



CARACTERIZACIÓN DE TARJETA DE AUDIO PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES EOG

Rodolfo García-Bermúdez^{1,*}, Christian Torres Morán¹, David Zambrano¹, Roberto Becerra-García², Noldy Carracedo³

Resumen

Los movimientos oculares sacádicos son de gran utilidad en el diagnóstico y evaluación de enfermedades neurológicas, para su adquisición y procesamiento se necesita de equipamiento especializado y caro. En este trabajo se realiza la caracterización de una tarjeta de audio de uso comercial con el objetivo de evaluar si es adecuada como una alternativa de bajo costo para la medición de estos movimientos. Se realizan un grupo de pruebas que incluyen la determinación de la calidad de la forma de onda del generador de funciones utilizado, así como el rango dinámico de la tarjeta, su linealidad, resolución, respuesta de frecuencias, respuesta a la onda cuadrada y la estabilidad temporal. A pesar de que en algunos de estos parámetros se obtienen resultados muy buenos, las limitaciones presentes en la adquisición de señales de muy baja frecuencia hacen que se concluya que no es factible el uso de este tipo de hardware en la medición de estos movimientos.

Keywords: sácadas, movimientos oculares, adquisición de datos, ADC

© 2017 Los Autores. Publicado por Universidad Técnica de Manabí. Licencia CC BY-NC-ND
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

Los movimientos oculares sacádicos son considerados como herramientas de gran utilidad en el diagnóstico y evaluación de un conjunto importante de enfermedades relacionadas con el sistema nervioso central, entre ellas las coreas de Huntington [1], el mal de

* Autor para la correspondencia

Correo-E: rvgarcia@fci.edu.ec (Rodolfo García-Bermúdez), christian.torres@fci.edu.ec (Christian Torres Morán), david.zambrano@fci.edu.ec (David Zambrano), idertator@facinf.uho.edu.cu (Roberto Becerra-García), ncarracedo@facinf.uho.edu.cu (Noldy Carracedo)

¹Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

²Universidad de Málaga, España

³Universidad de Holguín, Cuba

Alzheimer [2], el mal de Parkinson y las ataxias hereditarias [3] o relacionadas con otros procesos biológicos como puede ser la miastenia gravis [4].

Esto ha conducido a la existencia de equipamiento especializado para la adquisición de registros oculares sacádicos así como el desarrollo de investigaciones en el área de las neurociencias y la informática relacionadas con el procesamiento y la extracción de características de relevancia clínica, que incluyen el uso de técnicas de inteligencia artificial y el procesamiento estadístico de señales [5] y la modelación [6]. En los últimos años nuestro grupo de trabajo ha estado involucrado en desarrollar técnicas matemáticas y de inteligencia computacional orientadas a la obtención de información relevante en el área médica y de la evaluación del desarrollo psicomotor [7, 8, 9, 10], en un esfuerzo conjunto de investigadores de universidades de Cuba, España y Ecuador.

Sin embargo la aplicación a escala asistencial de estos resultados se ha visto limitada por el elevado costo de los equipos comercialmente disponibles para la realización de las mediciones al sistema oculomotor y su registro en archivos de computadora, adecuados para su posterior procesamiento automatizado. Resulta de importancia entonces intentar desarrollar equipamiento propio, de bajo costo y fácil reproducción que permita la obtención de los datos que necesitamos para nuestro trabajo de investigación y su aplicación a una escala mayor. En esta dirección en la actualidad se está trabajando en la implementación de un equipo que utilizando hardware analógico reconfigurable (FPAA) y microcontroladores Arduino, permita la realización de mediciones y el registro de movimientos oculares con fines clínicos y de evaluación psicopedagógica de niños en edades tempranas.

En el trabajo que se presenta se realiza la caracterización de una tarjeta de audio de las que de manera habitual incorporan las computadoras modernas están concebidas, con el objetivo de determinar si esta puede ser una alternativa viable para realizar la medición de los movimientos oculares sacádicos, sin necesidad de tener que diseñar e implementar hardware con este fin. Estas tarjetas gestionan señales de audio que pueden tener frecuencias máximas de interés en el orden de los 20 kHz, y frecuencias bajas que en ningún caso llegarán a valores de corriente directa. Esta última característica constituye una limitación relevante para su utilización en registros de movimientos oculares, que entre otros incluyen períodos en que los ojos se mantienen estáticos, llamados fijaciones, y que se corresponden por lo tanto con frecuencias de 0 Hz o valores extremadamente bajos.

A pesar de esto, la relevancia ya mencionada de los movimientos oculares sacádicos para propósitos clínicos y de investigación científica hace que resulte de gran interés el estudio en específico de estos movimientos, que son variaciones bruscas de la posición de los ojos con el objetivo de cambiar el foco de lo que se está mirando de un lugar a otro. Esta característica provoca por lo tanto que en estos movimientos no sea de interés la adquisición de componentes de frecuencia de 0 Hz o extremadamente bajas. En su lugar se hace necesaria la cuantificación de transiciones bruscas a las que se asocian componentes de frecuencia de mayor valor. Se ha encontrado que teniendo en cuenta las características espectrales de los movimientos oculares sacádicos deben utilizarse frecuencias de muestreo de al menos 333 Hz y un filtro paso bajo con frecuencia de corte superior a los 100 Hz, con el objetivo de obtener frecuencias no inferiores a 74 Hz en el canal de velocidad, luego de ser aplicado alguno de los filtros de diferenciación digital de uso común con este fin. Por otro lado el pico de velocidades máximas dura entre 1 y 2 milisegundos, por lo que resulta conveniente utilizar una frecuencia de muestreo de 1 kHz (Bahill & McDonald, 1983).

Una frecuencia de muestreo menor puede conducir a que se pierdan los valores más altos de estos picos, reportándose valores máximos de la velocidad sacádica inferiores a los reales.

2. Materiales y métodos

Para realizar la caracterización de la tarjeta de audio no se contaba con generadores de funciones especializados con este fin, en los cuales se conozca el valor de los descriptores que determinan la calidad de la forma de onda generada. Por esta razón se decidió la realización simultánea de mediciones con una tarjeta de adquisición de datos profesional, cuyas características de interés, se conoce que son las apropiadas para este fin.

3. Equipamiento utilizado

- Tarjeta de audio a ser caracterizada: Realtek ALC662 (5.1 CH). Resolución de 16 bits, frecuencias de muestreo hasta 96100 conversiones/seg y rango de entrada ajustable por medio del control de volumen, se usa la entrada de micrófono.
- Tarjeta de adquisición de datos utilizada como patrón: Modelo Comedi 1711. Resolución de 12 bits y una frecuencia de muestreo de hasta 8000 conversiones/seg.
- Generador de funciones marca Leader, modelo L-SG200.

3.1. Esquema de conexionado experimental

Para la realización de todos los experimentos se utilizó el mismo esquema de conexionado del generador de funciones con las tarjetas de adquisición de datos, como se muestra en la figura 1.

La salida del generador de funciones está conectada simultáneamente a la entrada de la tarjeta de adquisición Comedi y a la entrada de micrófono de la tarjeta de audio de la computadora, a los efectos de poder utilizar la primera de estas como instrumento patrón.

Pruebas a realizar Se determinaron un conjunto de pruebas experimentales que son las aceptadas para caracterizar este comportamiento en las mediciones eléctricas de señales biomédicas. Estas pruebas son:

1. Determinación de la calidad de la forma de onda del generador de funciones.
2. Determinación del rango dinámico de la tarjeta, linealidad, resolución
3. Respuesta de frecuencias.
4. Estabilidad de las mediciones
5. Respuesta a la onda cuadrada

Debe tenerse en cuenta, que dada la características de respuesta de frecuencia de las tarjetas de audio, que no permiten el paso de la corriente directa (frecuencias de 0 Hz), todas las pruebas se realizaron con señales sinusoidales repetitivas, excepto para la prueba de la respuesta a la onda cuadrada.

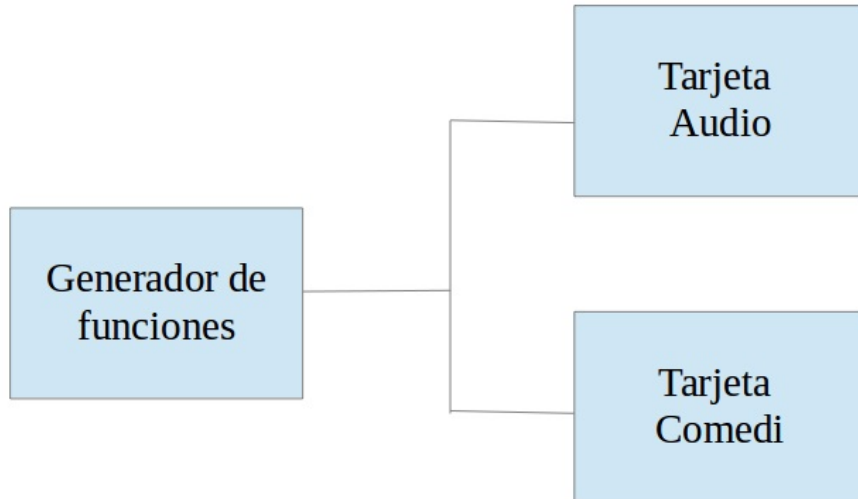


Figura 1: Conexión del generador de funciones a las tarjetas de adquisición de datos

3.2. Descripción del software de medición

Se utilizó el software PYSIGREC desarrollado en el lenguaje de programación Python en la Facultad de Informática de la Universidad de Holguín con la finalidad de realizar registros de movimientos oculares por medio de la tarjeta de adquisición de datos. En específico se empleó el módulo de adquisición de datos de este sistema, modificado para que realizase mediciones simultáneas de la tarjeta de adquisición Comedi y de la tarjeta de audio de la computadora. Este módulo permite la configuración de los siguientes parámetros:

1. Velocidad de conversión.
2. Rango de lectura
3. Cantidad de mediciones a realizar

Los resultados quedan almacenados en dos archivos en modo texto:

1. **comedi.out**: valores obtenidos con la tarjeta comedi
2. **alsa.out**: valores obtenidos con la tarjeta de audio

3.3. Descripción de los experimentos

3.3.1. Experimento 1: Estimación de la calidad de la forma de onda del generador de funciones

Este experimento se diseña con el objetivo de valorar la calidad de la forma de onda sinusoidal que da a su salida el generador de funciones. La valoración se realiza por medio de la comparación de la forma de onda de los datos adquiridos utilizando la tarjeta Comedi, que se utiliza como referencia en este caso, teniendo en cuenta que se trata de

una tarjeta profesional de medición, con los valores que se obtienen al realizar el ajuste de estos datos a una función seno, que es en este caso la forma de onda ideal que debería dar el generador a su salida. Los criterios de medida que se utilizan son:

1. Observación visual de las formas de onda por medio de gráficos.
2. Residuales entre los datos adquiridos y la forma de onda generada por la ecuación de ajuste
3. Comparación entre los espectros de frecuencia de ambas.

Realización del experimento:

1. Establecer una frecuencia de 100 Hz en el generador de funciones, forma de onda sinusoidal.
2. Establecer posición media del control de amplitud y de la atenuación.
3. Establecer los parámetros de funcionamiento de la tarjeta Comedi
 - Frecuencia de muestreo: 8000 conversiones/seg
 - Rango de medición: ± 1.25 v
 - Canal de medición: 0
4. Realizar un bloque de mediciones de 10 segundos

3.3.2. Experimento 2: Determinación del rango dinámico de la tarjeta y su linealidad

1. Establecer una frecuencia de 100 Hz en el generador de funciones, forma de onda sinusoidal.
2. Habilitar las atenuaciones 10, 20 y 40 en el generador de funciones
3. Establecer el mínimo en el control de amplitud del generador de funciones
4. Establecer la ganancia del micrófono de la tarjeta de audio al 50
5. Establecer 8000 conversiones/segundo en la tarjeta de audio
6. Realizar un bloque de mediciones de 10 segundos
7. Subir el control de amplitud del generador de funciones en fracciones aproximadas de 1/5 de su recorrido y repetir la medición
8. Observar el gráfico de las mediciones realizadas, y repetirlas hasta que se obtenga la saturación por amplitud del convertidor A/D.
9. Debe establecerse el rango adecuado en la Comedi para que no llegue a saturarse
10. Cuando el control de amplitud esté al máximo se continuarán las mediciones disminuyendo las atenuaciones
11. Repetir desde el paso 5 con la ganancia alta de la tarjeta de audio

3.3.3. Experimento 3: Respuesta de frecuencias

1. Establecer forma de onda sinusoidal con una amplitud de 3/4 del rango de medición de la tarjeta de audio
2. Establecer una frecuencia de 0.1 Hz en el generador de funciones
3. Establecer la ganancia del micrófono de la tarjeta de audio al 50 %
4. Establecer 8000 conversiones/segundo en la tarjeta de audio
5. Realizar un bloque de mediciones de aproximadamente 10 segundos
6. Repetir las mediciones hasta llegar a 2 Hz, a intervalos de 0.1 Hz, luego hasta 10 Hz, en intervalos de 1 Hz, y hasta 100 Hz, cada 5 Hz
7. Repetir los pasos anteriores para la ganancia alta.

3.3.4. Experimento 4: Estabilidad de las mediciones

1. Establecer forma de onda sinusoidal con una amplitud de 3/4 del rango de medición de la tarjeta de audio
2. Establecer una frecuencia de 100 Hz en el generador de funciones
3. Establecer la ganancia del micrófono de la tarjeta de audio al 50 %
4. Establecer 8000 conversiones/segundo en la tarjeta de audio
5. Realizar un bloque de mediciones de aproximadamente 10 segundos
6. Repetir las mediciones cada una hora, hacerlo 5 veces

3.3.5. Experimento 5: Respuesta a la onda cuadrada

1. Establecer forma de onda cuadrada con una amplitud de 3/4 del rango de medición de la tarjeta de audio
2. Establecer una frecuencia de 0.1 Hz en el generador de funciones
3. Establecer la ganancia del micrófono de la tarjeta de audio al 50 %
4. Establecer 8000 conversiones/segundo en la tarjeta de audio
5. Realizar un bloque de mediciones de aproximar. 10 segundos
6. Repetir la medición para señales de hasta 2 Hz, a intervalos de 0.1 Hz

4. Resultados experimentales y discusión

4.1. Determinación de la calidad de la forma de onda del generador de funciones

La observación visual de las formas de onda mostró que realmente la salida del generador de funciones se corresponde con una señal sinusoidal, se puede constatar que no existen diferencias considerables a simple vista con la función sinusoidal

ajustada a la data que es adquirida por la tarjeta Comedi. La figura 2 muestra el comportamiento de ambas formas de onda, tanto en el tiempo, como en su composición espectral en el campo de la frecuencia. Tampoco se observan diferencias importantes en la composición espectral de ambas, con la mayor parte de su contenido espectral en su frecuencia central, las componentes adicionales se explican por la naturaleza discreta de las señales y su corta duración. La tabla 1 muestra el comportamiento de la frecuencia central para la señal original y el ajuste de la función seno generada, que confirman la impresión que se obtiene

Tabla 1. Valores relativos de la frecuencia central.

	Máxima componente de frecuencia (Hz)	% de la composición espectral
Comedie	101.6	24.67
Ajuste a función seno	102.6	24.72

Estos resultados permiten afirmar que el generador de funciones que se utiliza en las pruebas experimentales ofrece una forma de onda sinusoidal, con una calidad adecuada.

4.2. Determinación del rango dinámico de la tarjeta, linealidad, resolución

La tabla 2 ilustra las mediciones realizadas para la determinación de estos parámetros:

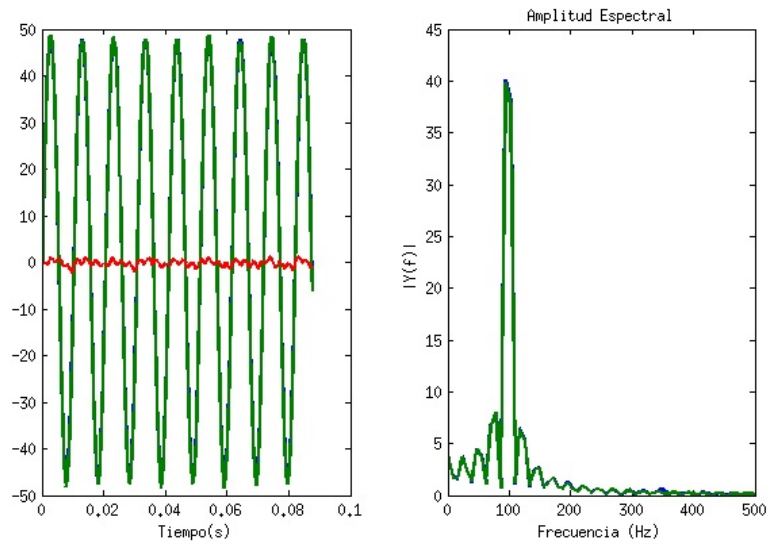


Figura 2: Gráfica de evaluación de la calidad de la señal sinusoidal (izquierda) y su espectro de frecuencia (derecha). Aparece en verde la señal adquirida, en azul el ajuste a una sinusoides y en rojo los residuales entre ambas

Tabla 2: Mediciones realizadas.

Número	Atenuacion (dB)	Amplitud
1	70	0
2	70	0,25
3	70	0,5
4	70	0,75
5	70	1
6	60	0
7	60	0,25
8	60	0,5
9	60	0,75
10	60	1
11	50	0
12	50	0,25
13	50	0,5
14	50	0,75
15	50	1
16	40	0
17	40	0,25
18	40	0,5
19	40	0,75

Donde la amplitud está referida a la posición del cursor de amplitud del generador de

Tabla 3: Valores de amplitud.

Valor	Posicion
0	Extremo izquierdo
0,25	1/4 de recorrido
0,5	1/2 de recorrido
0,75	3/4 de recorrido
1	Extremo derecho

funciones, de acuerdo a la correspondencia que se observa en la siguiente tabla: Es conveniente destacar que el valor de 0 (extremo izquierdo), se corresponde con un mínimo de la salida del generador de funciones (que no es de valor 0), para la atenuación seleccionada; mientras que 1 (extremo derecho) es el máximo de dicha salida. La atenuación está expresada en decibelios (dB), que se definen según la ecuación siguiente:

$$dB = 10 \log_{10} \frac{V_i}{V_s} \quad (1)$$

Donde V_i y V_s , son los valores referidos a la señal antes y después de atenuarse, por lo tanto los valores atenuación dados en la tabla se corresponden con la división de la señal de salida del generador de funciones según la siguiente tabla:

Tabla 4: Atenuaciones en el generador.

0	1
10	10
20	100
30	1000
40	10000
50	100000
60	1000000
70	10000000

Estas mediciones fueron valoradas por medio de la observación visual, se desecharon aquellas en las que las formas de onda obtenidas por la adquisición de la tarjeta de audio resultaban manifiestamente distorsionadas, esto sucedió fundamentalmente en las posiciones de extrema izquierda del control de amplitud, que para algunas escalas de atenuación dieron valores de amplitud muy bajos y con una alta presencia de ruido.

Como resultado de este proceso de selección quedaron 8 valores de amplitud de la forma de onda que fueron analizados. Para cada uno de estos 8 experimentos se realizó la comparación entre la forma de onda obtenida y el ajuste a una función seno, de manera similar a como se hizo en la prueba anterior.

Para comprobar el comportamiento lineal de la tarjeta de audio para las diferentes amplitudes de la señal se realizaron gráficas en las que se representaron en los ejes “x” e “y”, los valores de la tarjeta de audio y el ajuste correspondiente a la función seno de esa

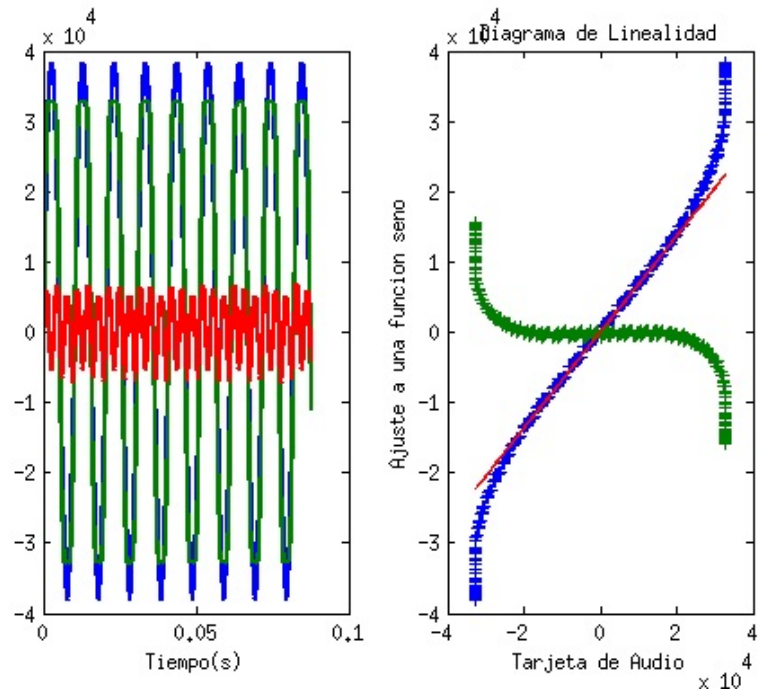


Figura 3: Relación entre los valores medidos con la tarjeta de audio y el ajuste a una función seno, para el caso de que ocurra saturación. Izquierda: Valores tarjeta de audio (verde), ajuste a función seno (azul) y residuales (rojo). Derecha: Valores de ambas señales (azul), ajuste a una línea recta (rojo) y residuales (verde)

señal, y se realizó el ajuste a la línea recta que los relaciona. La figura anterior muestra estos resultados para uno de estos experimentos.

Pudo observarse una adecuada linealidad de la tarjeta en un amplio rango de valores, comenzando a observarse desviaciones de este comportamiento en la zona cercana a los máximos de la tarjeta, esto puede observarse en la figura 3.

La siguiente tabla muestra estos valores para las pruebas realizadas:

Tabla 5: Residuales obtenidos

Amplitud	Total Residuales Señales	Total Residuales Ajuste
1925	9.55E+06	6.15E+04
5664	1.05E+07	5.81E+04
7513	1.03E+07	6.02E+04
12066	1.69E+07	5.96E+04
17911	3.23E+07	7.49E+04
22303	4.81E+07	9.58E+04
34845	1.27E+09	1.00E+06
38132	1.36E+10	4.69E+06

En esta tabla es posible observar el incremento brusco de los residuales para las señales de amplitudes superiores al rango de la tarjeta de audio, que estará en ± 32767 por ser de 16 bits. Una observación más detallada del comportamiento del valor absoluto de los residuales contra el valor absoluto del valor leído por la tarjeta de audio se muestra en la siguiente figura:

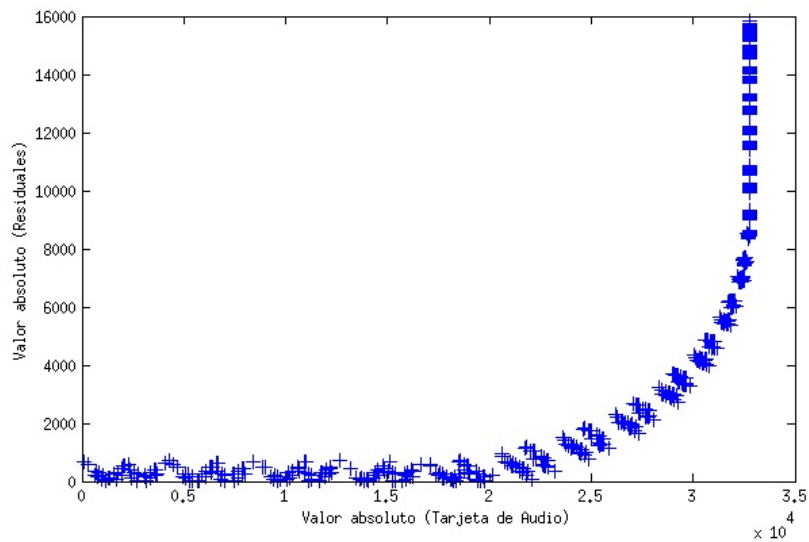


Figura 4: Valor absoluto de los residuales

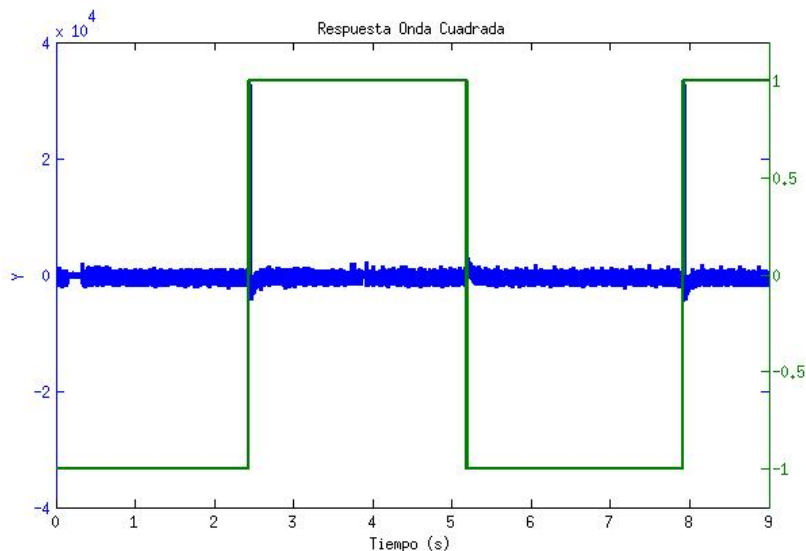


Figura 4: Representación de una onda cuadrada de 0.3 Hz (verde) y la respuesta de la adquisición por la tarjeta de audio (azul)

Existe un cambio de comportamiento apreciable en los residuales cuando los valores de entrada superan a 20000, comenzando un codo en la curva que se corresponde con el incremento abrupto del error en las mediciones. Es posible afirmar entonces que en el rango de ± 20000 de los valores de entrada en la tarjeta de audio, se mantiene un comportamiento adecuadamente lineal para su utilización como instrumento de medición. A partir de este valor y hasta su límite máximo de ± 32767 sería necesario introducir correcciones a las lecturas obtenidas para mantener la linealidad.

5. Determinación del comportamiento ante una onda cuadrada

Esta prueba es de gran importancia, teniendo en cuenta que se conoce que la tarjeta de sonido tiene limitaciones en su ancho de banda. La figura que se muestra a continuación ilustra el comportamiento para una onda cuadrada de frecuencia igual a 0.3 Hz.

Estas mediciones se realizaron para un rango de frecuencias de 0.3 Hz hasta 2 Hz,

obteniéndose resultados similares para todas ellas. En específico se midió el tiempo en que la respuesta de la tarjeta de audio caía desde su valor máximo hasta un 70% y un 10% de su valor, ante un estímulo cuadrado, que tiene características similares a los movimientos oculares sacádicos. La siguiente gráfica muestra el detalle de una transición del estímulo y los puntos de caída para el 70% y el 10% del valor máximo. Los resultados consolidados de las pruebas realizadas se pueden observar en la siguiente tabla:

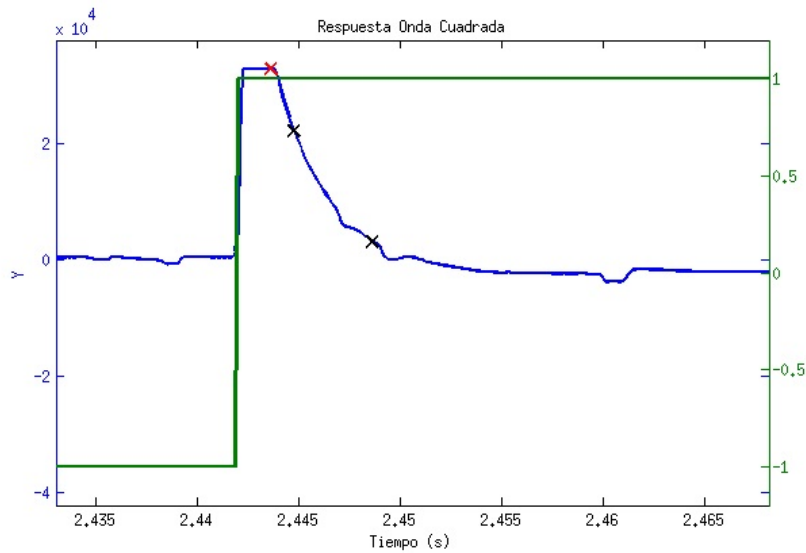


Figura 5: Detalle de la respuesta a la onda cuadrada (verde), punto de máximo (rojo), 70 % (negro) y 10 % (negro)

Tabla 6: Tiempos hasta alcanzar valores significativos de la componente estable

Frecuencia	Tiempo 70% valor máx. (ms)		Tiempo 10% valor máx. (ms)	
	Media	Desv. Estándar	Media	Desv. Estándar
0,3	0,83	0,07	4,67	0,07
0,5	0,88	0,00	4,53	0,10
0,7	0,82	0,12	4,52	0,20
0,9	0,86	0,04	4,56	0,23
1,1	0,84	0,06	4,63	0,19
1,2	0,83	0,06	4,51	0,29
1,3	0,81	0,06	4,54	0,17
1,5	0,87	0,09	4,57	0,22
1,8	0,85	0,05	4,60	0,22
1,9	0,89	0,10	4,57	0,21
Totales	0,85	0,07	4,57	0,19

Esta tabla muestra que no existen cambios significativos en los tiempos de caída para las diferentes frecuencias de la onda cuadrada que se evaluaron. Tanto en la gráfica detallada como en los resultados de la tabla es posible observar que estos tiempos son extremadamente bajos, en comparación con los tiempos que usualmente se emplean en

las fijaciones de los estudios de movimientos oculares sacádicos, que están en el orden de los segundos. Ni siquiera se acercan a los tiempos de duración de las sácadas de sujetos sanos, que están en el orden de los cientos de milisegundos. Puede concluirse entonces que desde el punto de vista de su respuesta a las señales cuadradas, esta tarjeta no es adecuada para la adquisición de movimientos oculares sacádicos.

6. Conclusiones

Se realizó un análisis experimental, donde se realizaron tres pruebas necesarias y suficientes que arrojaron resultados exactos, una de ellas fue la prueba que se le hizo al generador de funciones que se utilizó, la cual dio como resultado que a pesar de ser un equipo antiguo ofrece una forma de onda sinusoidal, con una calidad adecuada para la posterior realización de experimentos. Se realizó el estudio detallado de las características de una tarjeta de audio embebida en una motherboard comercial de una computadora de escritorio. En general se obtuvo una buena respuesta de la tarjeta, en cuanto a su linealidad y rango de trabajo. La aplicación de una señal sinusoidal de 100 Hz permitió comprobar que en un 60 % de su rango máximo la tarjeta puede funcionar adecuadamente como instrumento de medición. Los tiempos de caída que se determinaron al aplicar ondas cuadradas de baja frecuencia impiden que esta tarjeta funcione adecuadamente con señales provenientes de movimientos oculares sacádicos. Por todo lo anterior puede concluirse que esta tarjeta de audio no puede utilizarse directamente como tarjeta de adquisición de datos en este tipo de señales, aunque sí pudiese ser utilizada en otras señales de diferentes características a las señales oculares.

Referencias

- [1] S. S. Patel, J. Jankovic, A. J. Hood, C. B. Jeter, A. B. Sereno, Reflexive and volitional saccades: Biomarkers of Huntington disease severity and progression, *Journal of the neurological sciences* 313 (1).
- [2] A. L. Boxer, S. Garbutt, W. W. Seeley, A. Jafari, H. W. Heuer, J. Mirsky, . . . others, Saccade abnormalities in autopsy-confirmed frontotemporal lobar degeneration and Alzheimer disease. *Archives of neurology* 69 (4).
- [3] J. Otero-Millan, R. Schneider, R. J. Leigh, S. L. Macknik, S. Martinez-Conde, Saccades during attempted fixation in parkinsonian disorders and recessive ataxia: From microsaccades to square-wave jerks, *PLoS One* 8 (3).
- [4] A. G. Nair, P. Patil-Chhablani, D. V. Venkatramani, R. A. Gandhi, Ocular myasthenia gravis: A review, *Indian journal of ophthalmology* 62 (10).
- [5] A. Domagalik, E. Beldzik, M. Fafrowicz, H. Oginska, T. Marek, Neural networks related to pro-saccades and anti-saccades revealed by independent component analysis, *Neuroimage* 62 (3).
- [6] R. T. Rato, L. B. Palma, A. G. Batista, Empirical models for horizontal saccadic eye movements, En *Human System Interactions (HSI)*, 2014.
URL http://www.researchgate.net/profile/RT_Rato/publication/269111131_Empirical_Models_for_Horizontal_Saccadic_Eye_Movements/links/5481cb9f0cf2941f830a0088.pdf
- [7] R. Garcia-Bermudez, C. Velazquez-Rodriguez, F. Rojas, M. Rodriguez, R. Becerra-García, M. Velázquez-Mariño, L. . . . Velázquez, Evaluation of Fitting Functions for the Saccade Velocity Profile in Electrooculographic Records, En *Advances in Computational Intelligence*, 2015.
URL http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19222-2_49
- [8] R. V. García, F. Rojas, C. G. Puntonet, S. Román, V. B., L., R. Rodríguez, Computer-aided diagnosis of ataxia SCA-2 using a blind source separation algorithm, *Cognitive Computation* 2 (3) (2010) 165–169.
URL <http://doi.org/10.1007/s12559-010-9049-0>

- [9] F. Rojas, R. Garcia-Bermudez, J. Gonzalez, L. Velazquez, R. Becerra, O. Valenzuela, S. Román, Belén, (2012), Identification of Saccadic Components in Spinocerebellar Ataxia Applying an Independent Component Analysis Algorithm. Neurocomputing.
URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V10-45M6G4R-5/2/be1c7b9ddf4b59d44f5f07e02f93e80b>
- [10] R. V. García, F. Rojas, R. Becerra, L. Velázquez, R. Rodríguez, A wavelet decomposition level selection method for velocity computation in noisy EOG records of ataxia patients, International Journal of Psychophysiology 85 (3).
URL <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.07.156>