrenamiento, se presentó un Osciloscopio Virtual experimental basado en un tarjeta de audio orientado a la enseñanza, el dispositivo está desarrollado en LabVIEW utilizando la tarjeta de audio integrada en el computador como fuente de información, este diseño tiene entre sus ventajas: rendimiento, facilidad de utilización, flexibilidad, y es adecuado para la docencia universitaria. Su principal desventaja es que requiere la licencia LabVIEW (Chen, 2009).

Los proyectos consultados utilizan para su implementación hardware y software actualmente discontinuado o de pago, por lo tanto replicarlos es difícil y costoso, además requiere de equipo adicional para su implementación. En conclusión estos equipos no son diseñados para ser reparados o modificados fácilmente.

## Metodología

El presente proyecto se enmarcó en investigaciones del tipo: documental bibliográfico, aplicado o experimental técnica, enfocadas en la aplicación de la información recolectada referente al problema. La metodología para el desarrollo del presente proyecto fue en primera instancia determinar el tipo de analizador de espectro a ser implementado, optando por tecnología

digital, así como en la elección del software libre para el desarrollo de los programas necesarios para el funcionamiento adecuado del analizador.

Se identificó las partes constitutivas del analizador digital como son: el conversor análogo – digital, el software para calcular la transformada rápida de Fourier, el hardware para computación, los periféricos de entrada y la interfaz gráfica para la visualización de los espectros de señales. Después de la selección de los diferentes componentes tanto en hardware como en software, se procedió a la implementación y pruebas de funcionamiento para verificar su versatilidad como un dispositivo de analizador de espectros de señales.

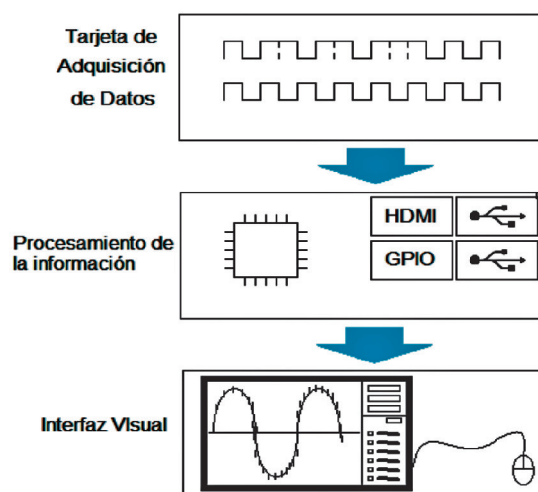
El procesamiento de datos consiste en utilizar la información recolectada en las pruebas de funcionamiento con el dispositivo parcialmente finalizado, para determinar los rangos de frecuencia soportados por el equipo y experimentalmente se determinó que el límite de velocidad es de 9.6 MHz para tener una transmisión adecuada de datos. Este proceso permite conocer los errores en el diseño y posteriormente ejecutar las respectivas correcciones.

## Resultados

### Diseño de la arquitectura del dispositivo

El analizador digital de espectros está basado en el esquema de un analizador dinámico de señales, en el cual por medio de la transformada rápida de Fourier se obtienen las componentes de frecuencia de la señal. Para ello se requiere de 3 etapas: adquisición de datos (emplea un conversor análogo - digital), procesamiento de información (calcula la FFT, administra la comunicación

con periféricos) y la interfaz visual (muestra los resultados obtenidos y permite manipularlos). En la figura 1 se indica el esquema general del analizador digital de espectro.



**Figura 1.** Esquema de bloques del analizador de espectro.

El equipo está construido como osciloscopio y analizador de espectros de bajo costo, por esta razón no consta de funciones especiales para realizar un análisis exhaustivo de las señales, ya sea en el dominio del tiempo o la frecuencia; por lo tanto es comparable a un equipo con herramientas básicas y baja frecuencia.

### Descripción de etapas del analizador de espectro

#### 1) Adquisición de datos

El computador Raspberry Pi es la parte central del dispositivo, seleccionado por poseer un amplio respaldo por la comunidad de software libre, por lo tanto está más documentada y desarrollada en comparación con placas similares como: UDOO, PcDuino u ODROID. Además maneja la comunicación con todos los módulos, con interfaces estándar como: USB, HDMI y ETHERNET; también posee pines de

propósito general llamados “GPIO”, que están directamente conectados al procesador central, siendo vulnerable a cortocircuitos y subidas de voltaje.

Para la tarjeta de adquisición de datos se utiliza el conversor análogo - digital MCP3008 que posee: 8 canales, comunicación SPI, frecuencia máxima de 200KHz y opera desde los 2.7V hasta 5V. Alternativamente se puede utilizar Arduino en reemplazo de la tarjeta de adquisición de datos, simplemente conectándolo al puerto USB dedicado y empleando el programa opcional con esta función.

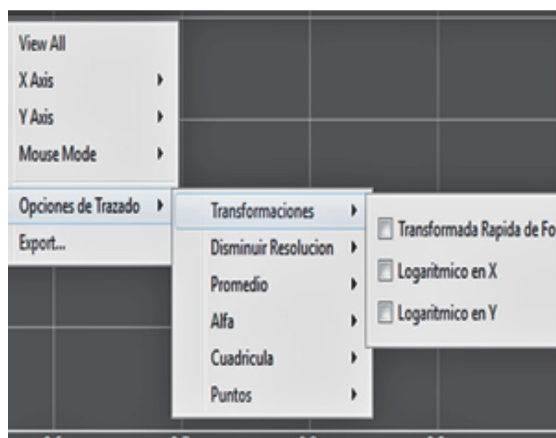
## 2) Procesamiento de información

La información es recolectada utilizando un programa escrito en C, que permite manejar el conversor análogo - digital para adquirir 200 muestras y almacenarlas en un archivo de texto por cada canal. El Programa principal está escrito en Python, por ser un lenguaje flexible, de fácil aprendizaje y posee una extensa cantidad de módulos que se encuentran bien documentados. El programa central utiliza la información de los archivos almacenados en la etapa de adquisición para realizar el trazado de la señal y emplear estos datos para el cálculo de la transformada rápida de Fourier, permitiendo visualizar señales que van desde 200 hasta 2000 puntos.

## 3) Interfaz Visual

La interface desarrollada utiliza el módulo PyQt de Python, permitiendo crear controles e interfaces funcionales. La ventana del programa principal puede ser manipulable con el objetivo de ajustarse a los requerimientos visuales del usuario. Además el área de trazado permite ampliar o reducir la visión de áreas específicas de la señal analizada empleando únicamente el mouse.

Al realizar el análisis en el dominio del tiempo se puede apreciar la amplitud de las señales y no requiere de controles para ajustarla, asimismo el análisis en el dominio de la frecuencia emplea la transformada rápida de Fourier para visualizar las componentes espectrales y la potencia de cada una de ellas; dicha función se activa al realizar clic derecho sobre el trazador y seleccionar en el menú las siguientes opciones “Opciones de Trazado, Transformaciones, FFT”, (ver Figura 2).



**Figura 2.** Selección de la opción FFT en el trazador.

Las señales se visualizan correctamente dentro del rango de 100Hz hasta 8KHz, las componentes de frecuencia por encima de este rango se aprecian como armónicos.

Los resultados obtenidos se evaluaron en los 2 modos de funcionamiento:

## 4) Osciloscopio

Se realizó una comparación de una señal proveniente de un sensor de corriente SCT 013, mostrada en el osciloscopio de la marca OWON, teniendo como resultado la Figura 3, indicando una similitud en el trazado de los dos equipos Figura 4.



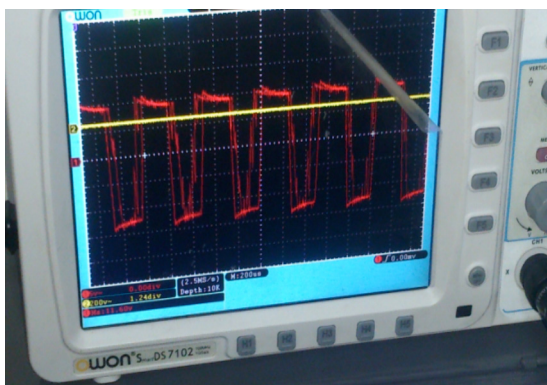


Figura 3. Osciloscopio OWON.

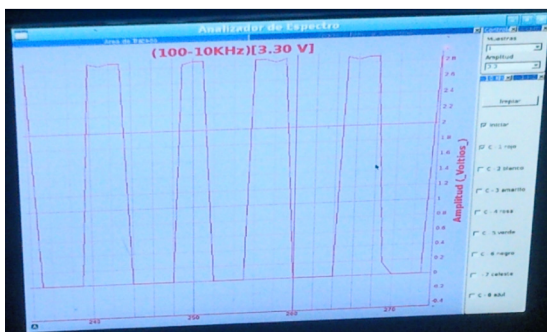


Figura 4. Analizador de espectro propuesto. Comparación del osciloscopio con el analizador.

## 5) Analizador de espectro

Para corroborar los resultados obtenidos de la Transformada Rápida de Fourier, se compara un programa realizado en Matlab vs el analizador de espectro implementado, sobre una señal diente de sierra de 4KHz, con 300 muestras, obteniendo resultado similares en los dos casos Fig. 5. Fig. 6.

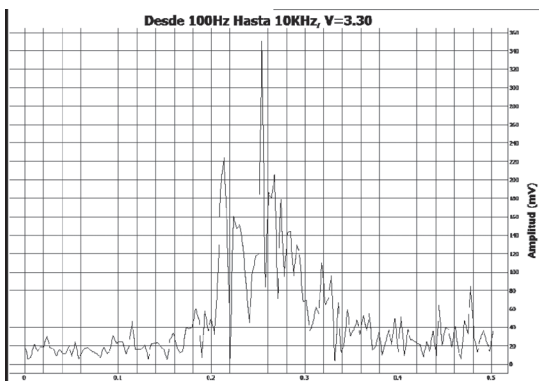


Figura 5. Transformada Rápida de Fourier en Matlab.

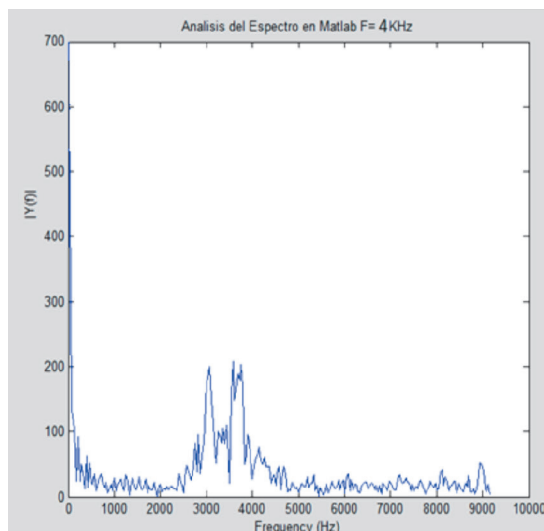


Figura 6. Transformada rápida de Fourier en equipo implementado. Comparación del cálculo entre el software desarrollado y Matlab.

## Discusión

El elevado costo y dificultad en la reparación de los analizadores de espectro y osciloscopios profesionales en el mercado, ha sido motivo del diseño e implementación de un analizador de espectro; utilizando materiales económicos, sin comprometer el rendimiento del equipo y permitiendo reparar o reutilizar de manera parcial o total el dispositivo en caso de cualquier percance. Con el propósito de brindar al estudiante en Ingeniería Electrónica, un dispositivo que pueda ser utilizado a lo largo de su formación académica.

Se plantea investigaciones futuras generadas con el desarrollo del proyecto, concernientes a mejorar el kernel de sistema operativo Linux, para adaptarlo al funcionamiento en la placa Raspberry Pi; y de este modo incrementar la velocidad de comunicación del puerto GPIO, que actualmente se encuentra subutilizado. Existen muy pocos proyectos dedicados al desarrollo de un kernel Linux que permita la ejecución en tiempo de real de ciertos procesos.

## Conclusiones

Una vez culminada la implementación del dispositivo se puede determinar que el Conversor Análogo Digital MCP3008 trabaja a una frecuencia de muestro máxima de 200KHz, donde no se puede trabajar a ese valor debido a que el kernel de Linux de la tarjeta Raspberry Pi ejecuta múltiples procesos simultáneamente que reducen la velocidad hasta el 9,16%. Además la frecuencia de muestreo no está relacionada con la velocidad de write de la Tarjeta SD, debido a que los datos de conversión se almacenan en la memoria RAM y procesados al programa principal en procesos independientes. Finalmente al desarrollar o instalar nuevos programas, es preferible utilizar otra tarjeta SD para evitar disminuir el rendimiento del equipo y que afecte la frecuencia máxima de operación del dispositivo.

## Literatura Citada

- Bilski, P. y Winiecki, W. (2002). Virtual spectrum analyzer based on data acquisition card. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions*, 51 (1) 82-87.
- Chen, A. y Liu, J. (2009). A Kind of Virtual Oscilloscope Used in Experiment Teaching Based on Sound Card and LabVIEW. In *Education Technology and Training, 2009. ETT'09*. Second International Conference on. Pp. 118-121. IEEE.
- Doring, J. (1977). *Analizador de Espectro de Frecuencias*. Tesis de Ingeniería, Capítulo 1 y 2: Generalidades y Diseño, Escuela Politécnica Nacional del Ecuador.
- Guarango Pillco, G. F. y Lazo Naula, K. M. (2014). *Diagnóstico de fallos en el proceso de combustión en motores alternativos de encendido por compresión utilizando el método de análisis de ruido*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Hernández, I. (1996). *Analizador Dinámico de Señales*. Tesis de Ingeniería Capítulo 3: Adquisición y presentación de datos. Pp: 49-70, Universidad Tecnológica de la Mixteca México. Disponible en: [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/3708.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/3708.pdf)
- Maiores, J., Fernández, P. y Salaverría, M. A. Á. (2004). Utilización de técnicas hipermedia en el desarrollo de una unidad didáctica para el aprendizaje y manejo del osciloscopio en el primer curso de Ingeniería Industrial. In *Congreso TAAE*.
- Merchán Gavilanez, P. A. (2000). *Sistema de adquisición de datos para convertir a un computador personal en un analizador de espectros* (Doctoral dissertation, Quito: EPN).
- Miranda, J. M., Sebastián J. L. y Sierra M. Margineda J. (2002). *Ingeniería de Microondas—Técnicas experimentales*. Prentice Hall.
- Pelander, A., Ristimaa, J., Rasanen, I., Vuori, E. y Ojanperä, I. (2008). Screening for basic drugs in hair of drug addicts by liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry. *Therapeutic drug monitoring*, 30 (6), 717-724.
- Poerwanto, C. (2006). *Spectrum analyzer menggunakan metode fast fourier transform dengan media soundcard* (Doctoral dissertation, Petra Christian University).
- Sampietro, M., Fasoli, L. y Ferrari, G. 1999. Spectrum analyzer with noise reduction by

cross-correlation technique on two channels.  
*Review of scientific instruments*, 70 (5), 2520-2525.

Sánchez, A. J., de Miguel Morate, A. y Bernal, J. V. (2005). *Sistemas Informáticos*. Curso 2004-2005.

Soberanis Garfias, Alejandro. (2008). *Diseño y Construcción de un Analizador de Espectros usando una plataforma basada en Fpga*. (Doctoral dissertation).

Vilatuña Arellano, F. J. (2002). *Analizador de espectros utilizando la transformada rápida de Fourier en un microprocesador DSP*. (Doctoral dissertation, Quito: EPN, 2002).