

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

**MASTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIONES EN REDES MÓVILES – TICRM**

**TESIS DE MASTER**

**“ESTUDIO DE SOLUCIONES LOW-COST PARA OSCILOSCOPIOS DE  
PC”**

Jose Joaquín Veiras García

Febrero 2014

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
INTRODUCCIÓN .....	7
1. ESTADO DEL ARTE.....	8
1.1. Orígenes del osciloscopio. ....	8
1.2. Funcionalidades de los equipos actuales.....	12
1.3. Antecedentes .....	16
1.4. Descripción del problema .....	16
2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE ENTRADA (SONDAS) .....	17
2.1. Sonda 1.....	17
2.2. Sonda 2.....	18
2.3. Sonda 3.....	19
3. Generador de señales.....	21
3.1. Tipos de generadores.....	21
3.2. Generadores de bajo coste .....	22
4. APLICACIONES.....	24
4.1. Spike Hound Oscilloscope .....	24
4.2. Oscilloscope de Matlab (softscope).....	25
4.3. Neurobiology SoftScope V2.4 .....	27
5. SIMULACIÓN Y PRUEBAS .....	29
5.1. Comparativa entre sondas.....	29
5.1.1. Esquema de pruebas .....	30
5.1.2. Comparativa emisión -recepción .....	31
5.1.2.1. Sonda 1.....	31
5.1.2.1.1. Señal cuadrada .....	32
5.1.2.1.2. Señal rampa o dientes de sierra .....	35
5.1.2.1.3. Señal sinusoidal .....	37
5.1.2.2. Sonda 2.....	39
5.1.2.2.1. Señal cuadrada .....	40
5.1.2.2.2. Señal rampa o dientes de sierra .....	42
5.1.2.2.3. Señal Sinusoidal.....	44

5.1.2.3.	Sonda 3.....	46
5.1.2.3.1.	Señal cuadrada .....	47
5.1.2.3.2.	Señal rampa o dientes de sierra .....	49
5.1.2.3.3.	Señal Sinusoidal .....	51
5.1.3.	Comparativa entre señales recibidas .....	53
5.1.3.1.	Comparativa entre señales cuadradas .....	53
5.1.3.2.	Comparativa entre señales sinusoidales.....	54
5.2.	Comparativa entre aplicaciones .....	56
5.2.1.	Aplicación 1: Spike Hound Oscilloscope.....	57
5.2.2.	Aplicación 2: Oscilloscope de Matlab.....	59
5.2.3.	Aplicación 3: Neurobiology SoftScope .....	61
6.	TRABAJOS FUTUROS .....	63
7.	VIABILIDAD ECONÓMICA.....	64
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
8.1.	Tabla comparativa sobre las sondas:.....	65
8.2.	Tabla comparativa sobre las aplicaciones software: .....	65
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	66
10.	ANEXOS.....	67
10.1.	Proyectos similares .....	67

# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Ilustración del método Joubert's .....	8
Fig. 2 - Perspectiva del Hospitalario Ondogarh .....	9
Fig. 3 - Osciloscopio fotográfico .....	10
Fig. 4 - Selector de disparo en el Tektronix 551 .....	11
Fig. 5 – Osciloscopio Analógico .....	12
Fig. 6 – Osciloscopio Digital .....	13
Fig. 7 - Conversor A/D externo crear un Osciloscopio mediante PC .....	14
Fig. 8 - Sonda para crear un Osciloscopio mediante la tarjeta de sonido de un PC .....	15
Fig. 9 - Esquema Sonda 1 .....	17
Fig. 10 - Montaje Sonda 1 .....	18
Fig. 11 - Esquema sonda 2 .....	19
Fig. 12 - Montaje sonda 2 .....	19
Fig. 13 - Esquema sonda 3 .....	20
Fig. 14 - Montaje Sonda 3 .....	20
Fig. 15 - Diagrama de bloques de un generador de funciones analógico .....	21
Fig. 16 - Diagrama de bloques de un generador de funciones digital .....	22
Fig. 17 - Generador de señal en Soundcard Oscilloscope .....	23
Fig. 18 - Licencia Soundcard Scope 1.44 .....	24
Fig. 19 - Software Spike Hound Oscilloscope .....	25
Fig. 20 - Interfaces detectados en el arranque de la aplicación Oscilloscope .....	26
Fig. 21 - Interfaz de usuario de Oscilloscope .....	27
Fig. 22 - Interfaz de usuario de Neurobiology SoftScope .....	28
Fig. 23 - Soundcard Oscilloscope: Generación y representación de la señal generada .....	30
Fig. 24 - a) cuadrada .....	31
Fig. 25 - b) Dientes de Sierra (rampa) .....	31
Fig. 26 - c) Sinusoidal .....	31
Fig. 27 – Señal cuadrada 1 KHz 2Vpp – dominio del tiempo .....	32
Fig. 28 – Recepción Sonda 1: Señal cuadrada – dominio del tiempo .....	32
Fig. 29 - Recepción Sonda 1: Señal cuadrada - Dom. Frecuencia .....	33
Fig. 30 - Señal Generada: Cuadrada 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 8 KHz	34
Fig. 31 - Sonda 1: Cuadrada - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 8 KHz .....	34
Fig. 32- Señal Generada: Cuadrada 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz	34
Fig. 33 - Sonda 1: Cuadrada - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz .....	34

Fig. 34 - Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. Tiempo .....	35
Fig. 35 – Recepción Sonda 1: Señal D. de sierra – dominio del tiempo .....	35
Fig. 36 - Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia.....	36
Fig. 37- Sonda 1: D. de sierra - Dom. Frecuencia .....	36
Fig. 38 - Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log(dB).....	36
Fig. 39- Sonda 1: D. de Sierra - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz .....	36
Fig. 40- Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. frecuencia - zoom 1KHz .....	37
Fig. 41- Sonda 1: D. de Sierra - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz .....	37
Fig. 42- Señal Generada: Sinusoidal 1 KHz 2Vpp - Dom. tiempo.....	38
Fig. 43- Sonda 1: Sinusoidal - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz .....	38
Fig. 44- Señal Generada: Sinusoidal 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia.....	38
Fig. 45- Sonda 1: Sinusoidal - Dom. Frecuencia .....	38
Fig. 46- Señal Generada: Sinusoidal 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB).....	39
Fig. 47- Sonda 1: Sinusoidal - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB).....	39
Fig. 48 - Señal generada - sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia DB .....	55
Fig. 49- Sonda 1 - Señal sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia DB.....	55
Fig. 50 –Sonda 2 - Señal sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia DB.....	55
Fig. 51 - sonda 3 - Señal sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia DB.....	55



# INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar las diferentes alternativas para disponer de un osciloscopio basado en PC utilizando MATLAB, para que puedan ser entendidos, analizados y utilizados en colegios, universidades así como en las propias casas de cualquier estudiante o aficionado a la electrónica. También se elaborarán y analizarán los distintos circuitos de entrada o sondas con el objetivo de que puedan mejorar la calidad de las medidas realizadas.

Cabe resaltar la capacidad pedagógica de estas combinaciones de circuitos y software mediante los cuales los alumnos pueden comprender mediante la experimentación conceptos teóricos de diversas complejidades como por ejemplo la correspondencia ente las señales en el dominio del tiempo y en la frecuencia.

El presente trabajo ha sido llevado a cabo sin las comodidades presentes en un laboratorio de electrónica, quedando patente con ello la idoneidad del trabajo para la docencia y el autoaprendizaje y elevando las dificultades encontradas para su correcta elaboración.

# 1. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se realizará un resumen sobre el estado del arte de los osciloscopios en general y entrando más en profundidad en los osciloscopios basados en PC.

El osciloscopio es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. Es decir, permite analizar una magnitud física, transformándola en una imagen de la que se pueden obtener información representativa de la misma. En el eje vertical, (Y), representa el voltaje; mientras que el eje horizontal (X), representa el tiempo.

## 1.1. Orígenes del osciloscopio.

- Oscilogramas dibujados a mano

El método más antiguo de la creación de una imagen de una forma de onda era a través de un proceso laborioso y minucioso de la medición de la tensión o corriente de un rotor que gira en puntos específicos alrededor del eje del rotor, tomando nota de las mediciones tomadas con un galvanómetro. Al avanzar lentamente alrededor del rotor, una onda estacionaria se dibujaba en papel mediante el registro de los grados de rotación y la fuerza ejercida en cada posición.

Este proceso fue automatizado parcialmente por Jules François Joubert con el método paso a paso de la medición de forma de onda.

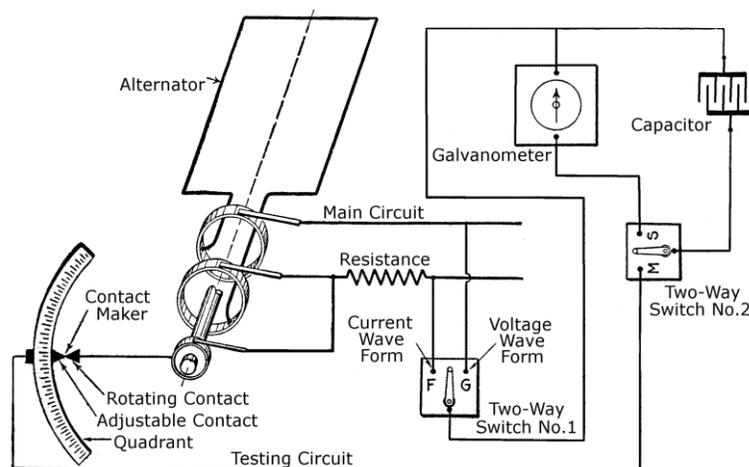
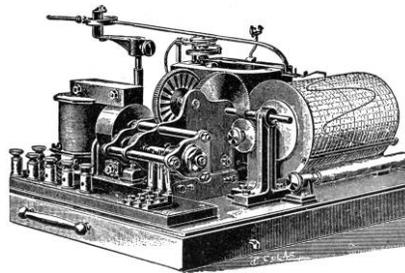


Fig. 1 - Ilustración del método Joubert's

- El Hospitalario Ondogarh

La siguiente evolución sería conocida como el Hospitalario Ondograph se basa en este método de medición de la forma de onda. Se carga automáticamente un condensador de cada 100 ciclos de la señal, y se descarga la energía almacenada a través de un galvanómetro de grabación, con cada carga sucesiva de los condensadores están adoptando desde un punto un poco más a lo largo de la onda. La forma de onda mediciones-Tales eran todavía como promedio durante muchos cientos de ciclos de onda, pero eran más precisos que los oscilogramas dibujados a mano).



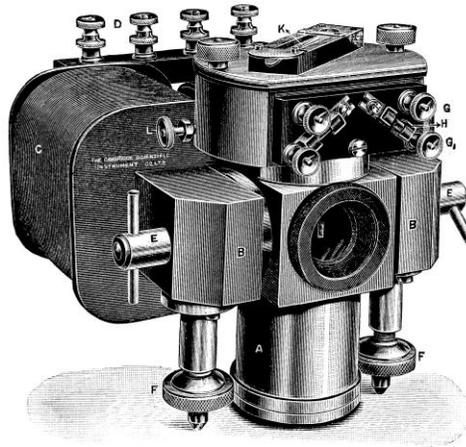
*Fig. 2 - Perspectiva del Hospitalario Ondogarh*

- Osciloscopio fotográfico

El tercer método se hizo con el desarrollo de la bobina móvil oscilógrafo por William Duddell que en los tiempos modernos también se conoce como un espejo del galvanómetro. Esto redujo el dispositivo de medición a un pequeño espejo que podía moverse a gran velocidad para que coincidiera con la forma de onda.

Con el objetivo de permitir la medición directa de ondas reales se necesitaba un dispositivo que se moviera más rápido. Eso desembocó en el desarrollo del oscilógrafo de bobina móvil, creado por William Duddell, actualmente se conoce como un galvanómetro de espejo. Esto redujo el dispositivo de medición a un pequeño espejo que se podía mover a altas velocidades, permitiendo así seguir formas de onda de mayor frecuencia.

Para realizar una medición, se dejaba caer una diapositiva fotográfica a través de un haz de luz y un rollo continuo de película de imágenes en movimiento se desplaza a través de la abertura para registrar la forma de onda en el tiempo. Como resultado se obtenían unas mediciones mucho más precisas que las soluciones basadas en papel utilizadas hasta entonces.



*Fig. 3 - Osciloscopio fotográfico*

- Osciloscopio de tubo de rayos catódicos (TRC)

Estos tubos tuvieron su origen en el siglo 19 e inicialmente se utilizaron para realizar demostraciones y exploraciones sobre la física de los electrones.

El osciloscopio de TRC fue inventado por Karl Ferdinand Braun aplicando una señal oscilante a las placas deflectoras cargadas eléctricamente en un TRC cubierto de fósforo. Dicho dispositivo era un elemento de laboratorio y utilizaba voltajes de entre 20 y 30 Kv.

En 1899 Jonathan Zenneck equipó un TRC con placas de formación de haz utilizando un campo magnético para manipular el trazado del haz.

A partir de ahí fueron apareciendo los primeros productos comerciales, el primero fue de la mano de General Radio, que gracias a VK Zworykin pone en el mercado un osciloscopio con un TRC permanentemente sellado y con emisor termoiónico (1931).

Sobre 1930 se empezaron a desarrollar los primeros equipos de doble Haz<sup>1</sup>, el primero realizado por la compañía británica ACCossor, utilizaba un haz dividido colocando una tercera plaza entre las placas de deflexión vertical. Dicho equipo fue ampliamente usado en la segunda guerra mundial para el desarrollo y mantenimiento de equipos de radar.

---

<sup>1</sup> Este método utiliza un TRC especial en el cual se conforman dos haces de electrones. La deflexión horizontal, es decir, el eje del tiempo es el mismo para ambos haces, esto lo hace con un conjunto común de placas de deflexión horizontal y una misma base de tiempo. La deflexión vertical la hace por medio de dos pares de placas de deflexión vertical.

- Osciloscopio de barrido sincronizado

El físico e industrial estadounidense Howard Vollum tras haber estado destinado en el cuerpo de comunicaciones del ejército americano y donde trabajo con radares de alta resolución, volvió a su ciudad natal, Portland y junco con M. J. Murdock funda la compañía Tektronix. Vollum fue el primer Presidente de la empresa e Ingeniero Director.

Teniendo en cuenta su experiencia, Tektronix se dedicó a la construcción de osciloscopios para la industria de la electrónica y de radio, fue la primera compañía en comercializar osciloscopios calibrados. En el año 1947 sale de la fábrica el primer osciloscopio comercial de la compañía (tipo 511) que utilizaba tubo de rayos catódicos, circuito de barrido con control de disparo y amplificadores de impulsos de banda ancha.

Los osciloscopios analógicos siguieron añadiendo funcionalidades y creciendo en año de banda hasta llegar a crear equipos de 1 GHz como el Tektronix 7104.

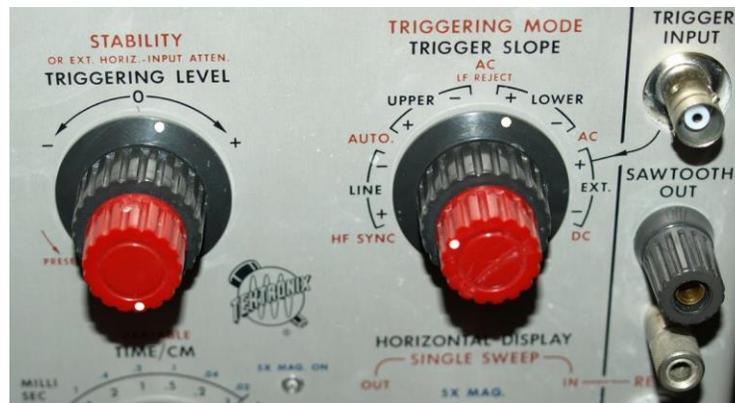


Fig. 4 - Selector de disparo en el Tektronix 551

- Osciloscopios digitales (DSO, por sus siglas en inglés)

El primero osciloscopio digital fue inventado por Nicolet Test Instrument con un conversor analógico digital de 1 MHz y 12 bits, cuyo destino era el análisis médico. El primer DSO de alta velocidad (100 MHz, 8 bits) fue inventado por Walter LeCroy, quien fundó LeCroy corporación, empresa que produjo equipos para el CERN y que actualmente sigue siendo una de las tres empresas de referencia en este mercado.

Empezaron a aparecer a partir de 1980 y poco se fueron haciendo presentes, la principal ventaja es que pueden almacenar eventos previos al disparo, además que se consiguen fabricar equipos más económicos y de menor tamaño. Hoy en día poseen increíbles anchos de banda llegando a los 33 Gbs (Serie 70000 de tektronix).

Todavía existen detractores de estos equipos ya que en el segmento de bajo coste muchos de estos equipos son utilizados por técnicos que echan de menos la facilidad de uso de los equipos analógicos, la pantalla con brillo variable (efecto escala de

grises) que permite distinguir de un vistazo las señales que caen fuera de los parámetros preestablecidos.

## 1.2. Funcionalidades de los equipos actuales

- Determinar directamente el periodo y el voltaje de una señal.
- Determinar indirectamente la frecuencia de una señal.
- Determinar que parte de la señal es DC y cual AC.
- Localizar averías en un circuito.
- Medir la fase entre dos señales.
- Determinar que parte de la señal es ruido y como varia este en el tiempo.

Un osciloscopio puede medir un gran número de fenómenos, es de los instrumentos más versátiles que existen y lo utilizan desde técnicos de reparación de televisores a médicos, ingenieros, etc.

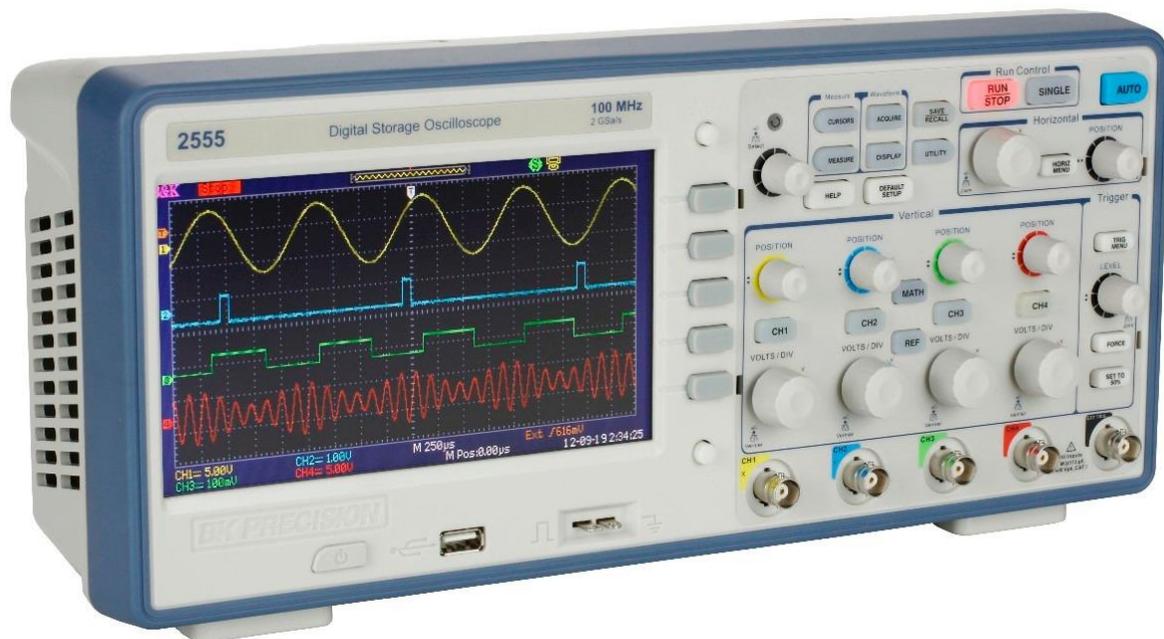
Tipos de Osciloscopios:

1. Analógicos: Utilizan señales continuas, fueron los primeros en comercializarse y típicamente usaban un tubo CRT para mostrar los resultados, tal y como se ve en la Fig. 5.



*Fig. 5 – Osciloscopio Analógico*

2. Digitales: Trabajan con señales discretas por lo que implementa una etapa previa para convertir las señales analógicas a digitales mediante un convertor A/D. El la Fig. 6, se puede ver un ejemplo de Osciloscopio digital de 100MHz



*Fig. 6 – Osciloscopio Digital*

Dentro de los digitales nos encontramos con la posibilidad de utilizar un PC para realizar parte de las funciones internas de un osciloscopio digital. Así tendremos:

- Osciloscopios de PC con convertidores A/D externos.

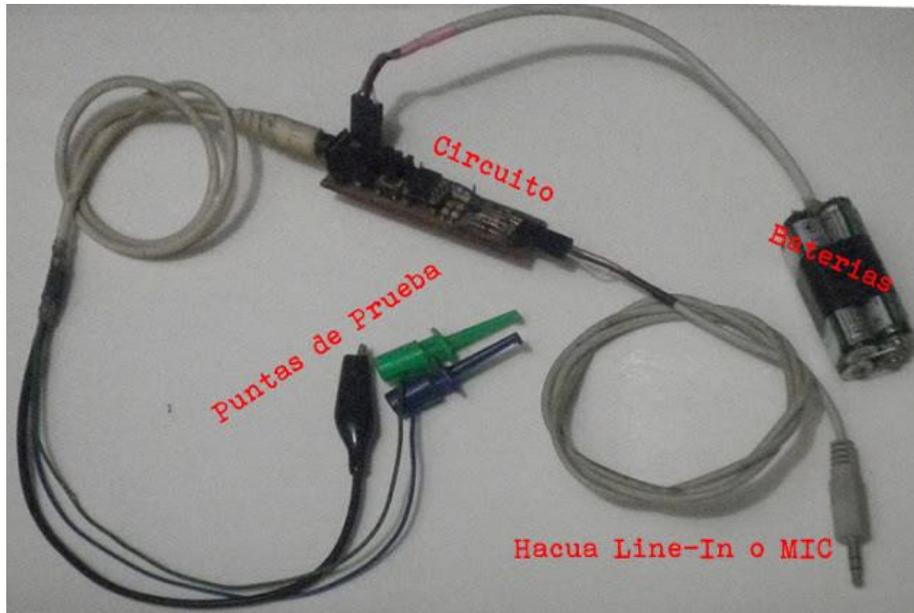


*Fig. 7 - Conversor A/D externo crear un Osciloscopio mediante PC*

- Osciloscopios de PC usando el conversor A/D interno de la tarjeta de sonido. Es uno de los tipos de osciloscopios más sencillos de implementar puesto que solo se necesita disponer de un software en el ordenador y una sonda de entrada. El objetivo de este trabajo es comparar los distintos programas software basados en Matlab<sup>2</sup> con capacidades suficientes para poder analizar señales eléctricas. Matlab hoy en día ofrece todo tipo de capacidades en el campo de la teoría de la señal y se ha convertido en una aplicación indispensable para muchas titulaciones universitarias así como en centros de investigación. Entre sus prestaciones básicas figuran: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de

<sup>2</sup> MATrix LABoratory

herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets). Matlab también posee un lenguaje de programación propio (lenguaje M).



*Fig. 8 - Sonda para crear un Osciloscopio mediante la tarjeta de sonido de un PC*

Una de las partes más crítica de cualquier osciloscopio es su propia sonda, ya que esta interactúa directamente con la señal que se pretende capturar

Tipos de sondas:

- Pasivas: más fiables y con menos ancho de banda. Construidas sin ningún componente activo (transistores y fuentes de alimentación). El diseño más común inserta una resistencia de  $9\text{ M}\Omega$  en serie con el extremo de la punta. La señal se transmite entonces desde la extremidad de la punta hasta la entrada del osciloscopio a través de un cable coaxial especialmente diseñado para minimizar la capacitancia y el efecto de ringing. El resistor sirve para minimizar la carga que la capacitancia del cable introduciría en el punto de prueba. En serie con la impedancia de entrada normal de  $1\text{ megohmio}$  del osciloscopio, el resistor de  $9\text{ megohmio}$  crea una divisor de tensión  $\times 10$ , por lo que a estas puntas se las conoce como puntas de baja capacitancia o puntas  $\times 10$  ("puntas por diez").
- Activas: muy buenas para medir señales rápidas, el rendimiento de las mismas mejora reduciendo la distancia. Emplean componente activo (transistores y fuentes de alimentación). En la mayoría de los casos, el elemento activo es un transistor de efecto campo (FET) en la forma de un pequeño amplificador, construido a partir de un FET, montado directamente dentro de la extremidad de la punta de prueba.

### 1.3. Antecedentes

Para poder analizar señales analógicas mediante una tarjeta de sonido tenemos varias limitaciones:

1. Supresión de corriente continua (DC), los circuitos de entrada de las tarjetas de sonido eliminan la componente continua con un condensador en serie.
2. Limitación de la tasa de muestras, típicamente una tarjeta de sonido realiza alrededor de 44100 muestras y según el teorema del muestreo de Nyquist, para que el proceso de recuperación de la señal original sea posible es necesario que cuando se ha realizado el proceso de muestreo, la frecuencia de muestreo o frecuencia del tren de impulsos haya sido de al menos **el doble que la mayor frecuencia presente en la señal a muestrear**. Si esto no se cumple, entonces las bandas laterales **se solapan** entre sí y la recuperación de la señal original será imposible. Por tanto las frecuencias máximas que podremos analizar se situarán sobre 20 KHz.

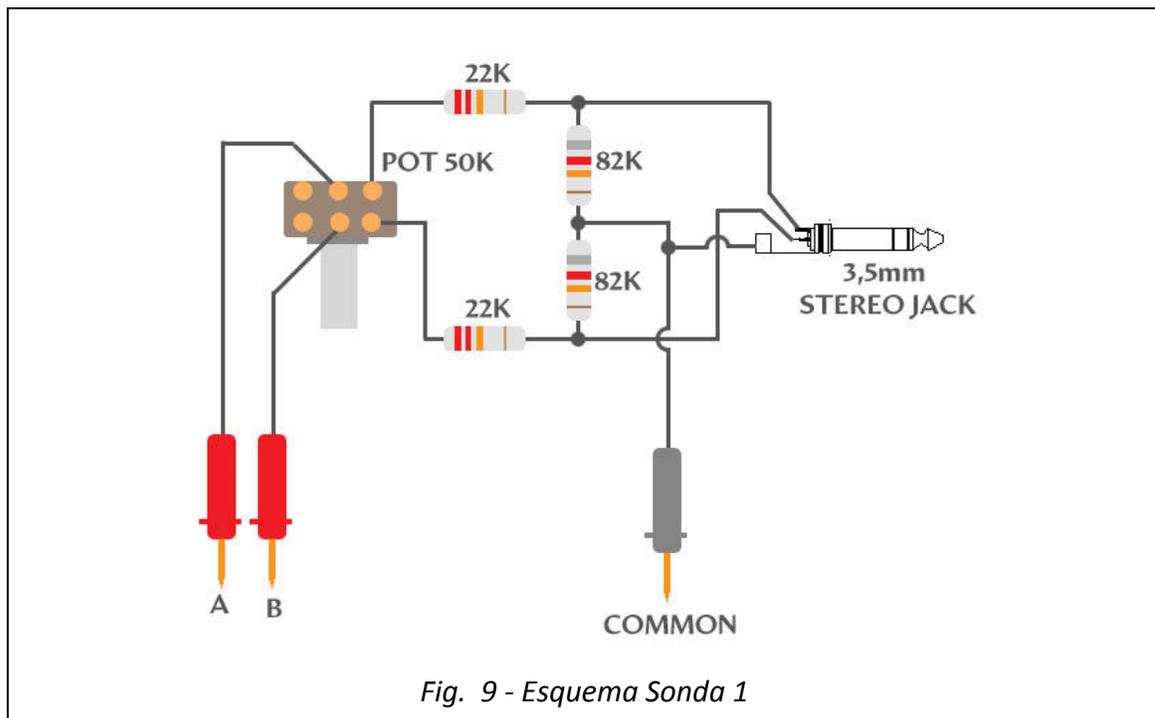
### 1.4. Descripción del problema

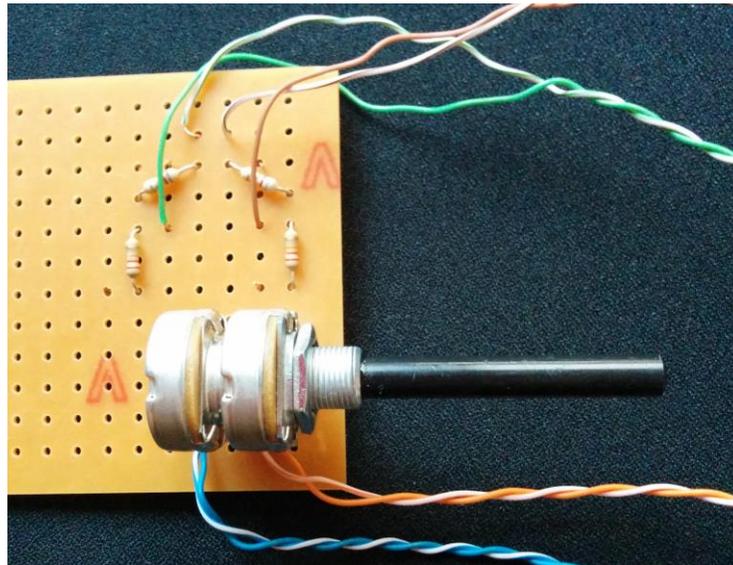
El objetivo es analizar las distintas funcionalidades y aplicaciones existentes basadas en Matlab para poder utilizar el PC como un osciloscopio, del mismo modo también se estudiarán los circuitos de acople de la señal al PC.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE ENTRADA (SONDAS)

### 2.1. Sonda 1

Es la más simple que vamos a analizar está formada únicamente por equipos resistivos. Posee un potenciómetro para adecuar el nivel de señal de los dos canales de forma simultánea. Es totalmente pasiva y presenta una impedancia de entrada ( $Z_o$ ) variable mediante el potenciómetro (POT) de 50K ohmios. El valor mínimo para  $Z_o$  es de 104K ohmios y el máximo 154K ohmios.



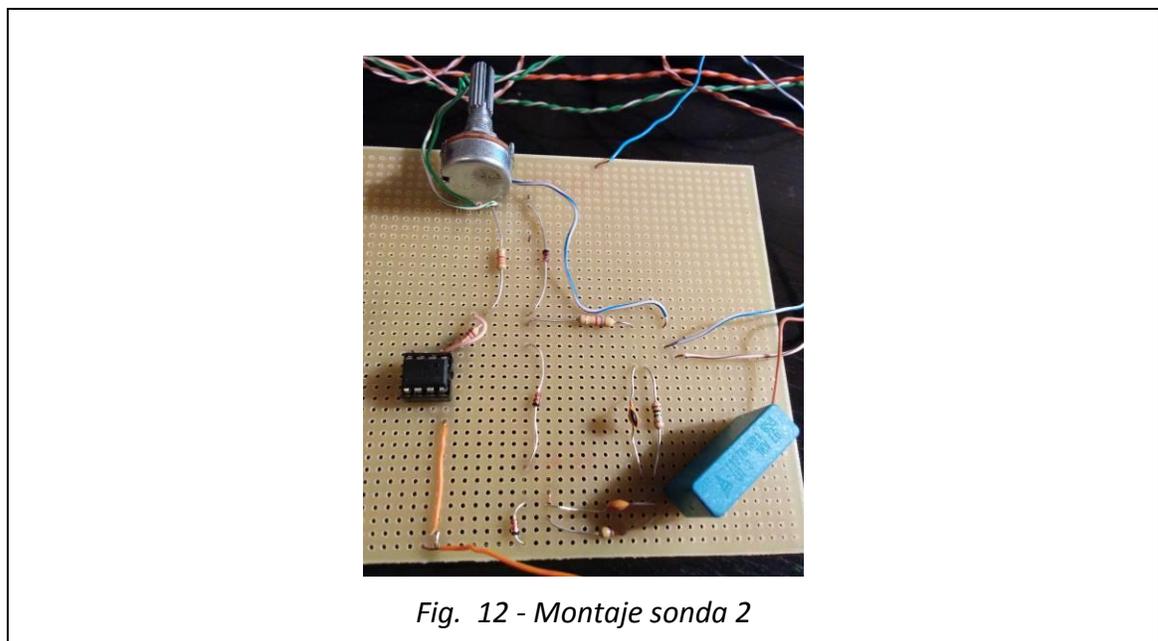
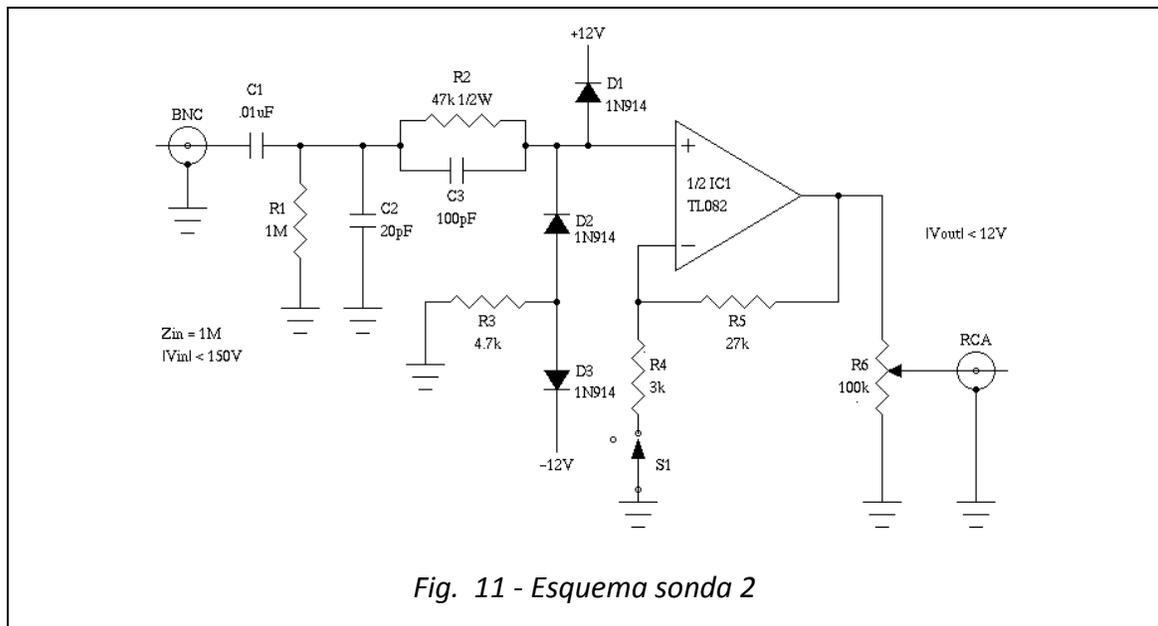


*Fig. 10 - Montaje Sonda 1*

El problema principal de esta sonda es que no evita que los equipos de medida afecten a la señal a medir siendo de muy baja calidad la señal resultante. Tampoco se puede configurar como una sonda normal para el valor unidad (x1) o para dividir la señal por 10 (x10).

## **2.2. Sonda 2**

Esta sonda presenta una alta impedancia de entrada que reduce la afectación del circuito de lectura a la medida realizada ( $Z_0=1M\Omega$ ), cuenta con una etapa de protección de hasta 150 voltios. La parte activa del circuito permite configurar para funcionar en modo x1 o x10. Finalmente tiene un potenciómetro para ajustar la potencia de la señal de salida.



### 2.3. Sonda 3

Se compone de un único componente activo, es el AOP TL082. Su función es adaptar la impedancia de la tarjeta de sonido y permitir tener una impedancia de entrada para realizar la lectura de la medida mucho más alta, reduciendo el error generado sobre la medida.

Finalmente lleva un circuito de protección formado por dos diodos leds que limitan la señal de entrada a 4 voltios a la tarjeta de sonido y dos condensadores que impiden que la corriente continua pueda dañar la propia sonda o la tarjeta de sonido.

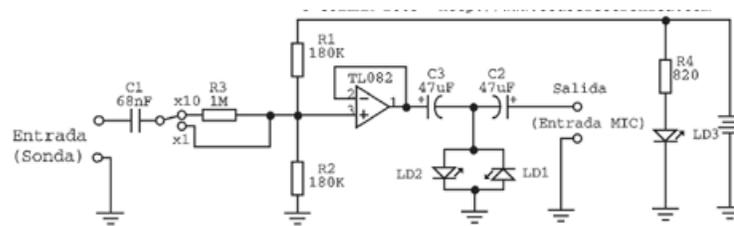


Fig. 13 - Esquema sonda 3

Aunque el circuito está pensado para pasar fácilmente de x1 a x10 por medio de un jumper en la implementación se sustituyeron por un interruptor.



Fig. 14 - Montaje Sonda 3

## 3. Generador de señales

### 3.1. Tipos de generadores

- Generadores de funciones analógicos

Utilizan un VCO para generar una forma de onda triangular de frecuencia variable. De esta se obtienen las formas de onda sinusoidal y cuadrada.

En la Fig. 15, se puede observar el esquema de bloques de este tipo de equipamiento:

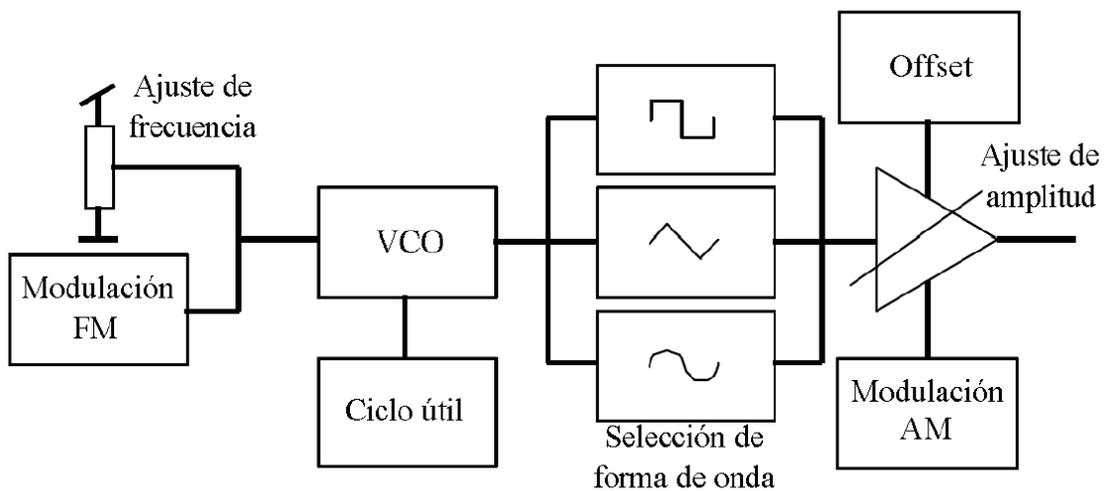


Fig. 15 - Diagrama de bloques de un generador de funciones analógico

- Generadores de funciones digitales

Utilizan un convertidor D/A para generar la forma de onda desde valores almacenados en una memoria. En la Fig. 16, se puede ver un esquema de un generador digital utilizando la técnica de síntesis directa digital (DSS).

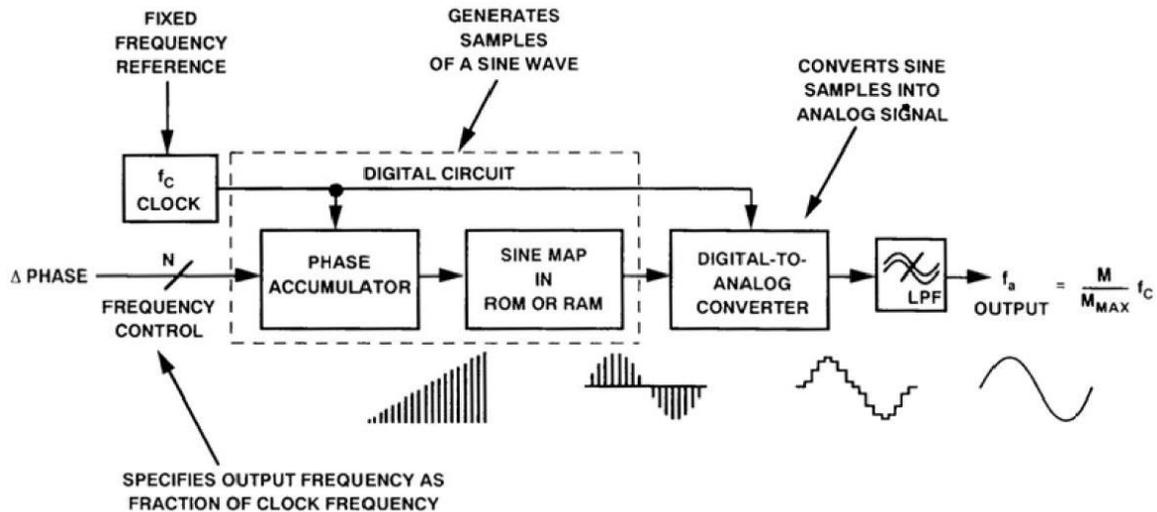


Fig. 16 - Diagrama de bloques de un generador de funciones digital

### 3.2. Generadores de bajo coste

Para llevar a cabo este proyecto utilizamos como generador un software denominado Soundcard Scope, que presenta las siguientes características:

- Permite analizar las mismas señales que genera.
- Permite aplicar filtros:
  - Paso alto
  - Paso bajo
  - Paso banda
- Especificar el ciclo de trabajo
- Señales permitidas, entre 0 y 10KHz:
  - Sinusoidal
  - Cuadrada
  - Triangular
  - Diente de sierra
  - Ruido blanco

En la siguiente figura Fig. 17, vemos este programa configurado para generar una señal, y como podemos llevarnos el generador a una ventana a parte podemos ver en el osciloscopio la propia señal sin distorsión.

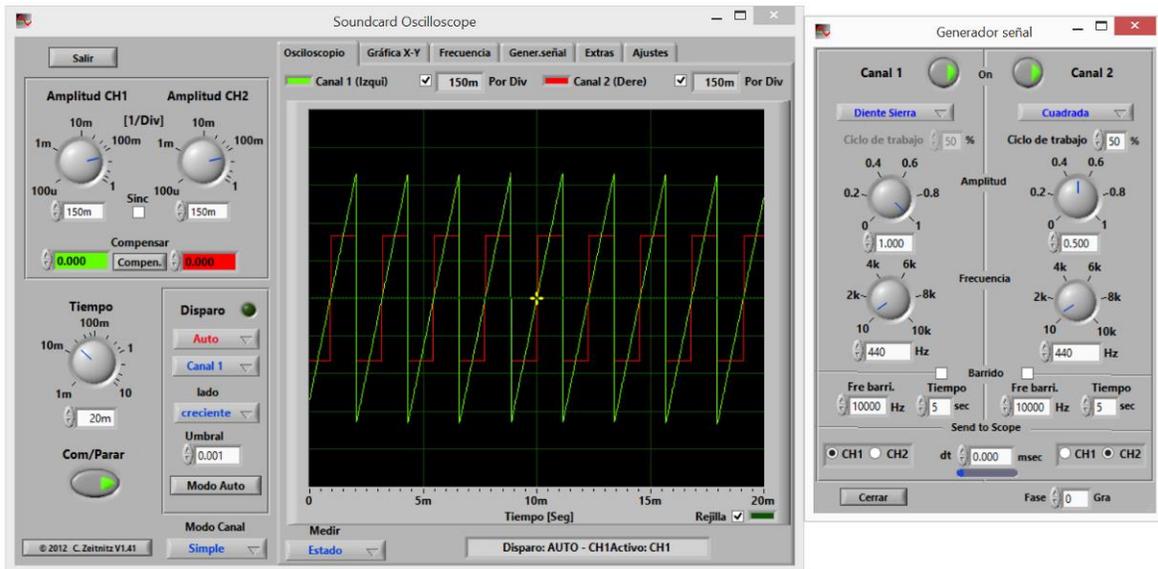
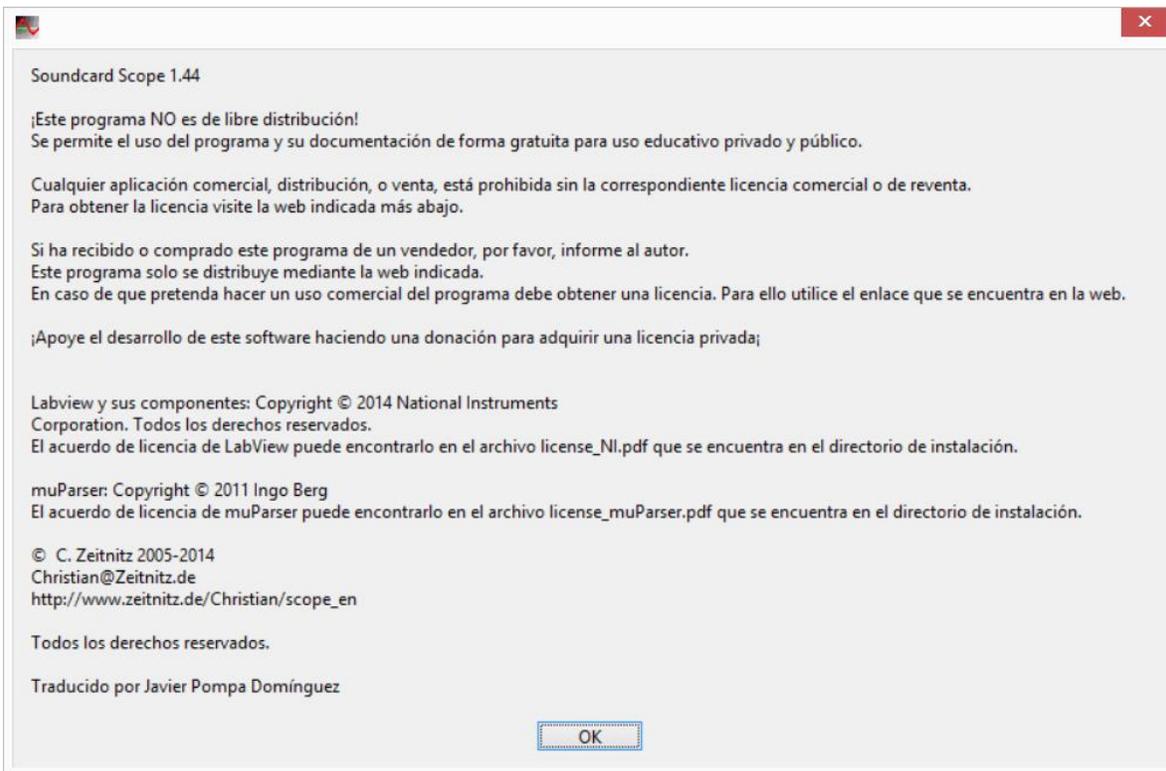


Fig. 17 - Generador de señal en Soundcard Oscilloscope

Cabe señalar que este software está basado en Labview de National Instruments (NI), aunque no necesita que Labview esté instalado en el ordenador. **No es libre**, aunque se permite su uso de forma gratuita en el ámbito educativo. En caso de querer utilizarlo comercialmente se debería adquirir una licencia de uso (en el momento de redactar este documento está fijada en 41,65€).



*Fig. 18 - Licencia Soundcard Scope 1.44*

## 4. APLICACIONES

### 4.1. Spike Hound Oscilloscope

Este software permite las siguientes funcionalidades:

- Varios canales simultáneos.
- Diferentes tipos de entrada, tarjetas de sonido DAQs, etc.
- Generación de señales.
- Tiempo, valores Máximos y Mínimos, frecuencia de pico, densidad de energía.
- Correlación entre señales.

Una vez en ejecución, el programa presenta la interfaz que se puede observar en la Fig. 19:

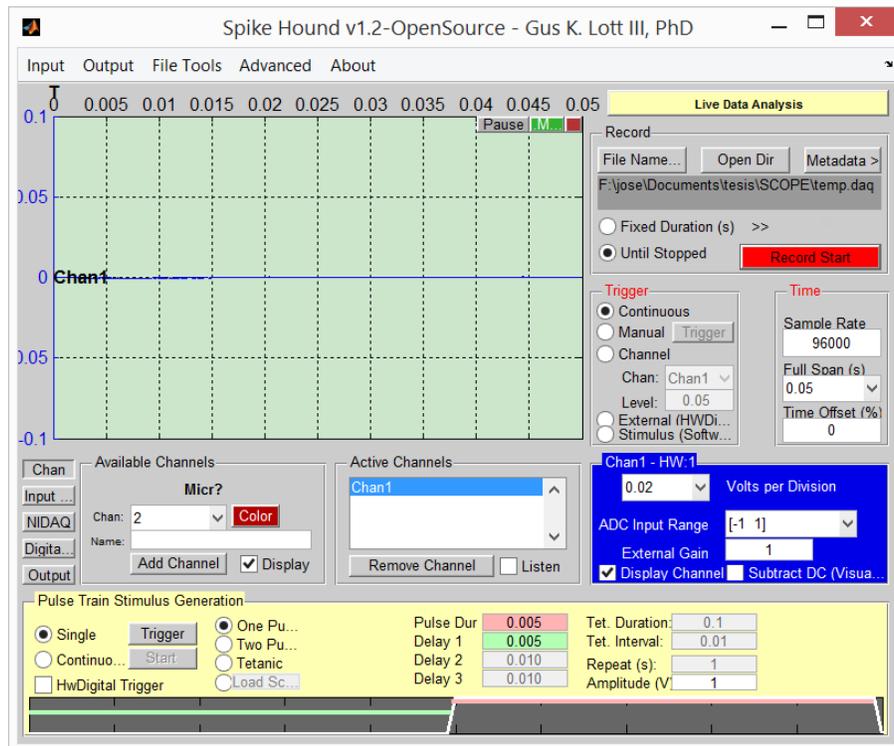


Fig. 19 - Software Spike Hound Oscilloscope

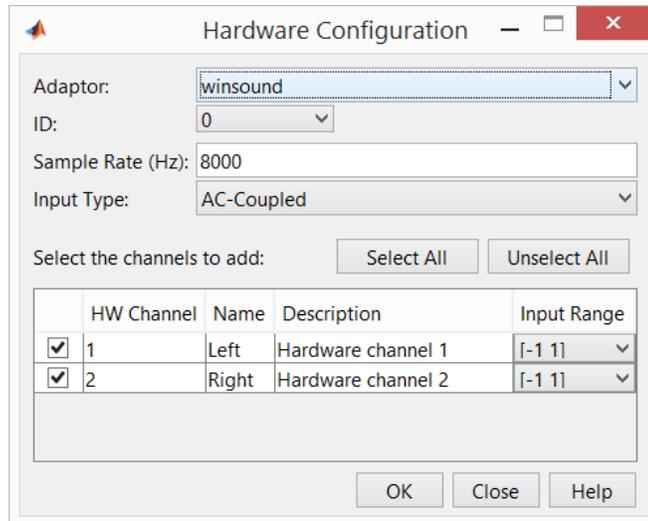
Este software es totalmente “open source”, pese a estar escrito en Matlab no necesita una licencia de esta aplicación, se puede descargar compilado en un programa de Windows y puede ser utilizado sin tener que tener Matlab instalado en el equipo. Por otra parte también se puede descargar el código fuente de Matlab y ejecutarlo directamente como otro script más.

#### 4.2. Oscilloscope de Matlab (softscope)

Este software está incluido en Matlab, por tanto no puede ejecutarse sin la aplicación de MathWorks permite las siguientes funcionalidades:

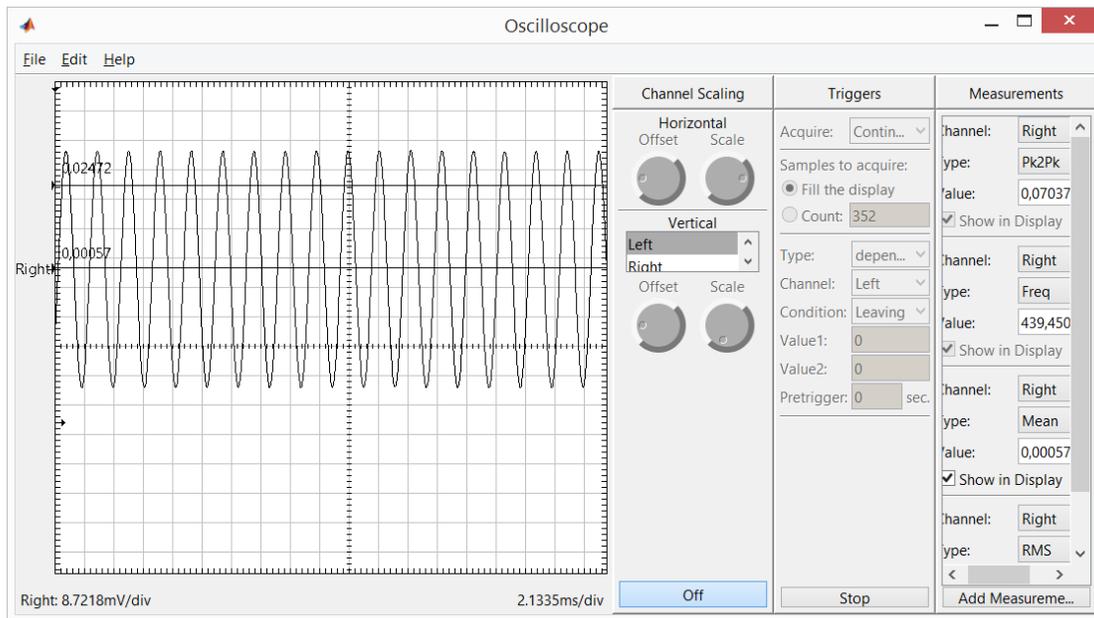
- Varios canales simultáneos.
- Diferentes tipos de entrada, tarjetas de sonido DAQs, etc.
- Tiempo, valores Máximos y Mínimos, frecuencia de pico
- Operaciones matemáticas entre las señales.
- Usar señales de referencia.

Se ejecuta con el comando “**softscope**” y cuando se inicia detecta los adaptadores a utilizar, en el ejemplo mostrado en la Fig. 20 que se muestra solo detecta los dos canales del micrófono de entrada:



*Fig. 20 - Interfaces detectados en el arranque de la aplicación Oscilloscope*

Una vez en ejecución, el programa presenta esta interfaz (Fig.):



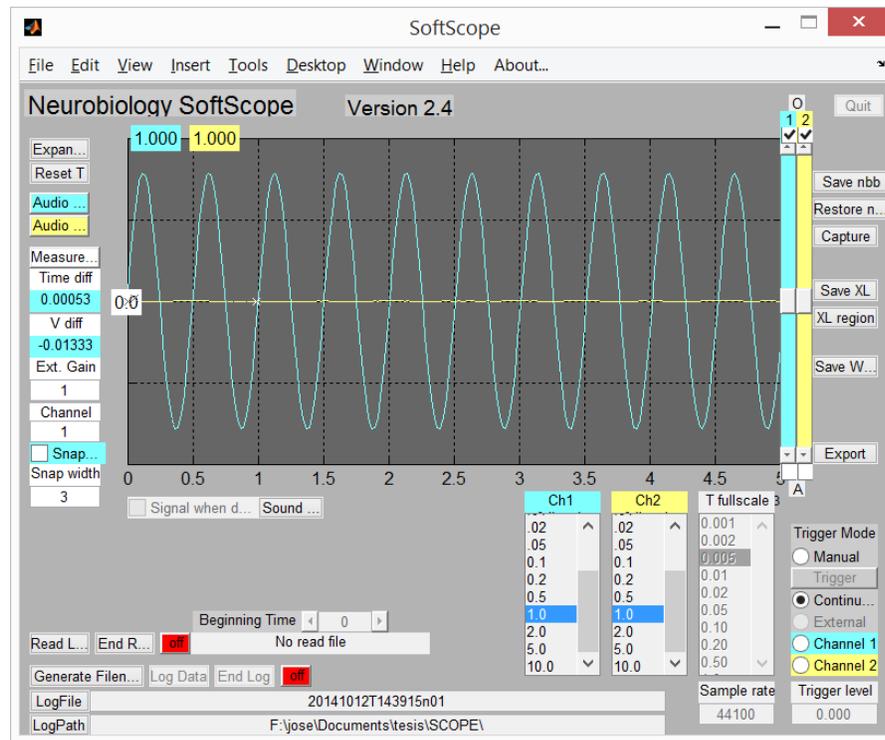
*Fig. 21 - Interfaz de usuario de Oscilloscope*

### 4.3. Neurobiology SoftScope V2.4

Funcionalidades:

- Simula la función y el aspecto tradicional de un osciloscopio de dos canales. La interfaz gráfica de usuario se compone de un osciloscopio simulado.
- Acepta la entrada de varias fuentes, ya sea de la tarjeta de sonido de Windows, DAQ de National Instruments u otros dispositivos compatibles. Usted elige el dispositivo de entrada al iniciar el programa.
- Exportar e importar datos en varios formatos para poder ser analizados por otros programas de análisis.

Una vez en ejecución, el programa presenta esta interfaz (Fig.):



*Fig. 22 - Interfaz de usuario de Neurobiology SoftScope*

Esta aplicación necesita tener Matlab instalado y licenciado para poder ejecutarse correctamente. Aunque sus creadores están pensando en desarrollar una nueva versión que sea capaz de ejecutarse si Matlab no está instalado.

## 5. SIMULACIÓN Y PRUEBAS

### 5.1. Comparativa entre sondas

En este apartado se va a realizar diferentes pruebas haciendo pasar un tono de 1KHz con distintas formas de onda por las tres sondas que se reflejan en el documento.

Para realizar las simulaciones hemos utilizado como generador de señal y como osciloscopio el software Soundcard Scope 1.4, realizando las siguientes pruebas:

Las pruebas se llevan a cabo en base al siguiente escenario:

**Ordenador portátil 1 → Sonda Osciloscopio → Ordenador portátil 2**

<b>Conexión física</b>	Ordenador portátil 1 (salida de audio)	Sonda Osciloscopio	Ordenador portátil 2 (Mic-in)
<b>Software</b>	Scope V1.43	Sonda 1	Scope V1.44
<b>Función</b>	Generación de señales	-	Análisis de señales

Ejemplo de la aplicación configurada para generar y ver las propias señales generadas (Fig. 23):

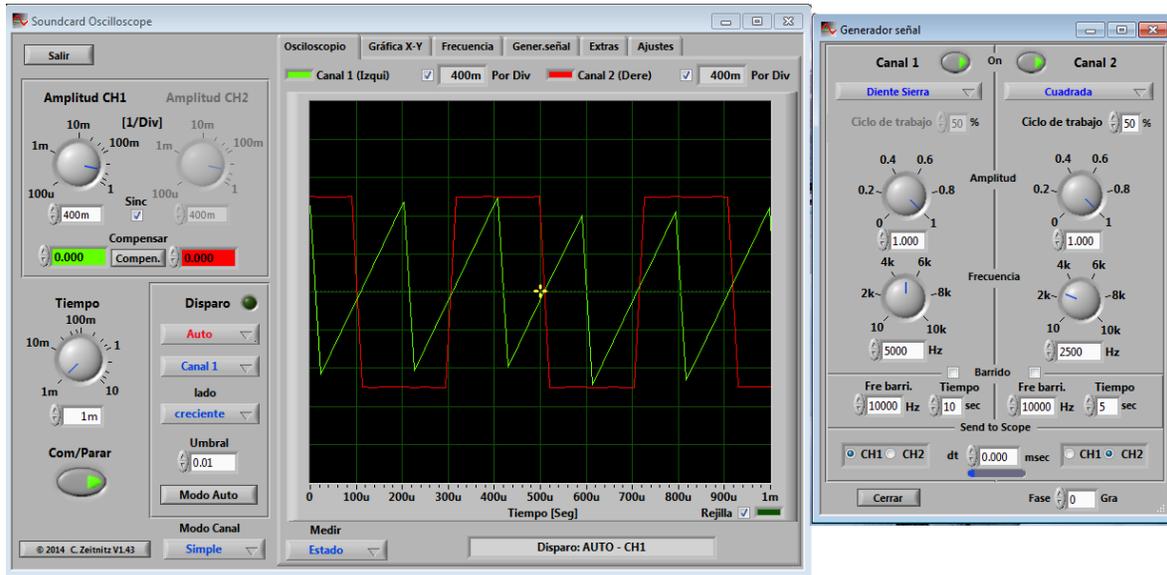


Fig. 23 - Soundcard Oscilloscope: Generación y representación de la señal generada

En nuestras pruebas tendremos el software Sound Card Scope corriendo en dos máquinas en origen como generador y en la que recibe la señal, tras pasar por una de las tres sondas a analizar, como osciloscopio.

Este software como instrumento de medida presenta las siguientes funcionalidades:

- Dos canales de entrada.
- Auto ajuste de la base de tiempos así como todos los controles típicos de un osciloscopio.
- Compensación manual de corriente continua (DC).
- Permite mostrar figuras de Lissajous (grafica X-Y).
- Incorpora un analizador de frecuencias.

### 5.1.1. Esquema de pruebas

El proceso es someter a las distintas sondas a tres pulsos de 1KHz con las formas de onda mostradas en las Fig. 24, Fig. 25 y Fig. 26:



Fig. 24 - a) cuadrada



Fig. 25 - b) Dientes de Sierra (rampa)



Fig. 26 - c) Sinusoidal

Se diferencian dos apartados:

- Comparativa emisión – recepción: En este apartado se comparará para cada señal generada con la señal obtenida en el osciloscopio en el ordenador portátil 2. Dichas señales se comparan mediante:
  - Análisis en el dominio del tiempo
  - Análisis en el dominio de la frecuencia:
    - De forma línea
    - Logarítmica (en dB)
    - Haciendo zoom en determinadas frecuencias para profundizar en las diferencias entre unas sondas y otras.
- Comparativa entre señales recibidas: En este apartado se pondrán las tres señales más relevantes para detectar que sonda se comporta mejor

## 5.1.2. Comparativa emisión -recepción

### 5.1.2.1. Sonda 1

En la siguiente tabla se registrarán las tensiones obtenidas de cada forma de onda

Señal entrada	T. Señal recibida (x1)	T. Señal recibida (x10)	Notas
1KHz / 2 Vpp Sinusoidal	457 mV	-	
1KHz / 2 Vpp Triangular	358 mV	-	
1KHz / 2 Vpp Cuadrada	367 mV	-	Muchas fluctuaciones en la tensión Vpp
1KHz / 2 Vpp Sierra	452 mV	-	

### 5.1.2.1.1. Señal cuadrada

Ejemplo de la señal cuadra de 1KHz, señal emitida y recibida en el dominio del tiempo:

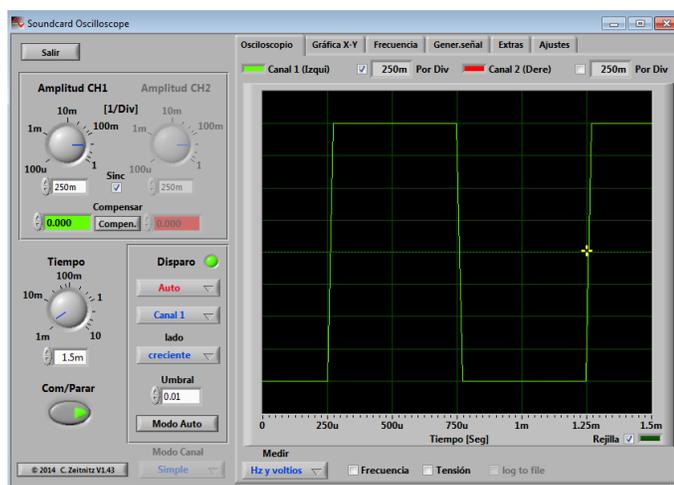


Fig. 27 – Señal cuadrada 1 KHz 2Vpp – dominio del tiempo

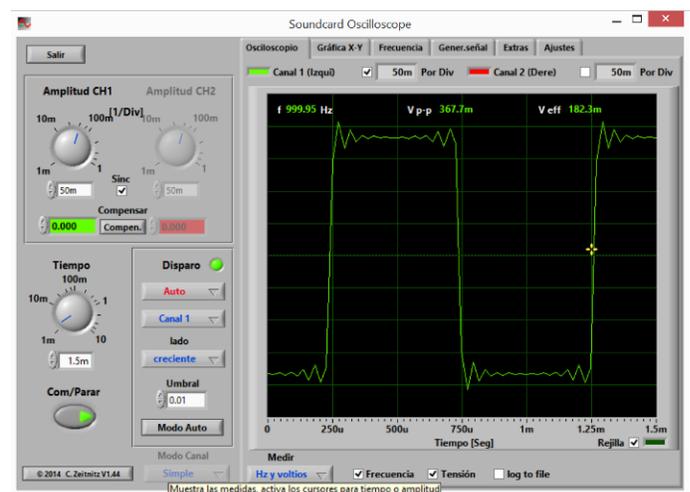


Fig. 28 – Recepción Sonda 1: Señal cuadrada – dominio del tiempo

Podemos ver la señal cuadra de 1KHz en el dominio de la frecuencia (denominada sinc) recibida utilizando la sonda 1:

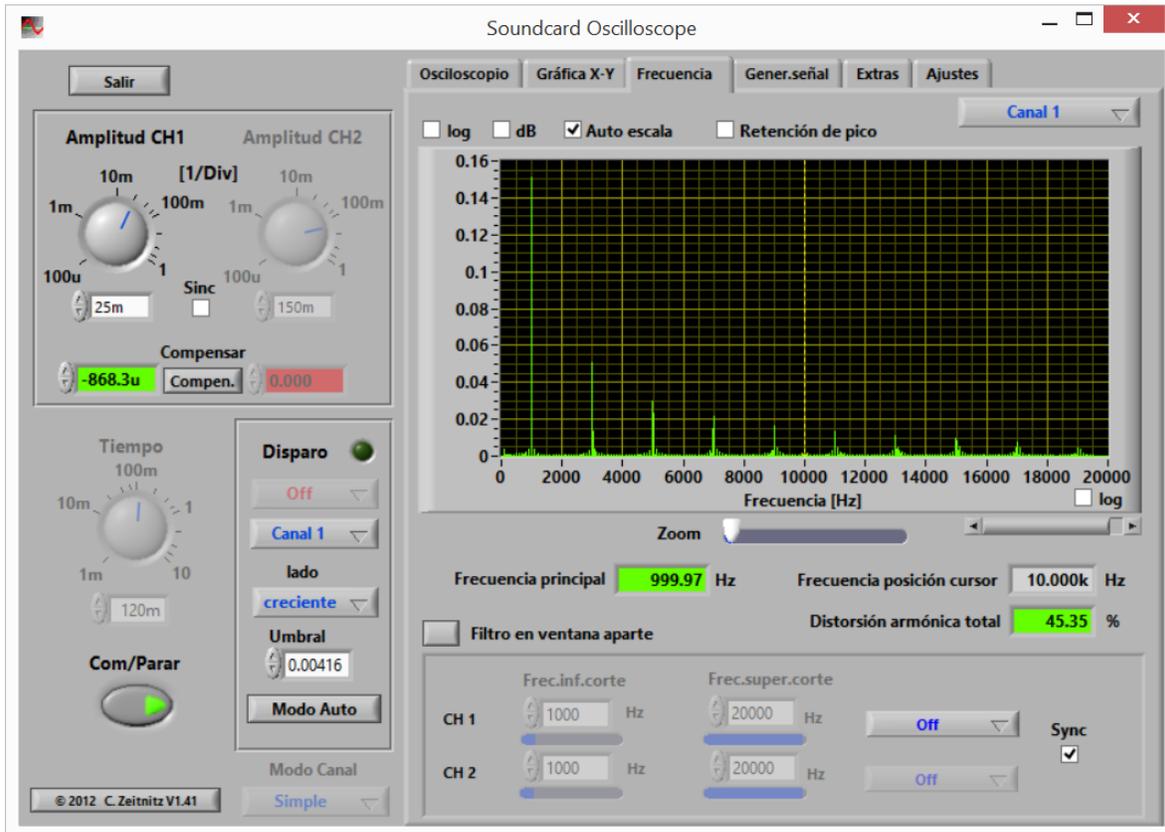


Fig. 29 - Recepción Sonda 1: Señal cuadrada - Dom. Frecuencia

Colocandolo en decibelios y haciendo zoom se puede ver como, la señal cuadrada en el dominio del tiempo se transforma en una sinc infinita en el dominio de la frecuencia y como la amplitud de cada sinc disminuye con el aumento de la frecuencia.

En las siguientes imágenes Fig. 30 y Fig. 31 vemos la sinc de 1 KHz en el dominio de la frecuencia emitida y recibida utilizando la sonda 1 (haciendo zoom en 8KHz), como se puede apreciar la señal ha perdido detalle en las frecuencias altas, lo que hace que la señal recibida sea más imperfecta que la señal original:

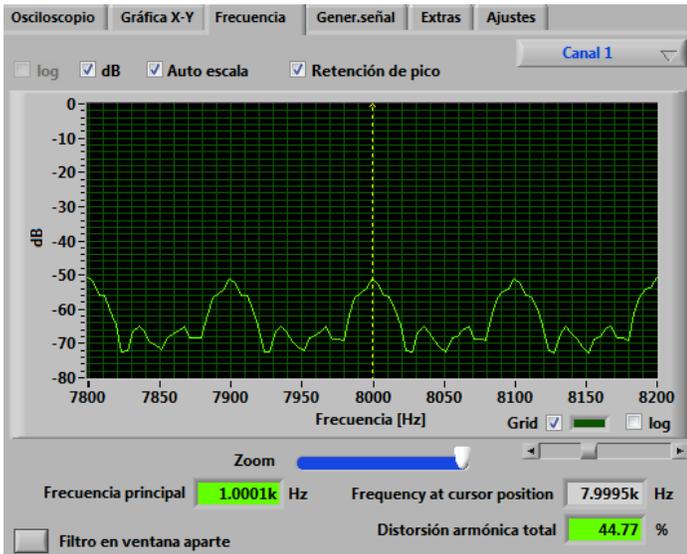


Fig. 30 - Señal Generada: Cuadrada 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 8 KHz

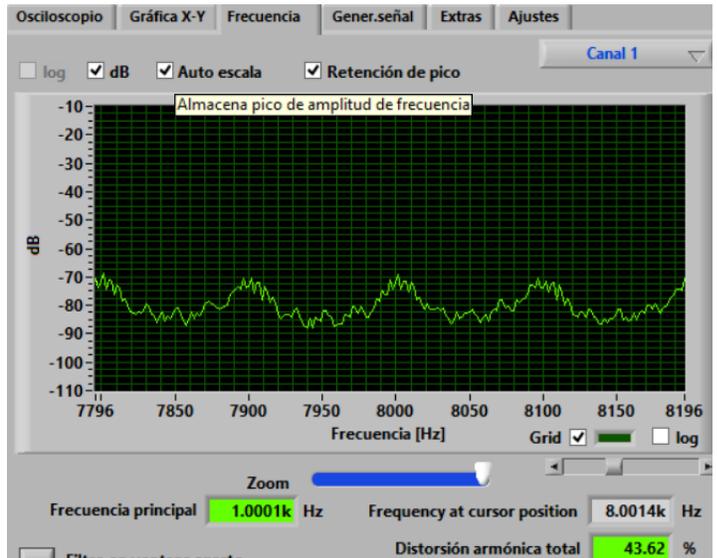


Fig. 31 - Sonda 1: Cuadrada - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 8 KHz

Comparativa de la señal con zoom en la frecuencia principal (1KHz)

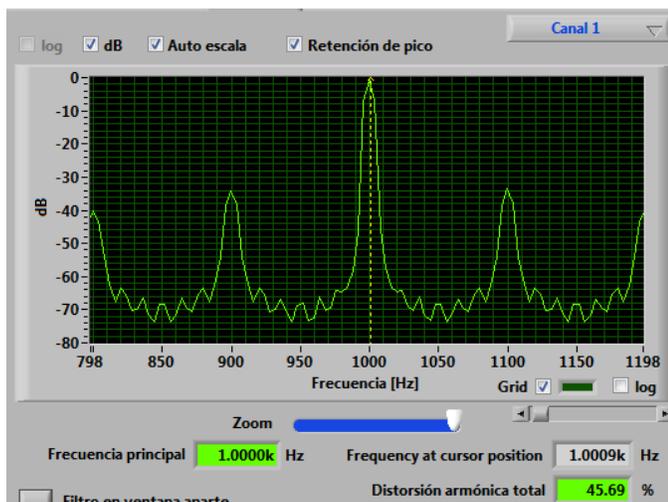


Fig. 32 - Señal Generada: Cuadrada 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz

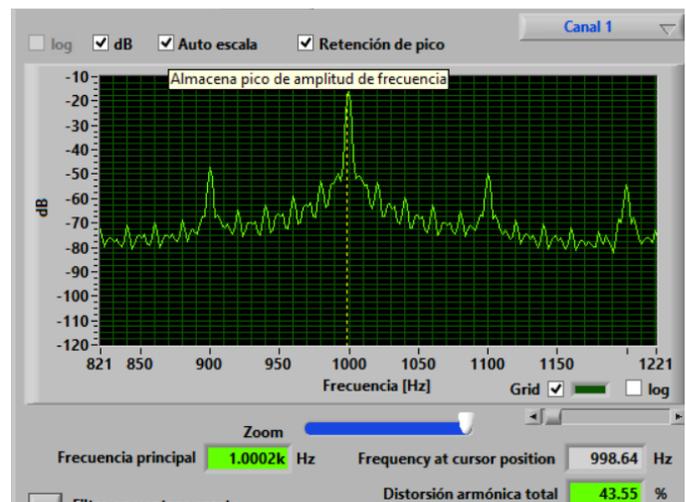


Fig. 33 - Sonda 1: Cuadrada - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz

### 5.1.2.1.2. Señal rampa o dientes de sierra

Señal de dientes de sierra (rampa) de 1 KHz:

En las figuras – vemos las señales de emisión y recepción en el tiempo, como se puede ver la señal resultante está invertida

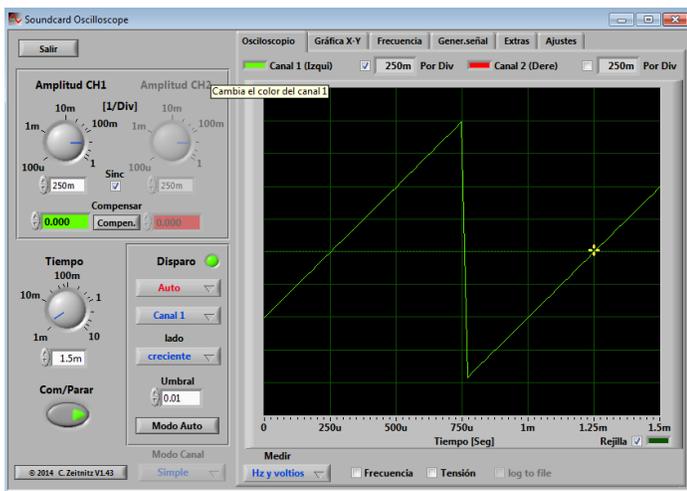


Fig. 34 - Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. Tiempo

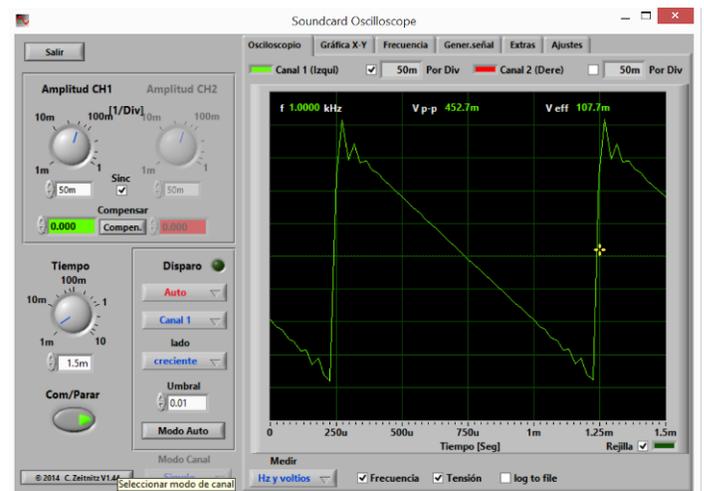


Fig. 35 – Recepción Sonda 1: Señal D. de sierra – dominio del tiempo

Frecuencia:

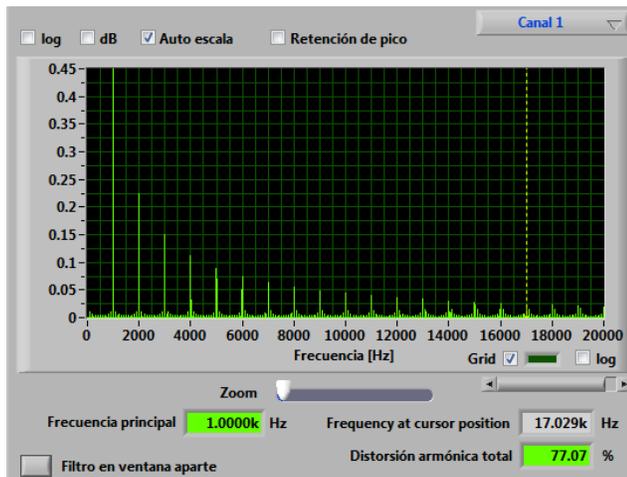


Fig. 36 - Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia

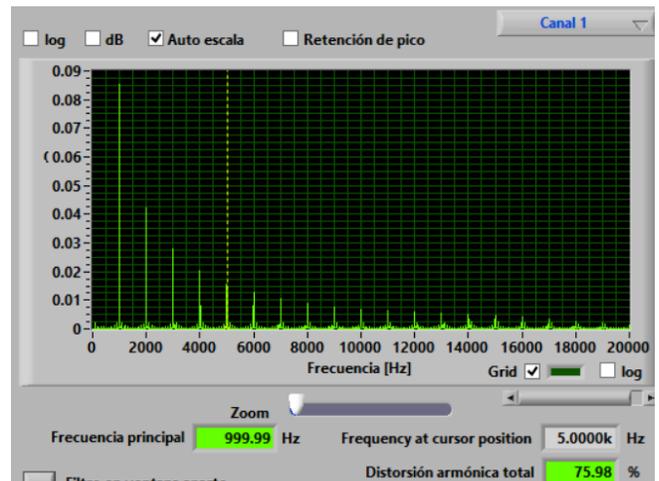


Fig. 37- Sonda 1: D. de sierra - Dom. Frecuencia

Frecuencia en unidades logarítmicas (dB) :

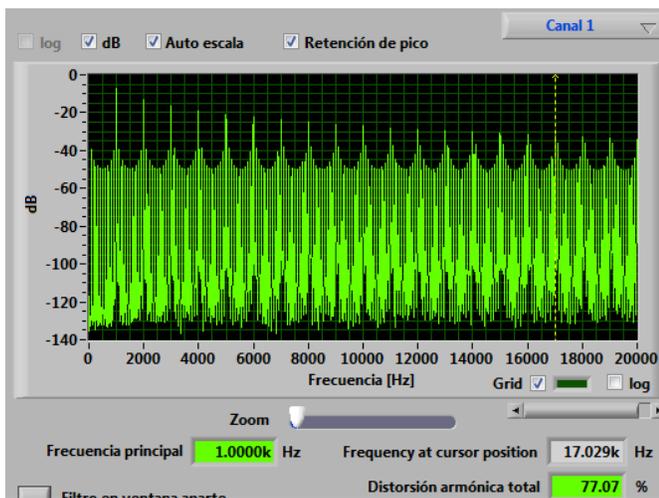


Fig. 38 - Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log(dB)

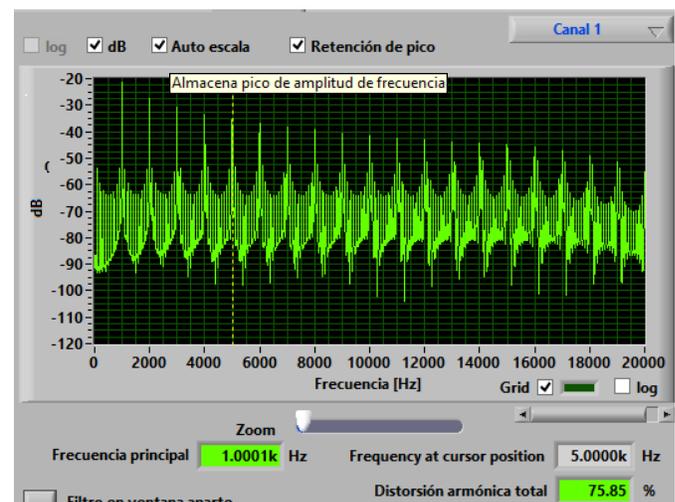


Fig. 39- Sonda 1: D. de Sierra - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz

Frecuencia en DB (zoom en 1 KHz):

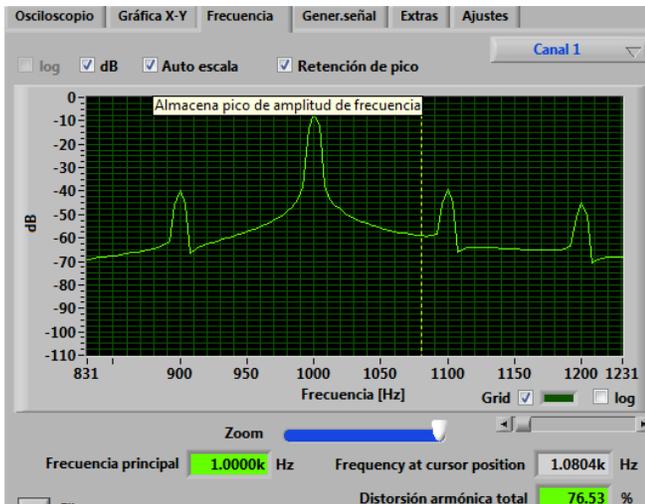


Fig. 40- Señal Generada: D. de sierra 1 KHz 2Vpp - Dom. frecuencia - zoom 1KHz

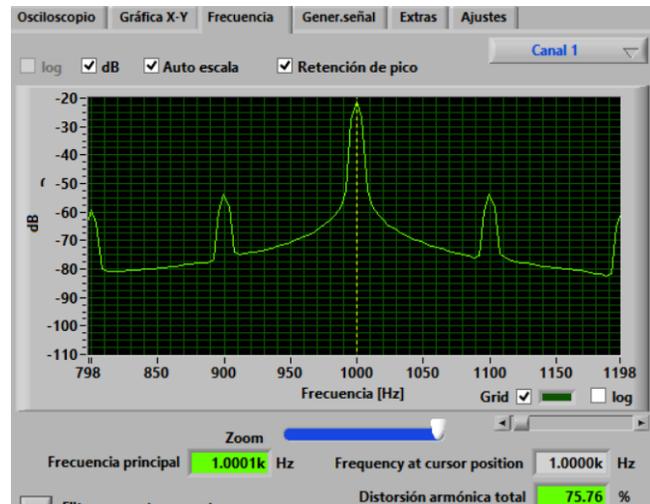


Fig. 41- Sonda 1: D. de Sierra - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz

#### 5.1.2.1.3. Señal sinusoidal

Señal sinusoidal recibida 1 KHz:

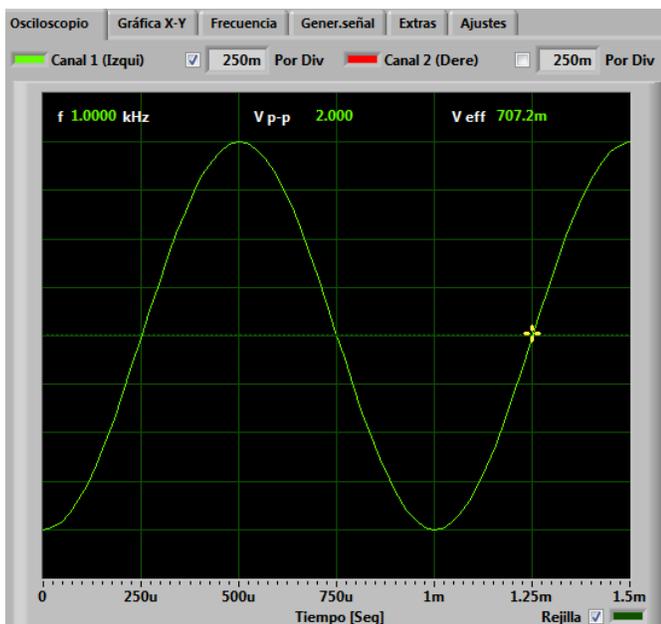


Fig. 42- Señal Generada: Sinusoidal 1 KHz 2Vpp - Dom. tiempo

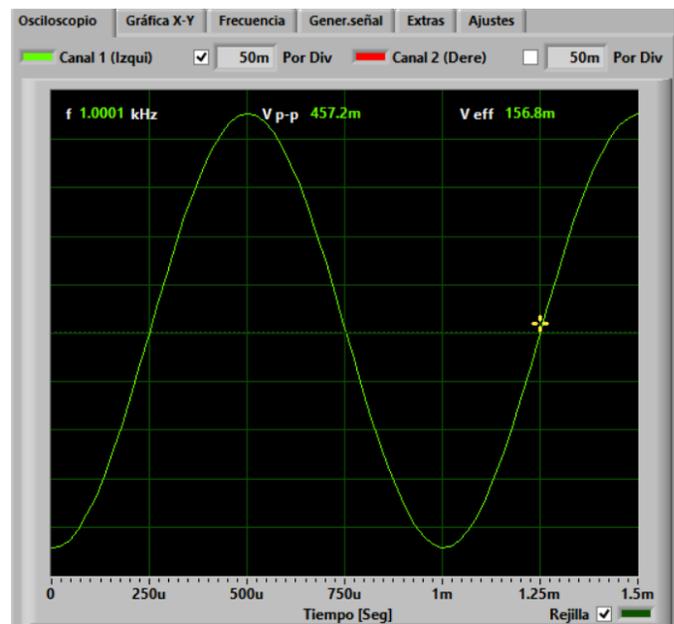


Fig. 43- Sonda 1: Sinusoidal - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB) - Zoom 1 KHz

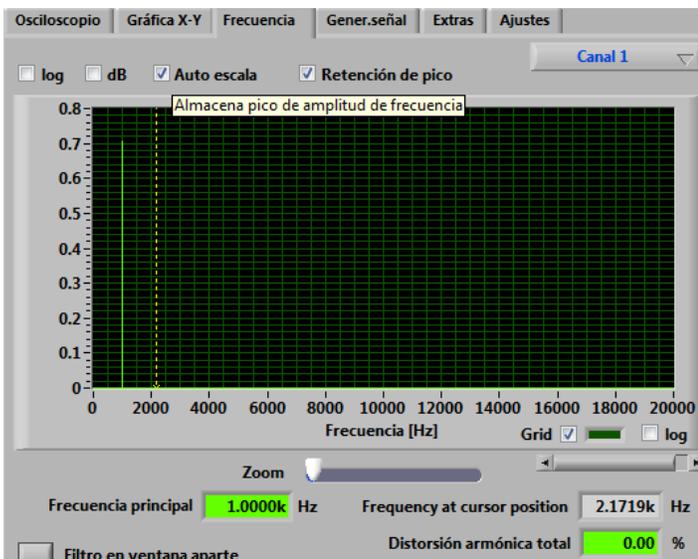


Fig. 44- Señal Generada: Sinusoidal 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia

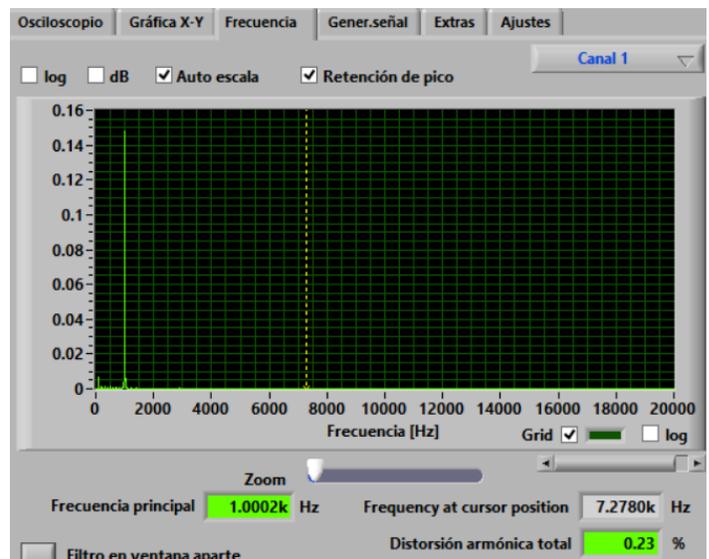


Fig. 45- Sonda 1: Sinusoidal - Dom. Frecuencia

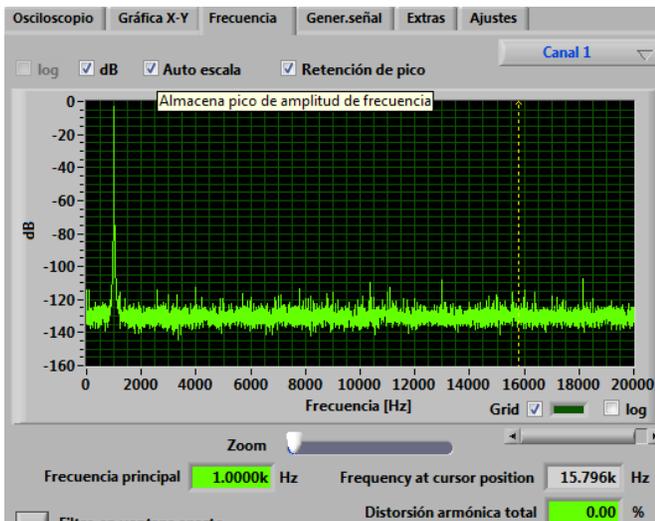


Fig. 46- Señal Generada: Sinusoidal 1 KHz 2Vpp - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB)

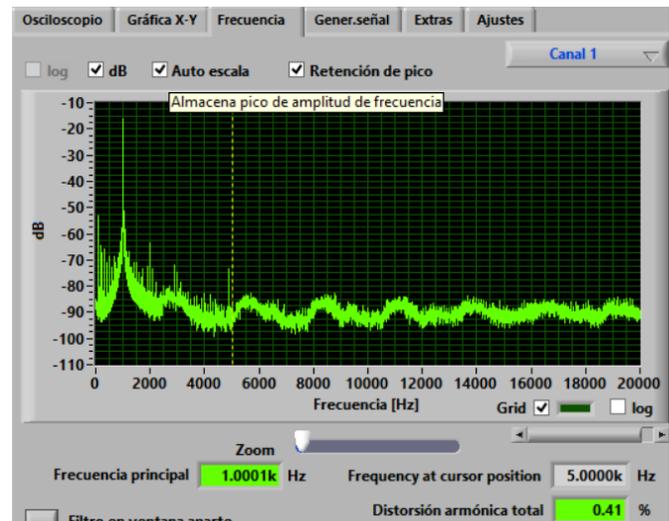


Fig. 47- Sonda 1: Sinusoidal - Dom. Frecuencia - Amp. log (dB)

#### 5.1.2.2. Sonda 2

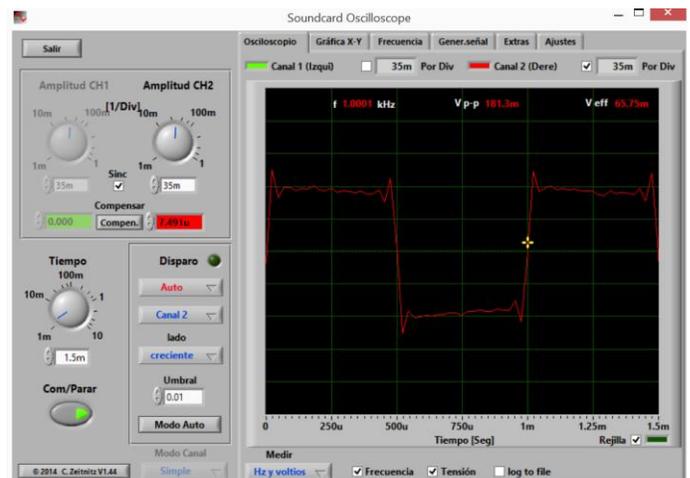
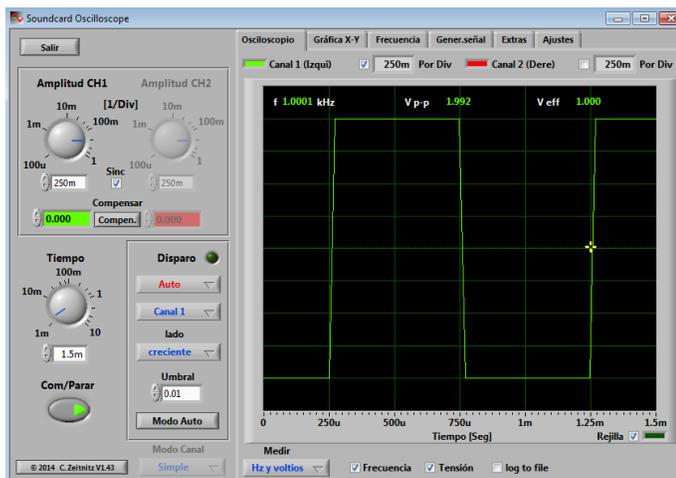
La señal se obtiene con el potenciómetro en el valor máximo y configurada en x10 (con R4 conectada a tierra). La señal producida por la sonda en x1 proporcionaba un elevado valor de DC (>5v) lo cual no es muy seguro para introducir en la entrada de micrófono de un PC.

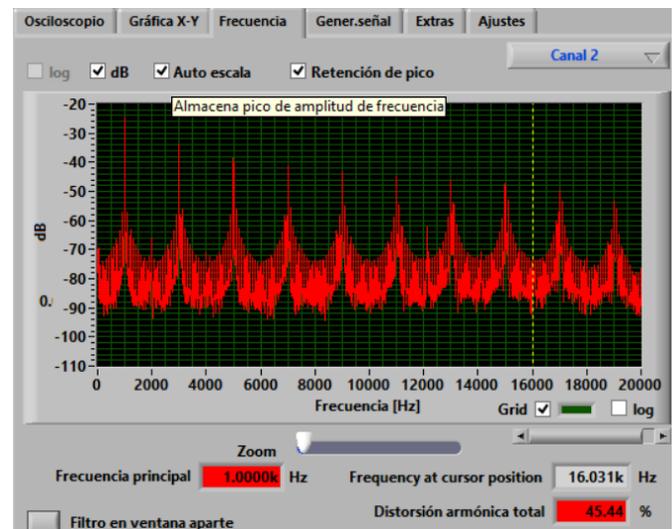
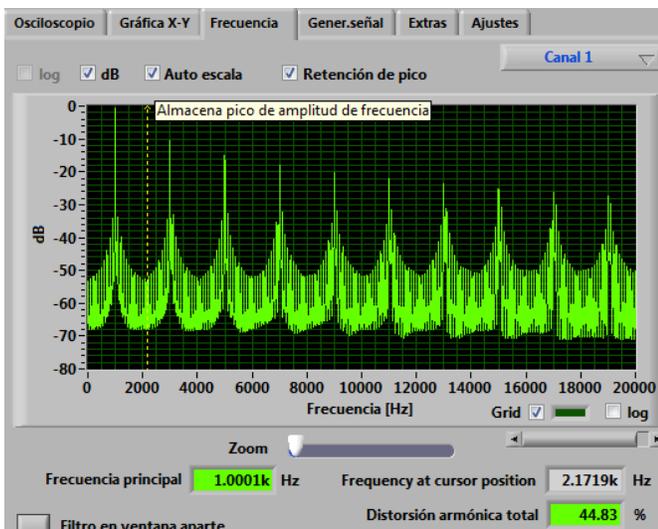
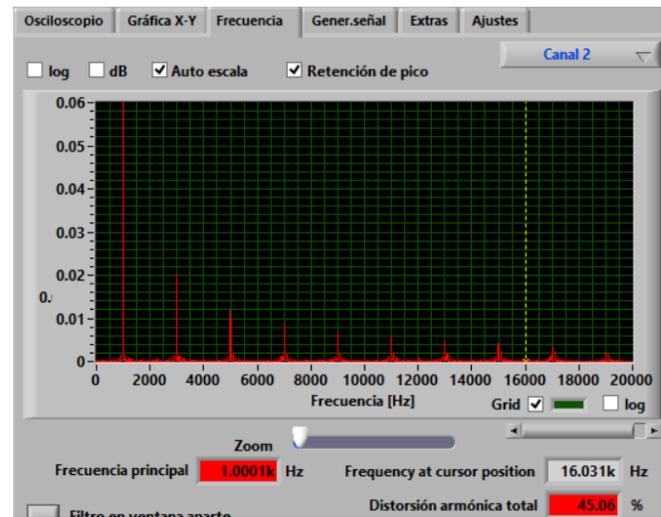
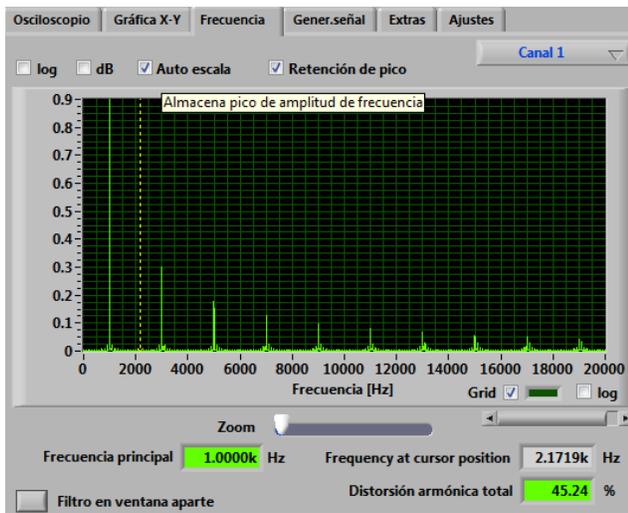
Señal entrada	T. Señal recibida (x1)	T. Señal recibida (x10)	Notas
1KHz / 2 Vpp Sinusoidal	-	172 mV	
1KHz / 2 Vpp Triangular	-	170 mV	
1KHz / 2 Vpp Cuadrada	-	181 mV	
1KHz / 2 Vpp Sierra	-	171 mV	
1KHz / 660 mVpp Sinusoidal	-	60 mV	

1KHz / 660 m Vpp Triangular	-	58 mV	
1KHz / 660 m Vpp Cuadrada	-	74 mV	
1KHz / 660 m Vpp Sierra	-	69 mV	

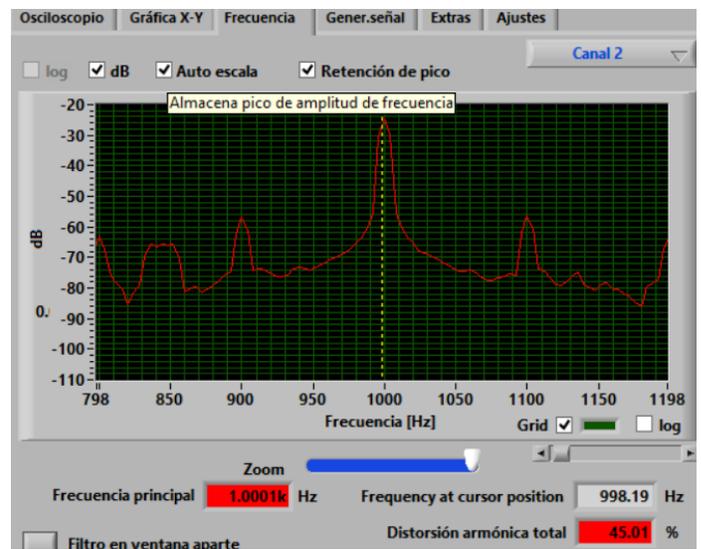
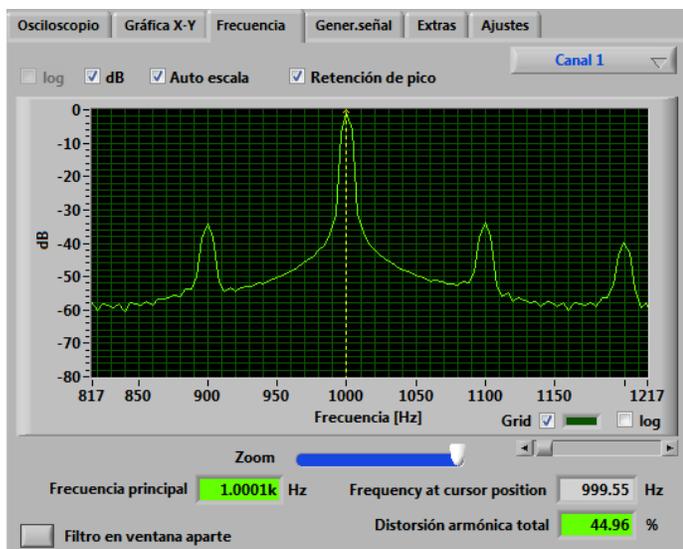
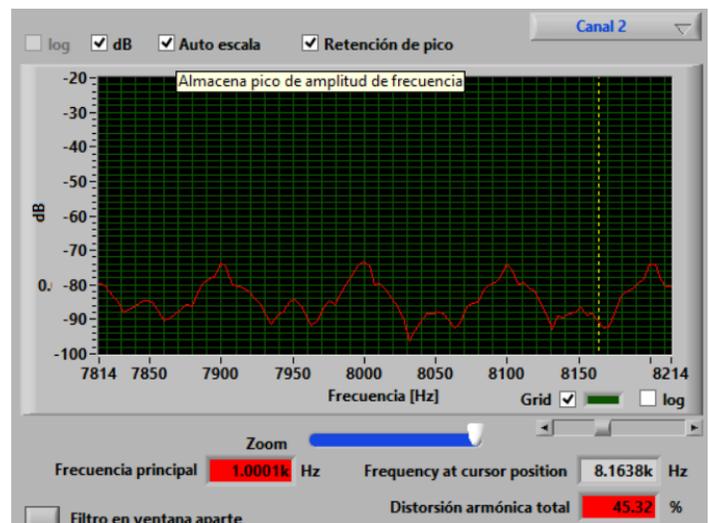
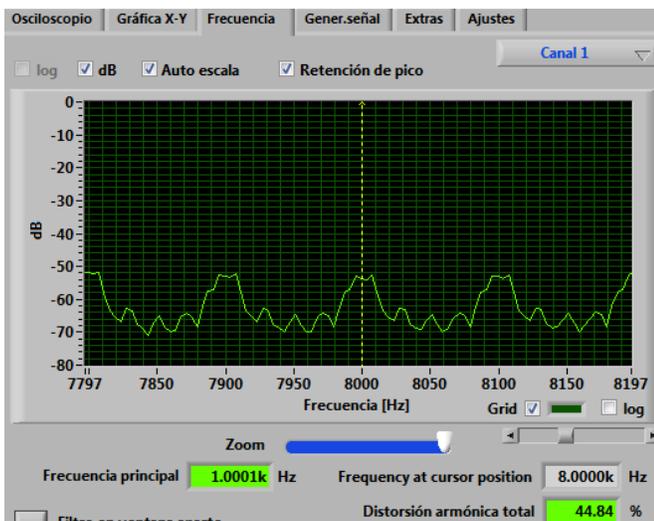
### 5.1.2.2.1. Señal cuadrada

Ejemplo de la señal cuadra de 1KHz, señales emitida y recibida en el dominio del tiempo:

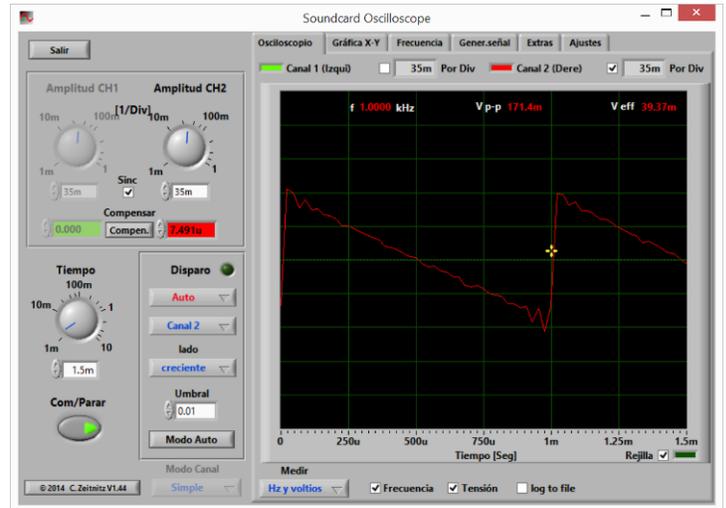
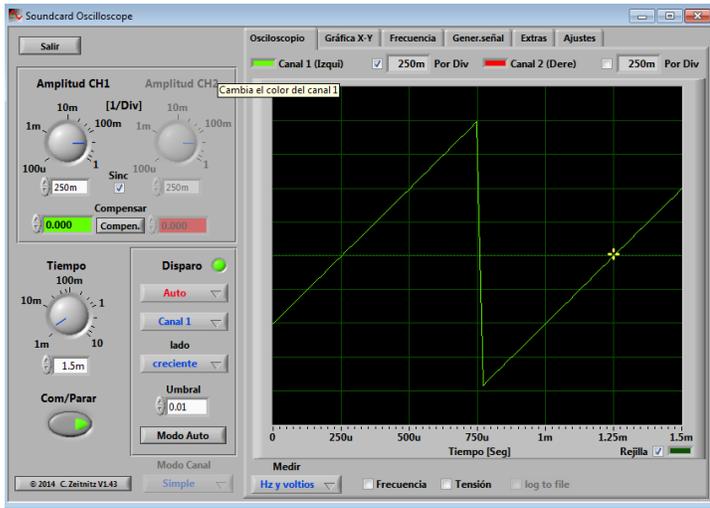




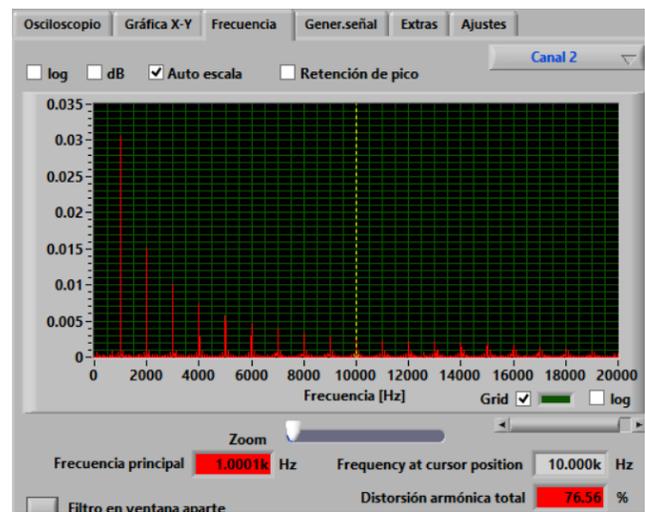
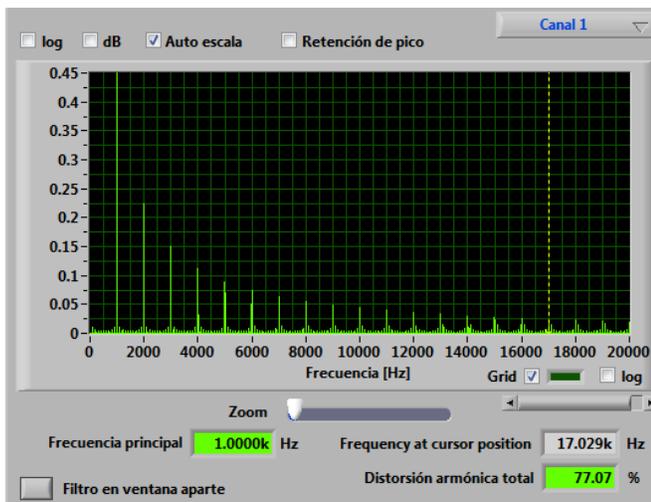
Podemos ver la señal cuadrada de 1kHz en el dominio de la frecuencia (denominada sinc) recibida utilizando la sonda 2:



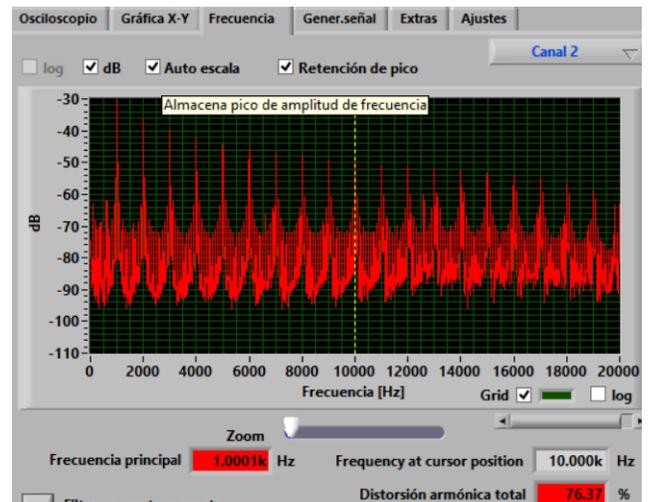
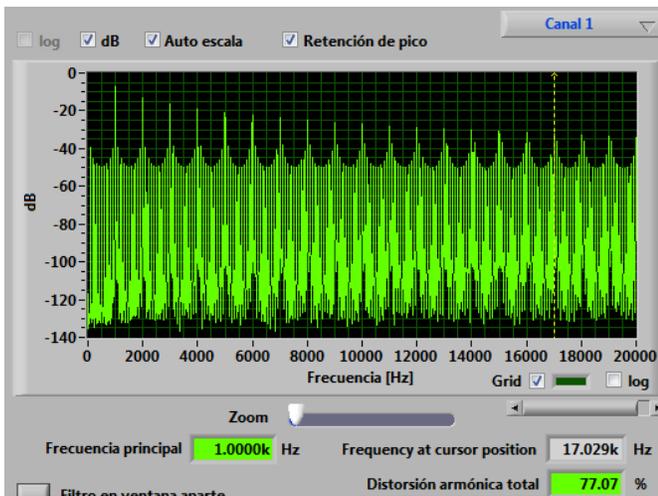
#### 5.1.2.2.2. Señal rampa o dientes de sierra



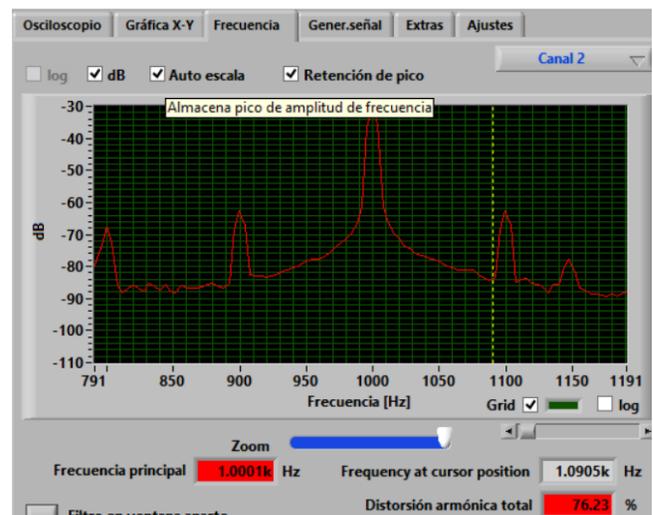
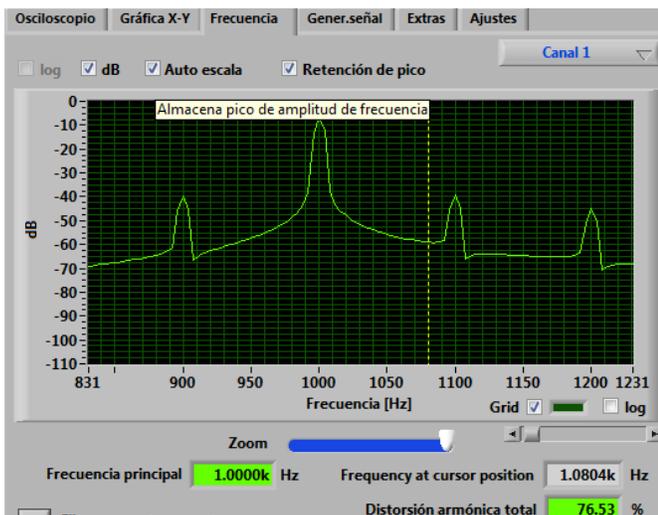
Frecuencia:



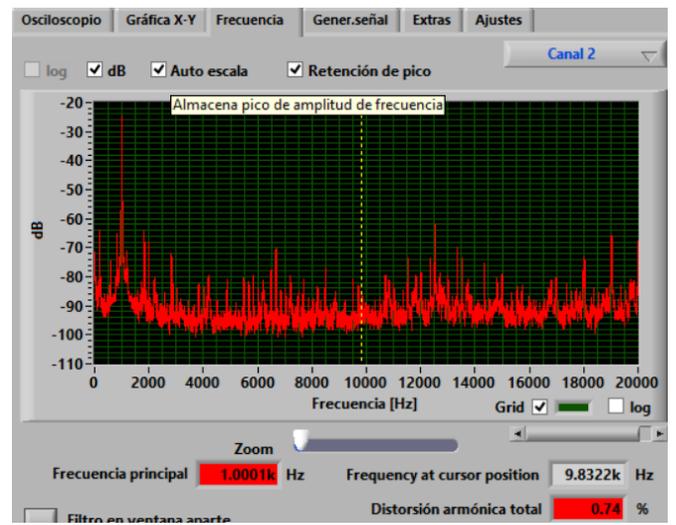
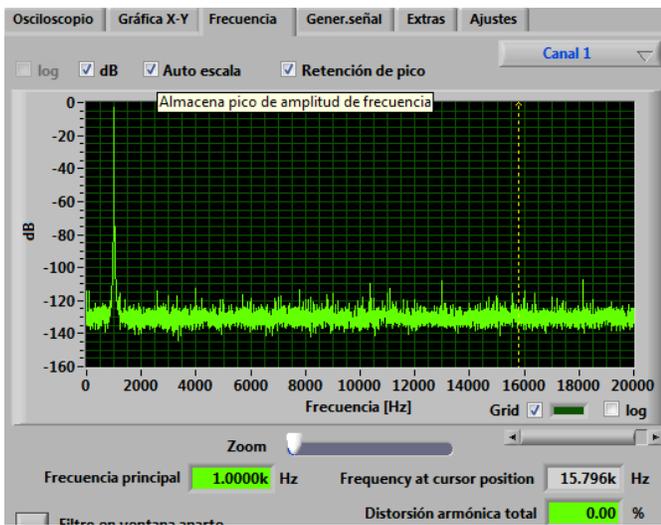
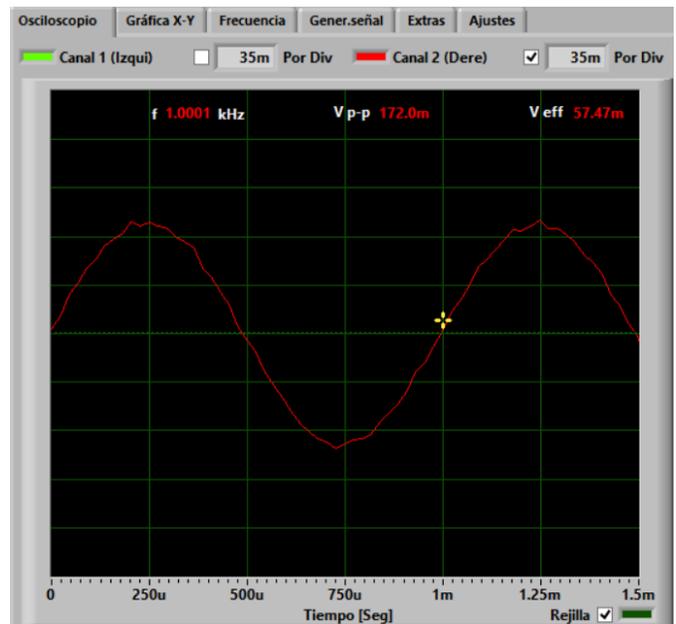
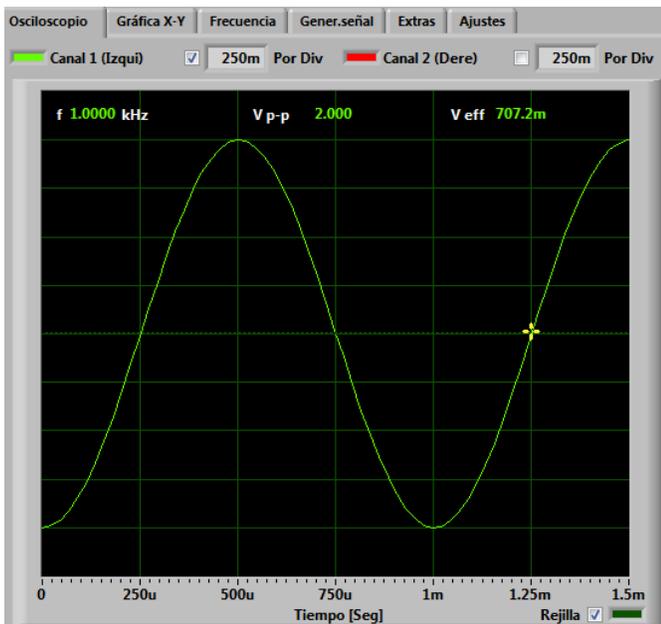
Frecuencia en DB:

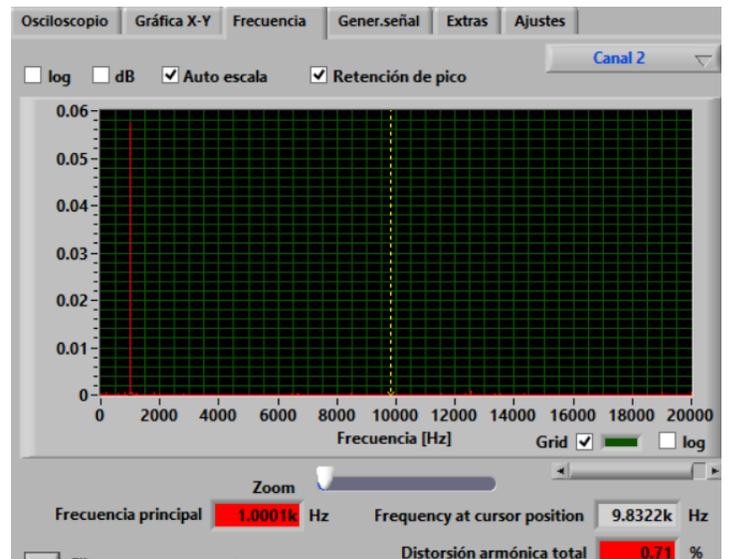
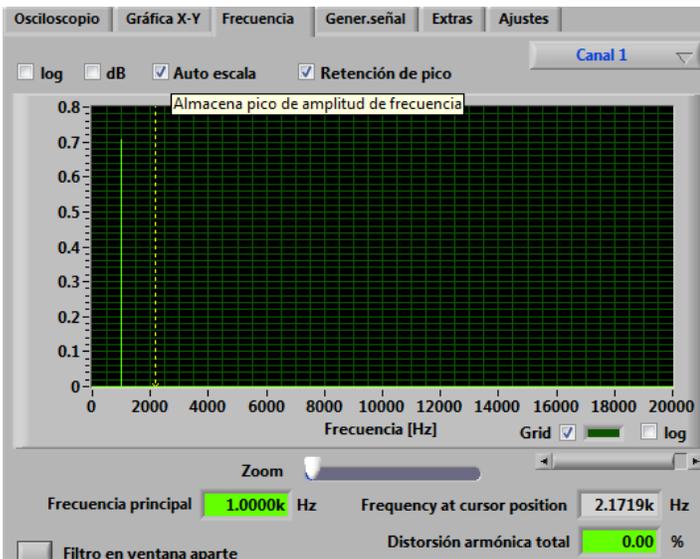


Frecuencia en DB (zoom en 1 KHz):



5.1.2.2.3. Señal Sinusoidal





### 5.1.2.3. Sonda 3

Pruebas sonda 3:

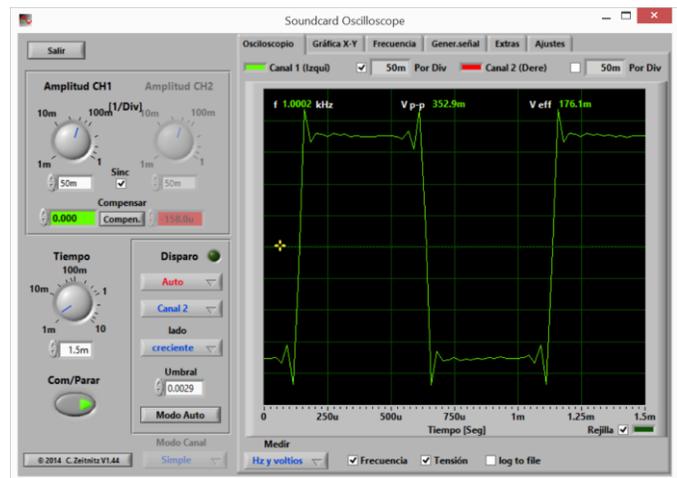
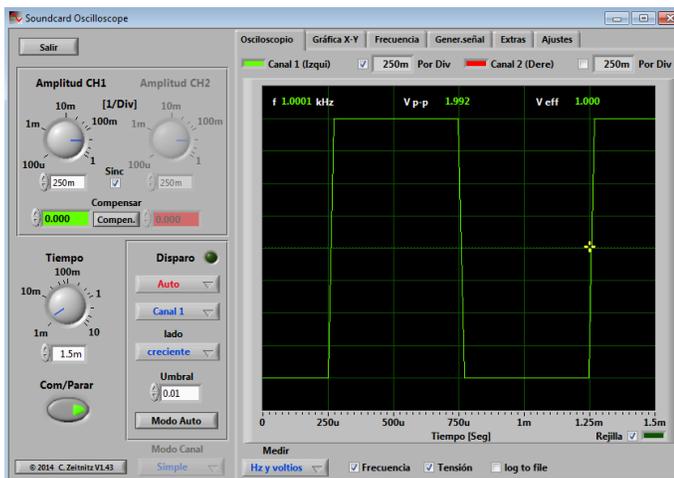
Nivel máximo señal 2Vpp:

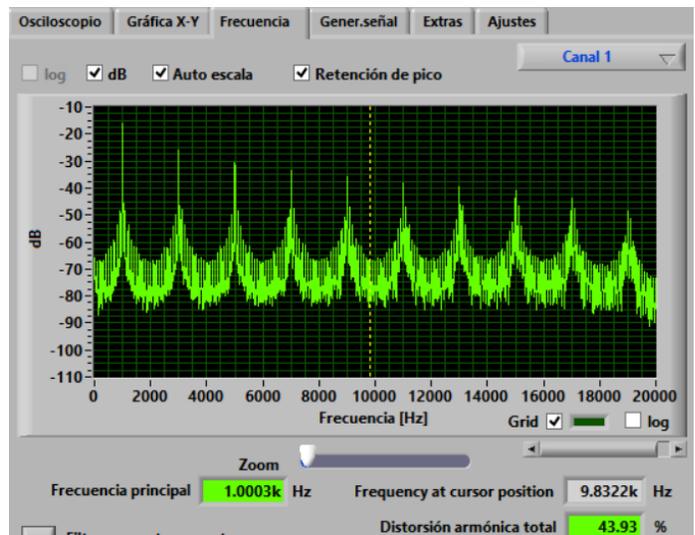
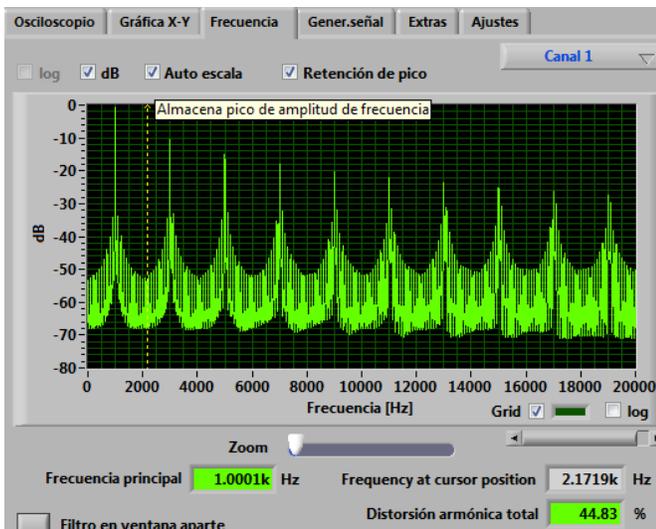
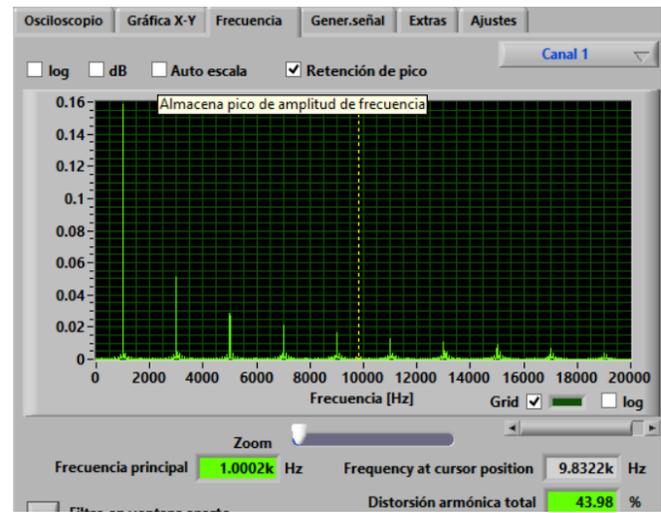
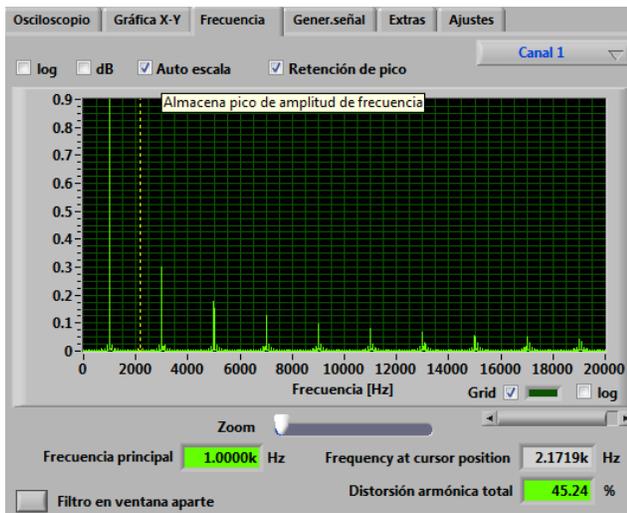
Señal entrada	T. Señal recibida (x1)	T. Señal recibida (x10)	Notas
1KHz / 2 Vpp Sinusoidal	1,78 Vpp	437 mVpp	Señal recortada en el modo (x1)
1KHz / 2 Vpp Triangular	1,78 Vpp	436 mVpp	Señal recortada en el modo (x1)

1KHz / 2 Vpp Cuadrada	1,78 Vpp	352 mVpp	Señal recortada en el modo (x1)
1KHz / 2 Vpp Sierra	1,78 Vpp	440 mVpp	Señal recortada en el modo (x1)
1KHz / 660 mVpp Sinusoidal	1,84 Vpp	152 mVpp	
1KHz / 660 m Vpp Triangular	1,77 Vpp	148 mVpp	
1KHz / 660 m Vpp Cuadrada	1,79 Vpp	150 mVpp	
1KHz / 660 m Vpp Sierra	1,78 Vpp	184,2 mVpp	

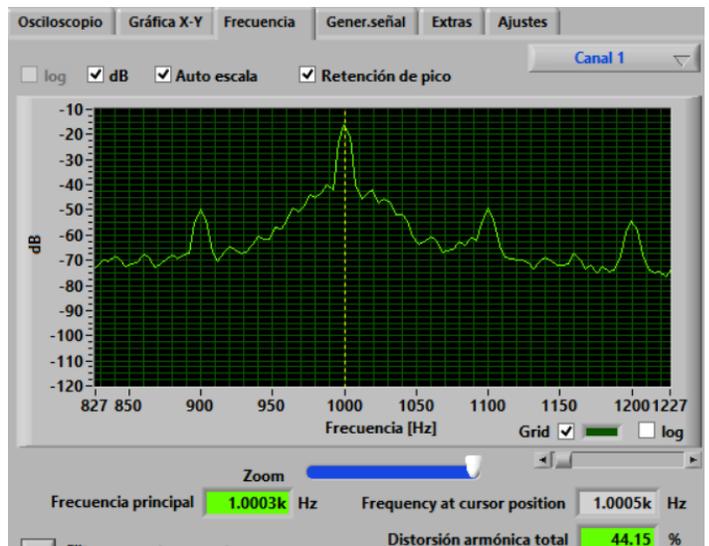
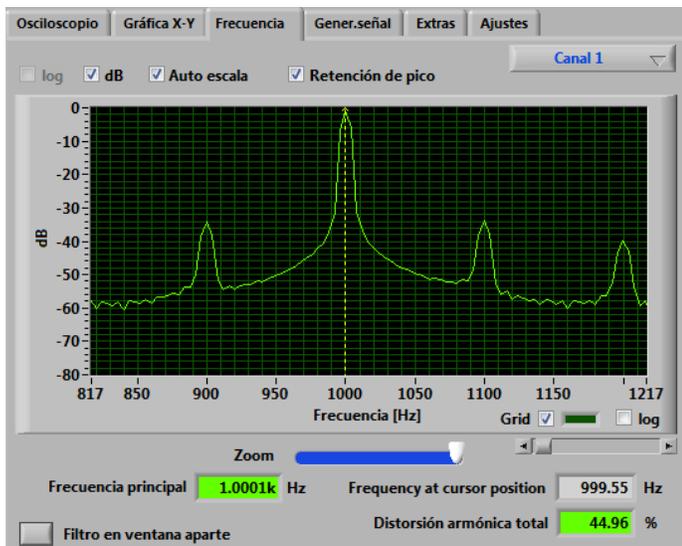
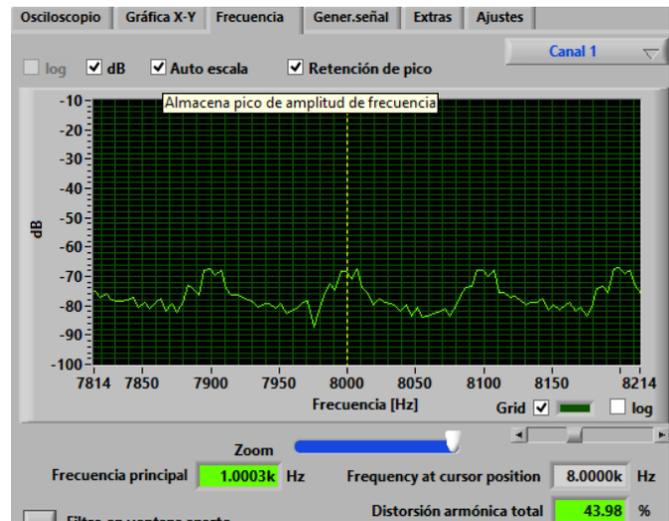
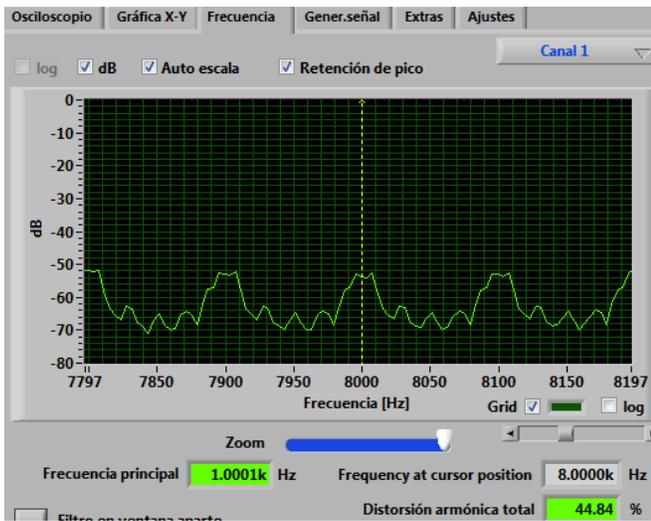
### 5.1.2.3.1. Señal cuadrada

Ejemplo de la señal cuadra de 1KHz, señales emitida y recibida en el dominio del tiempo:

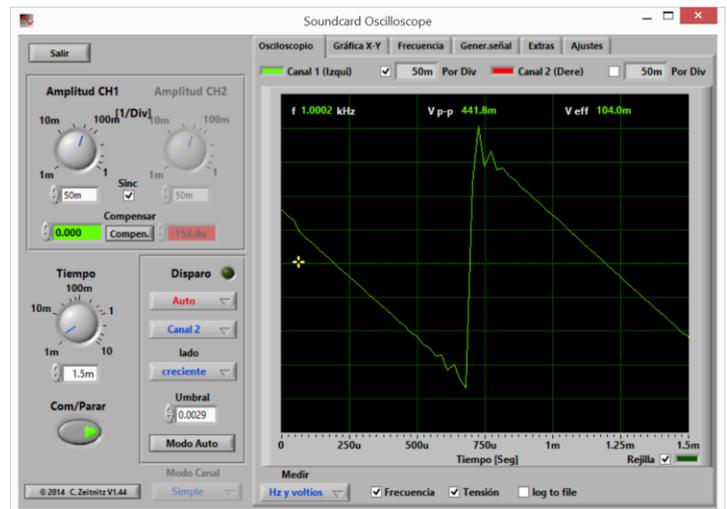
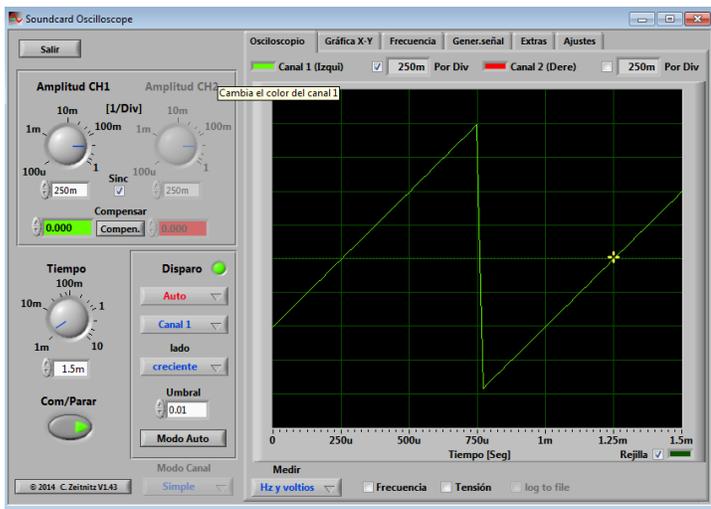




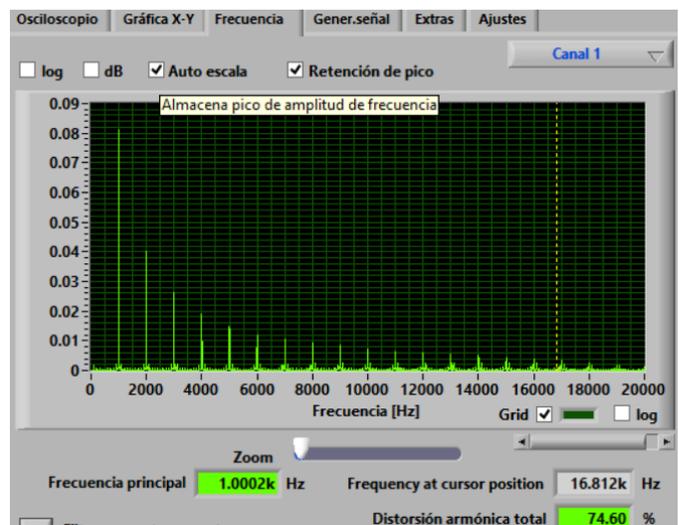
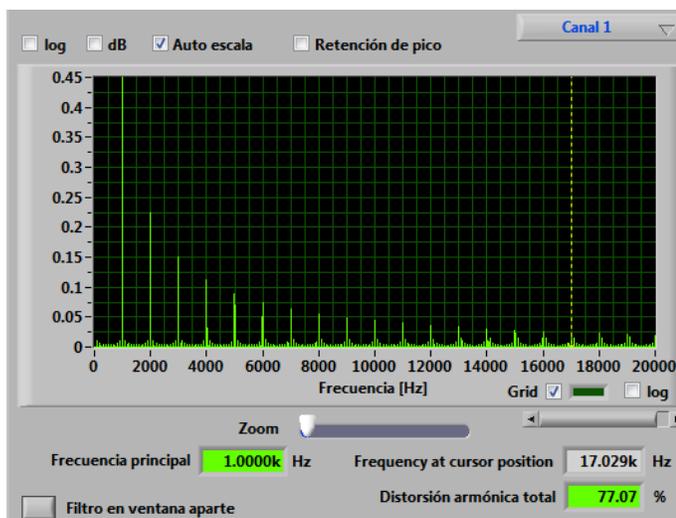
Podemos ver la señal cuadrada de 1KHz en el dominio de la frecuencia (denominada sinc) recibida utilizando la sonda 2:



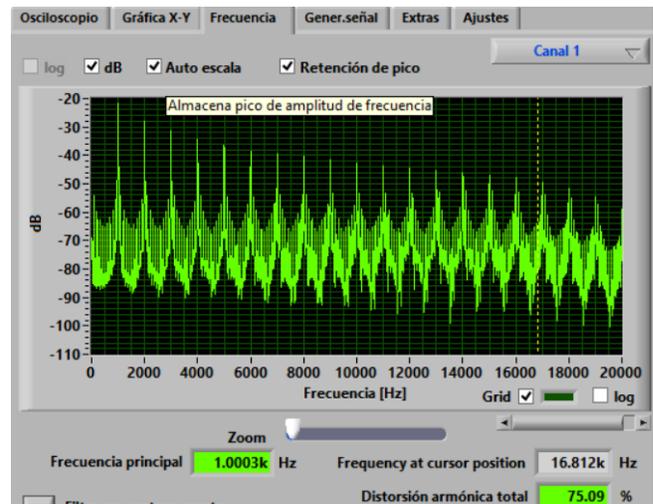
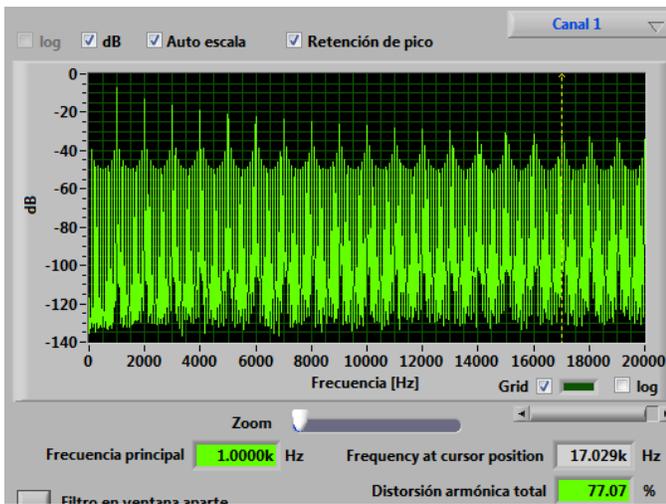
### 5.1.2.3.2. Señal rampa o dientes de sierra



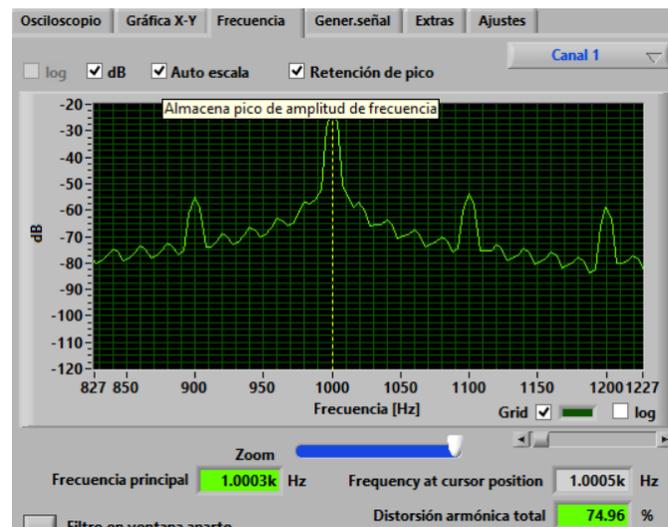
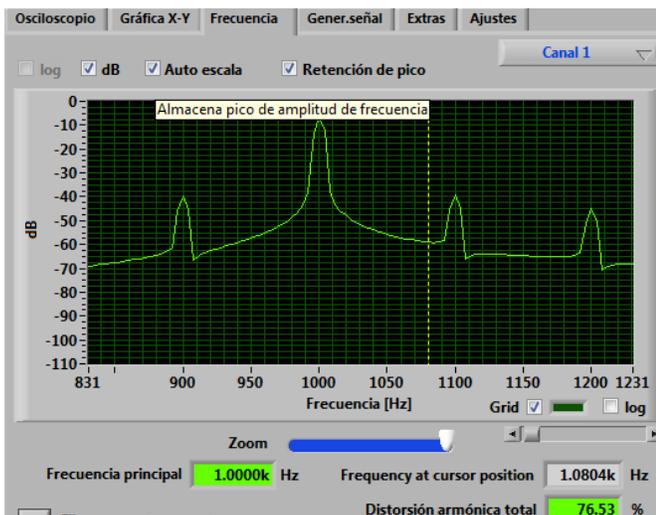
Frecuencia:



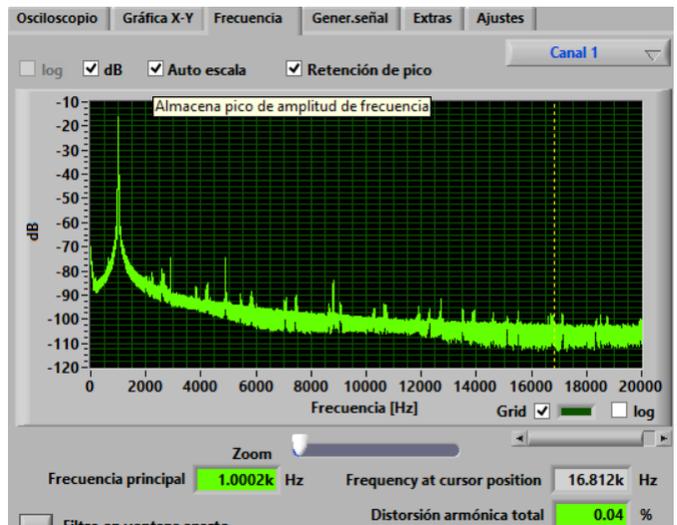
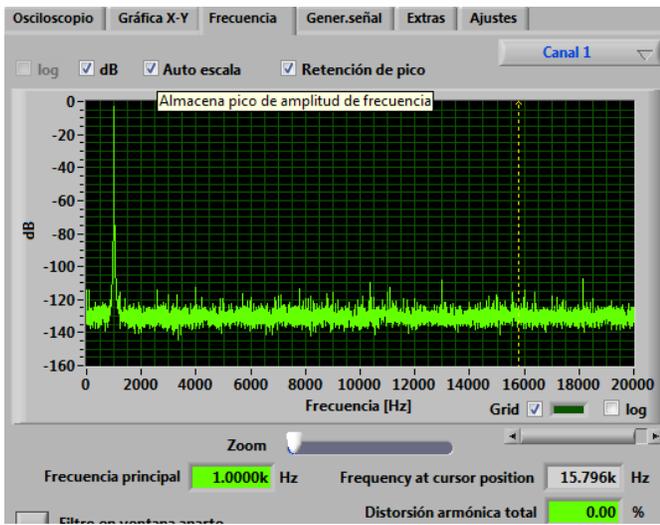
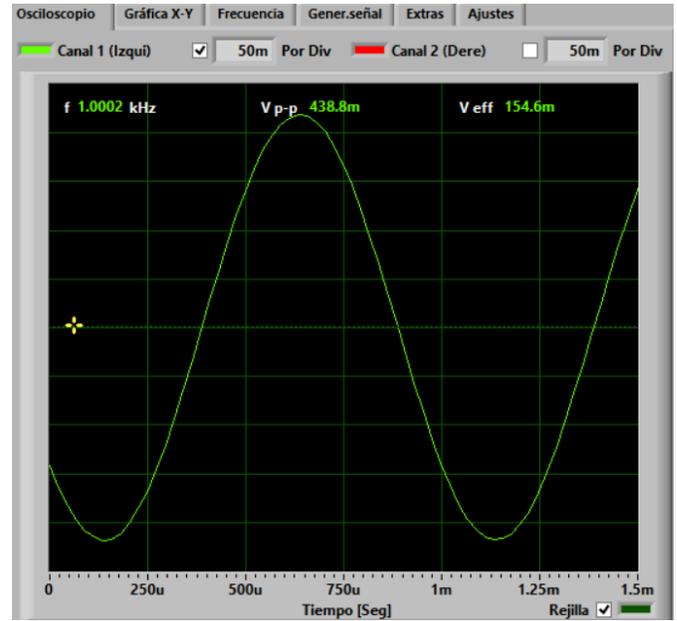
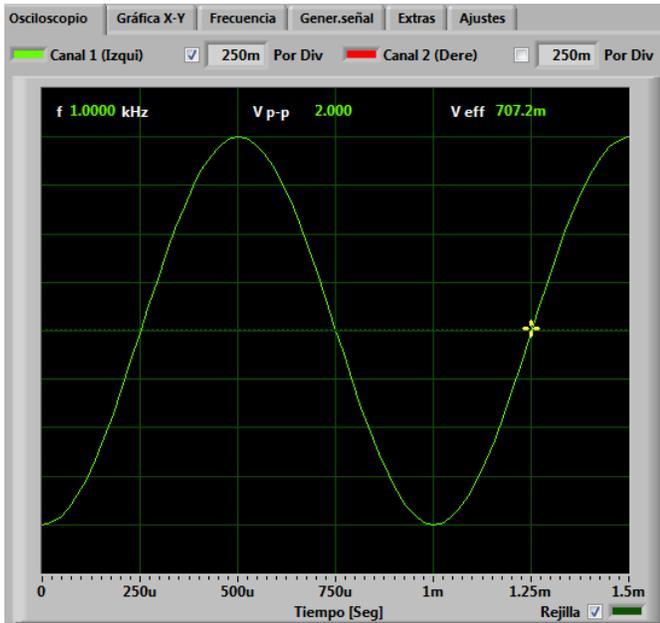
Frecuencia en DB:

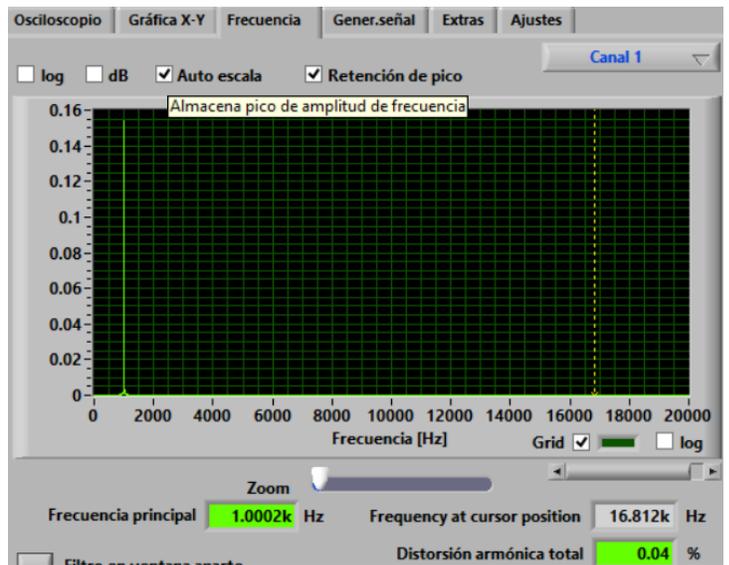
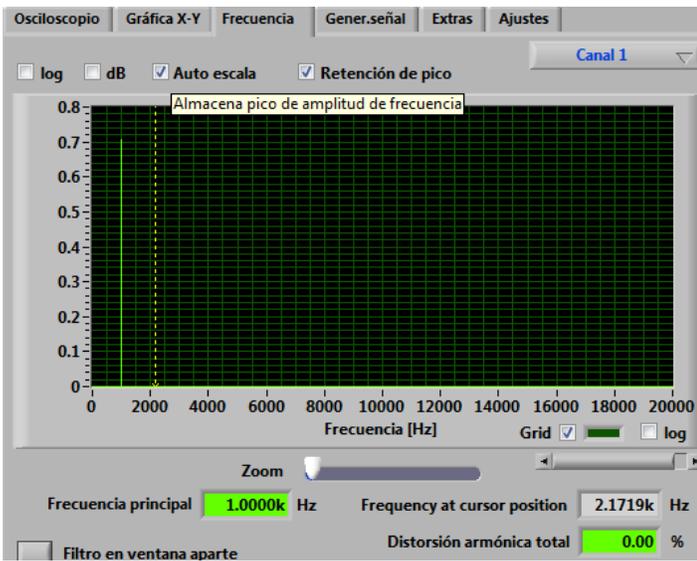


Frecuencia en DB (zoom en 1 KHz):



5.1.2.3.3. Señal Sinusoidal  
Sinusoidal:

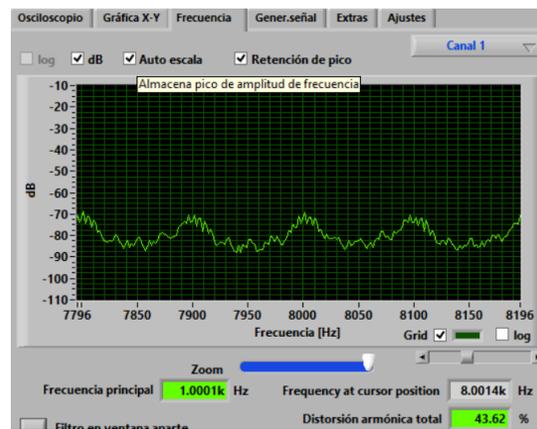
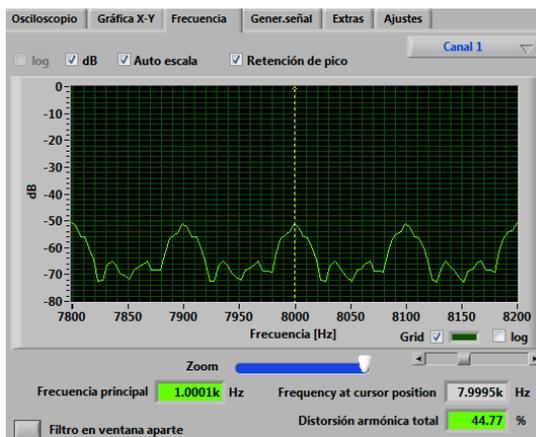


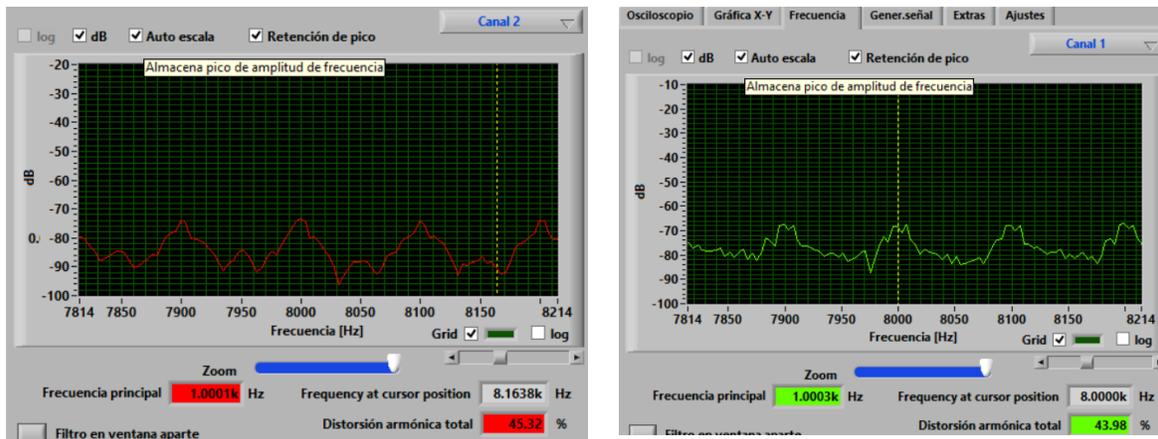


Si comparamos ambas señales (emisión/ recepción) que vemos a continuación:

### 5.1.3. Comparativa entre señales recibidas

#### 5.1.3.1. Comparativa entre señales cuadradas





En este apartado la sonda 2 se comporta mejor, puesto que mantiene una mayor similitud que las otras dos entre la forma de onda de la señal original y la mostrada en el equipo receptor.

### 5.1.3.2. Comparativa entre señales sinusoidales

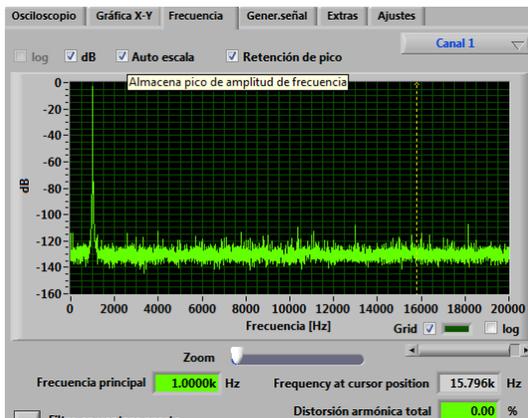


Fig. 48 - Señal generada - sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia (dB)

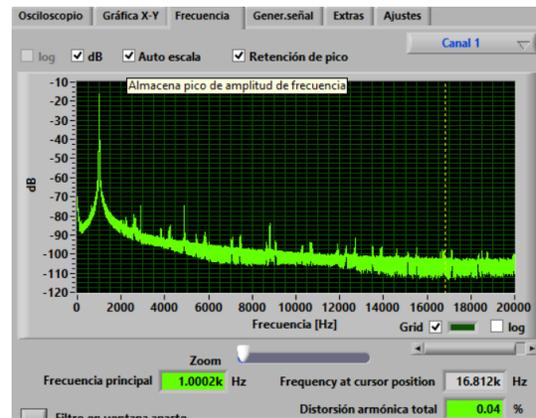


Fig. 49- Sonda 1 - Señal sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia (dB)

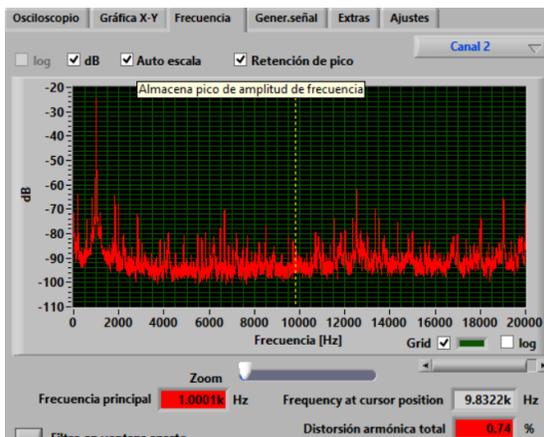


Fig. 50 -Sonda 2 - Señal sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia (dB)

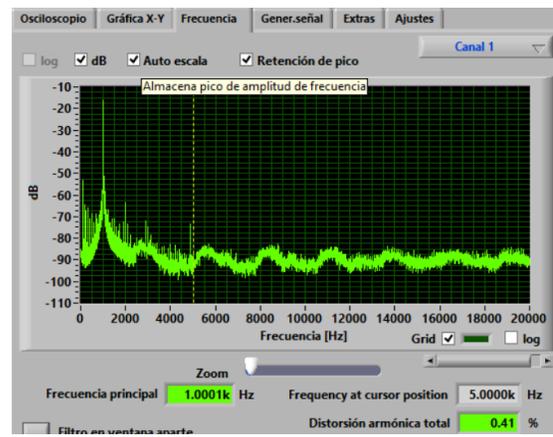


Fig. 51 - sonda 3 - Señal sinusoidal 1KHz - Dom. Frecuencia (dB)

Analizando las 4 señales podemos ver:

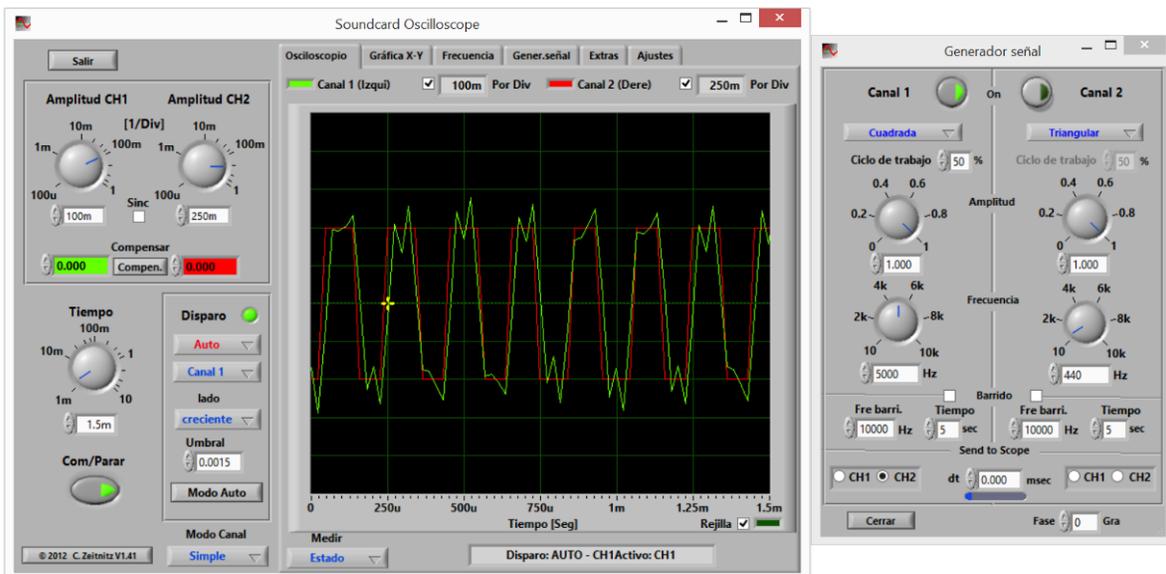
1. como aparecen las frecuencias espurias provocadas por cualquier amplificador se notan mucho más en las dos sondas activas (2 y 3) que en la sonda 1.
2. la distorsión armónica total (THD<sup>3</sup>), es superior también en las sondas activas.

<sup>3</sup> Total Harmonic Distorsion: sumatorio de todos los armónicos entre la frecuencia del tono fundamental, este cálculo puede realizarse en base a potencia, voltaje o intensidad de las señales.

## 5.2. Comparativa entre aplicaciones

Una vez analizadas las 3 sondas se pasará a analizar las tres aplicaciones antes comentadas.

La primera prueba está realizada desde el mismo equipo insertando la señal de salida de la tarjeta de sonido a la sonda y de esta al micrófono de entrada:



Se puede observar la distorsión introducida por el circuito de medida.

Utilizando un segundo equipo podremos obtener más datos, por lo que para llevar a cabo el resto de las pruebas se diseña el siguiente esquema:

**Ordenador portátil 1 → Sonda Osciloscopio → Ordenador portátil 2**

<b>Conexión física</b>	Ordenador portátil 1 (salida de audio)	Sonda Osciloscopio	Ordenador portátil 2 (Mic-in)
<b>Software</b>	Scope V1.43	Sonda 3	spikeHound.m (en Matlab)
<b>Software</b>	Scope V1.43	Sonda 3	Osilloscope
<b>Software</b>	Scope V1.43	Sonda 3	Neurobiology SoftScope
<b>Función</b>	Generación de señales		Análisis de señales

Señales de entrada generada: 2KHz Sinusoidal y 1 Vpp

- Se observa que, para señales de más de 660mv de tensión pico a pico el amplificador operacional de esta sonda empieza a recortar las señales:

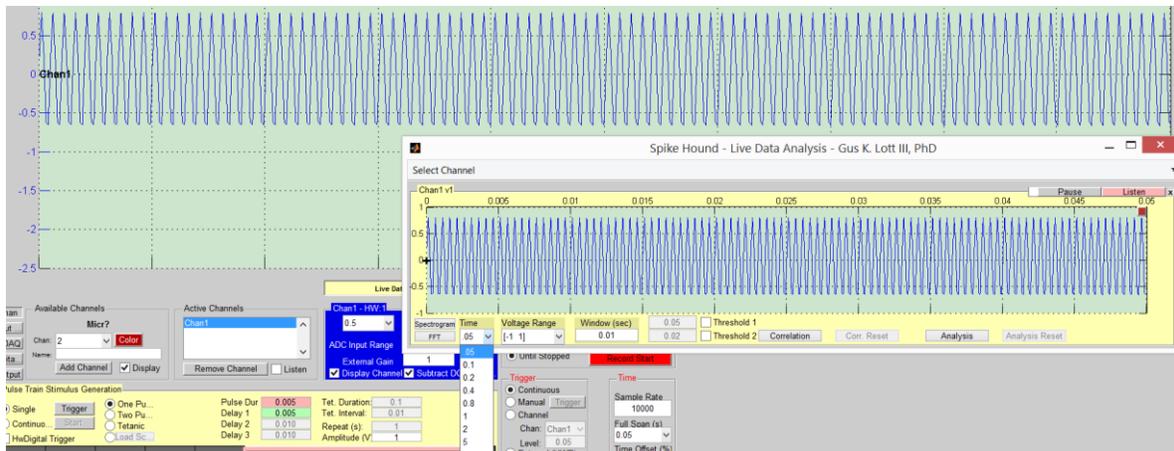


Para evitar este recorte reducimos la tensión de la señal generada, quedando: 2KHz Sinusoidal y 0,6 Vpp.

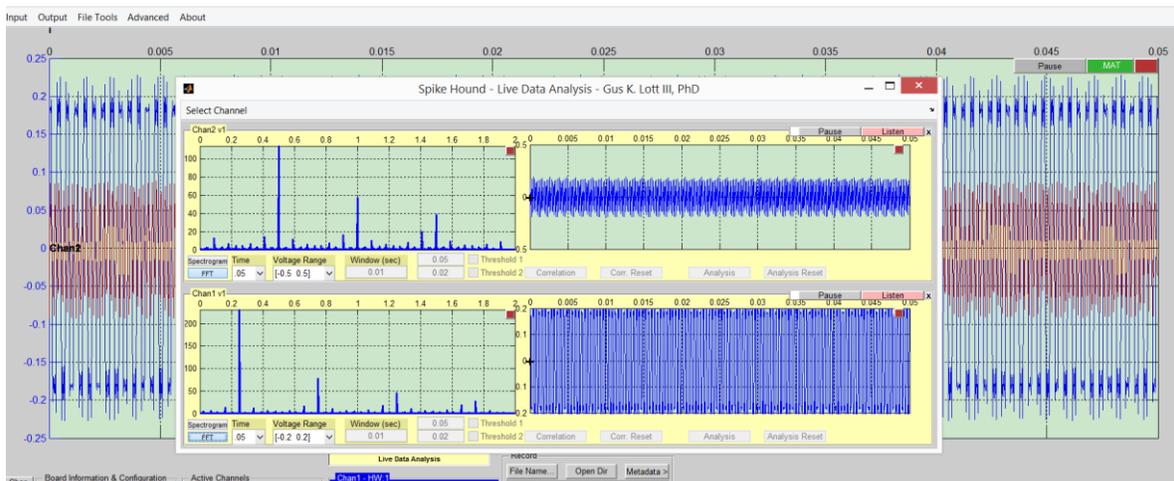
### 5.2.1. Aplicación 1: Spike Hound Oscilloscope

El programa presenta algunas limitaciones importantes como son:

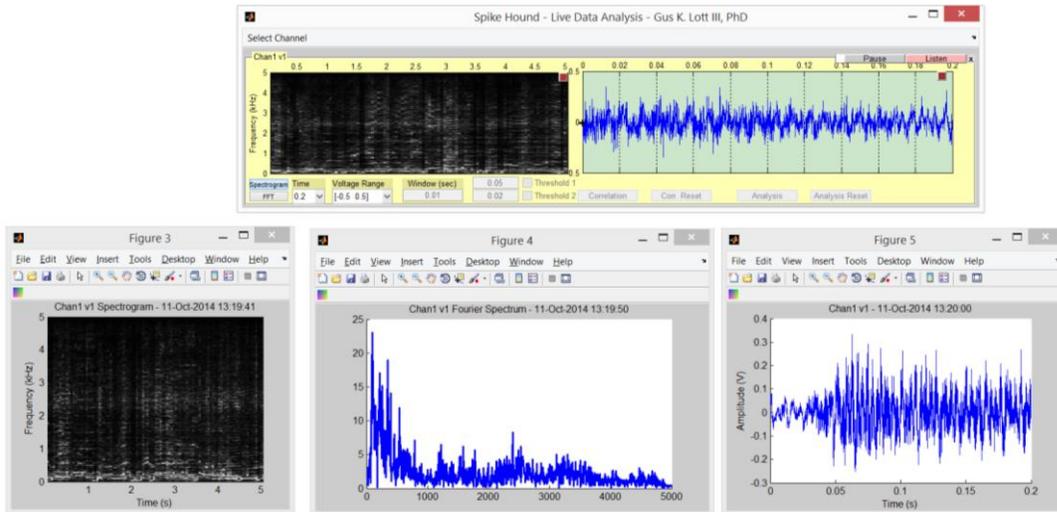
- no poder monitorizar las señales generadas en el propio PC. Simulando una sonda ideal, es decir si en el mismo equipo informático ejecutamos la aplicación de generación de señales y la analizamos, esto nos permitiría analizar la calidad de las diferentes sondas.
- Dificultad para analizar señales rápidas ya que la escala menor del periodo de lectura es demasiado alta (0,5 segundos).



Por otro lado se pueden ver las componentes de frecuencia en tiempo real aplicando la transformada rápida de Fourier (FFT):



Por otra parte, esta aplicación ofrece muchas formas de analizar señales en tiempo real, en la siguiente figura se muestran las tres diferentes señales que permite analizar y capturar, el espectrograma, la FFT y la señal en banda base. En este caso la señal procede de un reproductor de música:

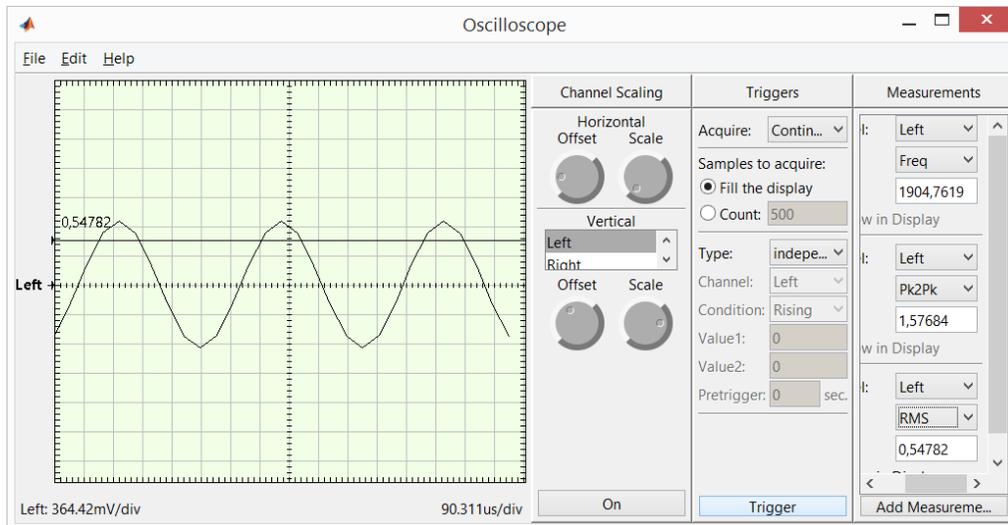


Experiencia de usuario:

- Pros:
  - Permite exportar los datos en variables de matlab o en ficheros .dat para poder tratarlos en otro equipo con matlab.
  - Ofrece muchas formas de analizar señales en tiempo real, espectrograma, FFT, correlar señales.
  - Permite enfrentar en una gráfica distintas magnitudes, amplitud máxima, mínima, densidad de energía, frecuencia de pico, etc.
  - Posee un sistema de generación de señales.
  - Exportación de señales en .dat y posee además un corversor a distintos tipos de archivo .mat, .txt o .wav.
- Contras:
  - No poder mover en el eje vertical las señales (simulando la suma de una señal de DC) lo que permitiría comparar ambas imágenes a la vez.
  - No presenta opción para analizar la señal en frecuencia en escala logaritmica.

### 5.2.2. Aplicación 2: Osciloscope de Matlab

Esta aplicación si permite ver bien la señal, aunque es complicado establecer la base de tiempos deseada ya que el cursor solo se puede manejar con el ratón:



#### Experiencia de usuario:

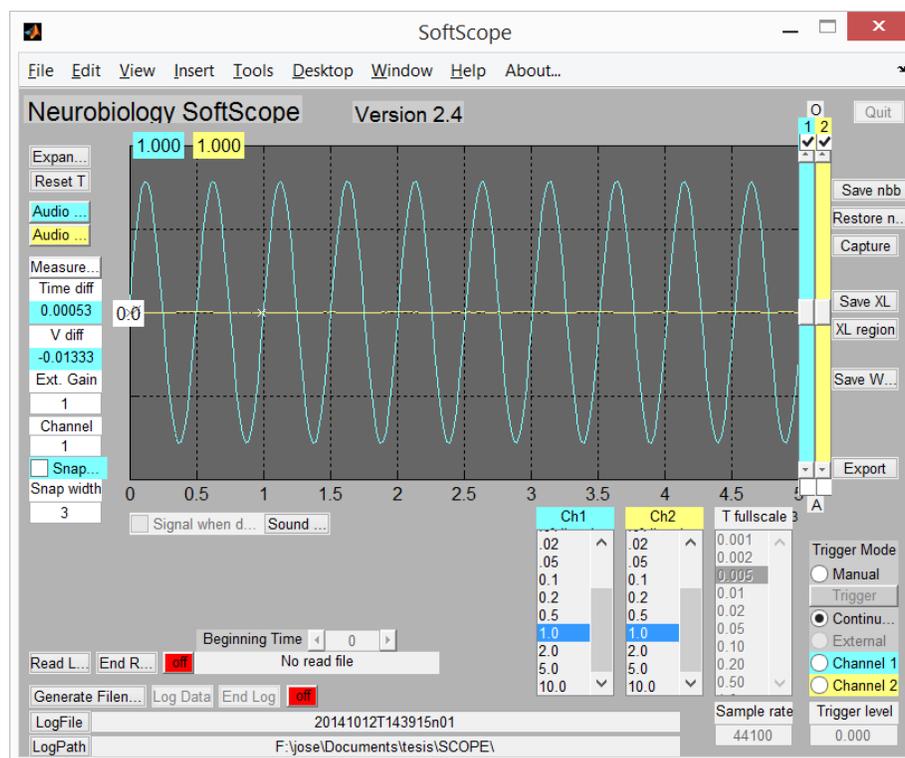
- Pros:
  - Permite exportar los datos en variables de matlab o en ficheros .dat para poder tratarlos en otro equipo con matlab.
  - permite realizar medidas añadiendolas desde el menú de “Edit”.
  - Base de tiempos amplia que permite visualizar señales más rápidas.
  
- Contras:
  - es complicado establecer la base de tiempos deseada ya que el cursor solo se puede manejar con el ratón.
  - Cuando se configura en modo disparo automático al pasar unos segundos deja de mostrar la señal de entrada.
  - No poder monitorizar las señales generadas en el propio PC. Simulando una sonda ideal, es decir si en el mismo equipo informático ejecutamos la aplicación de generación de señales y la analizamos, esto nos permitiría analizar la calidad de las diferentes sondas.
  - No presenta la opción para analizar la señal en frecuencia, ni en escala lineal ni logaritmica.

### 5.2.3. Aplicación 3: Neurobiology SoftScope

En esta aplicación si podemos ver correctamente la señal ya posee una base de tiempos mucha más amplia.

Experiencia de usuario:

- Pros:
  - Muchas funcionalidades y posibilidad de guardar y cargar las señales analizadas, en formato nbb, wab daq.
  - permite realizar medidas con el ratón facimente, pinchando sobre el punto incial y posiciando a continuación el ratón sobre el punto final.
  - Base de tiempos amplia que permite visualizar señales más rápidas.
- Contras:
  - Si la señal de entrada cambiade forma de onda o de frecuencia no se detecta la necesidad de un nuevo disparo y no se actualizar la imagen.
  - No presenta la opción para analizar la señal en frecuencia, ni en escala linear ni logaritmica.





## 6. TRABAJOS FUTUROS

Otros trabajos similares que se pueden realizar serían:

- Analizar los distintos osciloscopios para PC con analizador de espectros externos, donde algunos equipos pueden llegar a alcanzar los 20GHz
- Realizar la evaluación de distintos software generadores de señales para tarjetas de sonido.
- Elaborar prototipos como los siguientes:
  - Analizador de espectros
  - Reflectómetro (TRD)
  - Generador de señales, actualmente por un coste de 3.000€ se pueden generar circuitos que generen formas de onda con frecuencias de hasta 8GHz.

## 7. VIABILIDAD ECONÓMICA

Todos estos dispositivos tienen un coste muy bajo.

Sonda 1:

	Precios
Componentes	7,20€
Montaje (~1/Hora)	10€
Total	17,30€

Sonda 2:

	Precios
Componentes	14,25€
Montaje (~1/Hora)	10€
Total	24,25€

Sonda 3:

	Precios
Kit	5,20€
Componentes adicionales	2€
Montaje (~1/Hora)	10€
Total	17,20€

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto a las sondas, todas ellas cumplen su función correctamente, si bien la más robusta en cuanto a funcionamiento es la sonda 3 mientras que la más sencilla de implementar es la sonda 1. Por otra parte la que presenta una etapa de protección más efectiva para evitar posibles deterioros en la tarjeta de sonido es la sonda 2.

Todas las aplicaciones basadas en Matlab analizadas permiten llevar a cabo medidas con cierta calidad pero todas ellas presentan menos robustez que la aplicación Soundcard Oscilloscope basada en labVIEW.

Tanto la primera como la última aplicación analizadas están basadas en la segunda. Todas ellas utilizan la toolbox de adquisición de datos de Matlab.

### 8.1. Tabla comparativa sobre las sondas:

	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 3
Facilidad de montaje (de 1 a 5)	1	4	3
Número de sondas	2	1	1
Tensión máxima	457 mV	1,81 mV	1,78 mV
Estabilidad (de 1 a 5)	1	3	4
Protección para la entrada Mic-in (de 1 a 5)	1 (nula)	5	3

### 8.2. Tabla comparativa sobre las aplicaciones software:

	Spike Hound Oscilloscope	Oscilloscope de Matlab	Neurobiology SoftScope
Facilidad de uso del Software (de 1 a 5)	3	2	3
Permite su ejecución sin tener Matlab instalado	SI	NO	NO
Análisis en dominio de la frecuencias	SI	NO	NO

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Tektronix 551:  
[http://www.amplifier.cd/Test\\_Equipment/Tektronix/Tektronix\\_other/551.html](http://www.amplifier.cd/Test_Equipment/Tektronix/Tektronix_other/551.html)
2. Documentación oficial del Matlab: <http://www.mathworks.es/es/help/matlab/>
3. Web de la aplicación Spike Hound: <http://spikehound.sourceforge.net/index.html>
4. Osciloscopio de Matlab (softscope):  
<http://es.mathworks.com/help/dag/ref/softscope.html?refresh=true>
5. Documento donde se muestran funcionalidades de Matlab como Osciloscopio y generador de señales [http://www.lums.edu.pk/docs/Sound\\_Card.pdf](http://www.lums.edu.pk/docs/Sound_Card.pdf)
6. Web de la aplicación Soundcard Oscilloscope: [http://www.zeitnitz.eu/scope\\_en](http://www.zeitnitz.eu/scope_en)
7. Web de la aplicación Neurobiology SoftScope V2.4  
<http://people.ece.cornell.edu/land/PROJECTS/SoftScopeV2/>
8. Documentación del circuito de la sonda 1: <http://www.instructables.com/id/Use-Your-Laptop-as-Oscilloscope/?lang=es>
9. Documentación del circuito de la sonda 3:  
<http://www.todoelectronica.com/osciloscopio-para-pc-no34-p-14638.html>
10. <http://people.ece.cornell.edu/land/PROJECTS/SoftScopeV2/index.html>
11. Ejemplo de analizador de espectros de 1000 MHz:  
<http://www.scottyspectrumalyzer.com/>
12. Ejemplo de reflectómetro (TDR): <http://www.epanorama.net/circuits/tdr.html>
13. Ejemplo de generador de señales: <http://advantex.ru/joom1/support/app-notes/77-low-cost-signal-generator.html>
14. Web de fabricantes de osciloscopios para PC: <http://www.picotech.com/oscilloscope.html>

## 10. ANEXOS

### 10.1. Proyectos similares

Existen multitud de implementaciones distintas para realizar un osciloscopio para PC, tanto a nivel de elementos de entrada como a nivel de aplicaciones, en este apartado se repasan algunos de los más relevantes.

- Osciloscopio de alta velocidad: en este proyecto se propone utilizar una etapa previa de ancho de banda de megahercios que combinada con el software Visual Analyser, pueden recuperar señales de hasta 2,2MHZ, siempre que las señales con forma de onda repetitivas.  
<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/45-11/soundcard.html>
- Osciloscopio para el móvil que se conecta a una sonda bluetooth.  
<http://projectproto.blogspot.it/2010/09/android-bluetooth-oscilloscope.html>
- Otro proyecto muy similar a los comentados en el presente trabajo, en este caso el autor se decanta por usar winscope.  
<http://homediyelectronics.com/projects/howtomakeafreesoundcardpcoscilloscope/>

Otras aplicaciones software para Windows:

- Visual Analyser: Actualmente es gratuita pero se contempla realizar una versión profesional con más funcionalidades de pago. No se distribuye el código fuente.  
<http://www.sillanumsoft.org/>
- Winscope: se distribuye gratuitamente, pero no se distribuye el código fuente.  
<http://www.zen22142.zen.co.uk/Prac/winscope.htm>
- Zelscope: Contempla una versión de evaluación pero es una aplicación de pago. No se distribuye el código fuente.  
<http://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump2.cgi?ID=3428>

#### Aplicaciones software para GNU/Linux:

- Xoscope: Es de libre distribución y se puede acceder al código fuente pero el proyecto se encuentra descontinuado desde 2009.  
<http://xoscope.sourceforge.net/>
- Winscope: mediante el emulador wine.
- Visual Analyser: mediante el emulador wine.