

Implementación de un sistema de adquisición de datos, convertidor análogo digital (CAD) de 16 bits a bajo ruido

Christian Manuel Moreno Rocha^{10*}, Andrés Alfredo Medina Guzman¹¹

DOI: <https://doi.org/10.33132/27114260.1994>

Resumen

En la actualidad existe un presuroso desarrollo de la electrónica y la microelectrónica, esto ha motivado que todas las esferas de la vida humana se estén automatizando, por ejemplo, la industria, el hogar, los comercios, la agricultura, la ganadería, el transporte, las comunicaciones, etc. En todo ese proceso de automatización el microprocesador y el microcontrolador desempeñan un papel de suma importancia. Estos han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes que son capaces de resolver los más diversos problemas y son los llamados “sistemas de adquisición de datos”.

El objetivo básico de los sistemas de adquisición de datos es la unificación de los diferentes recursos que lo integran tales como: transductores, multiplexores, amplificadores, conversores A/D y D/A, de memorias y puertos externos y creando con todo ello un sistema que se encargue de una aplicación específica como por ejemplo, es chequear unas variables (PH, humedad relativa, temperatura, iluminación, tensión eléctricas, concentración, etc.) para su utilización posterior, ya sea con resultados para docentes, científicos, de almacenamiento o control.

El objetivo principal de este proyecto fue el diseño y la elaboración de un dispositivo de adquisición de datos basado en un conversor analógico digital de 16 bits y una etapa de acondicionamiento de bajo ruido, este dispositivo permite obtener, registrar y visualizar la información en un computador para su posterior estudio. La aplicación de este dispositivo puede estar proyectada para realizarse en el campo de la sismología, la medicina, la ingeniería civil, eléctrica o electrónica, etc., por ejemplo, si se deseara utilizar en la sismología, el equipo diseñado cuenta con un sensor mag-

10 Departamento de Energías de la Universidad de la Costa (CUC). cmoreno7@cuc.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-8902-7896>

11 Departamento de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad de la Costa (CUC). amedina10@cuc.edu.co

nético, que podrá registrar y medir las variaciones en los movimientos terrestres, ya provengan estos de terremotos o vibraciones provocadas para la exploración sísmica o sean de alta o baja magnitud.

Otro campo de aplicación del equipo diseñado puede ser en el registro de actividad electrodérmica, una técnica no invasiva que se utiliza para estudiar las reacciones corporales a diversos estímulos y tiene múltiples aplicaciones en el campo biomédico (dermatología, endocrinología, psicopatología, neurología, etc.).

Este artículo presenta la implementación de un sistema de adquisición de datos a 16 bits, en el que se realizan mediciones de diferentes magnitudes de tensión y en presencia de muy bajo ruido gracias a la electrónica implementada, lo cual hace al dispositivo muy confiable y eficiente. El diseño ha procurado brindar las siguientes características: tamaño reducido, conectividad con un ordenador personal, seguridad eléctrica, muy bajo ruido, posibilidad de incorporar nuevas funcionalidades y que sea de bajo costo y fácil adquisición y manipulación.

Palabras clave: aislador eléctrico, amplificador instrumental, conversores, filtros, instrumentación.

Introducción

Los SAD se componen de diferentes etapas, en la primera etapa se requiere determinar las variables del proceso que contienen o conforman toda la información requerida. La segunda etapa requiere el acondicionamiento de estas variables, con este acondicionamiento lo que se busca es convertir dichas señales en señales eléctricas que se adapten a las señales requeridas por el SAD, en la tercera etapa se hace uso de las señales digitales equivalentes a sus analógicas de la segunda etapa, esto para enviarlas a un ordenador por medio de protocolos

de comunicación establecidos, la cuarta y última etapa consisten en la visualización por medio de *software* especializados, no solo la visualización, sino también su manipulación.

Una tarjeta de adquisición de datos es sin duda uno de los equipos o instrumentos más utilizados por los profesionales en formación o ejecución en las áreas de instrumentación, control automático y procesamiento digital de señales, pero el costo de un equipo de estos puede variar significativamente dependiendo del tipo de conexión, *peripheral component interconnect* (PCI)

(PCI Interest Group, 1998) o *universal serial bus* (USB) (Universal Serial Bus Group, 2007).

En el momento de construir un sistema de adquisición de datos de bajo costo y que esté orientado a la enseñanza, se deben considerar dos aspectos importantes. El primero está dado por la popularización y alta aplicación del computador portátil en los centros de formación profesional por parte de los estudiantes y docentes, esta nueva tendencia ha ocasionado que sea mucho más común y atractiva la conexión USB para el trabajo en el laboratorio o el hogar. El segundo aspecto está orientado hacia la manipulación del *software* de control, esto es debido a que la mayoría de los programas utilizados en la formación profesional deben contar con licencias. Algunos de los programas más utilizados son: LabView® (National Instruments®, 2005) y Matlab® (Mathworks®, 2008), cuyos costos pueden superar varios cientos de dólares, en el caso de Matlab®, los instructores pueden utilizar gratuitamente una versión estudiantil para propósitos académicos y suministrarla a sus estudiantes. Una alternativa gratuita se encuentra en las aplicaciones de *software* libre GNU (Smith, 2009), sin embargo, su instalación y utilización puede resultar tediosa y restringirse únicamente a

sistemas operativos como Linux®.

La resolución de un instrumento digital es una característica indispensable y de mucha importancia, ya que si un usuario necesita medir o cuantificar la magnitud de un fenómeno en estudio, dicha medida debe ser fiable a las características mostradas por el fenómeno. En la actualidad se encuentran proyectos diseñados y elaborados de tarjeta de adquisición de datos, que cuentan con diferentes configuraciones, como el tiempo de muestreo y visualización, también se tienen en cuenta las entradas y salidas de cada tipo sensor o actuador. Estos son algunos trabajos de grado o tesis que se encuentran en las universidades a escala global: en el 2010, Liao y Yang (2010) desarrollaron un sistema de interferometría de luz blanca de barrido (SWLI) que utilizó un módulo espejo conversor de digital a analógico; por otro lado, Ameli(2019) diseñaron una placa digitalizadora altamente configurable que incluye doce canales de adquisición completos, los componentes de la placa de convertidores analógicos a digitales (CAD) se pueden elegir para adaptar la aplicación específica, que van desde doce bits 65 MHz hasta catorce bits 250 MHz; así mismo, Moseiko *et al.* (2020) desarrollaron modernos convertidores analógi-

co-digitales multicanal (modelo BPA-8), junto con un sistema de adquisición de datos, gestionado con un controlador de caja inteligente (modelo K-167) que controla los módulos de medida para la astronomía y la astrofísica de rayos gamma de muy alta energía; en la Universidad Superior José Antonio Echavarría de Cuba fue diseñada una interfaz de control de un sistema para la adquisición y registro de señales de variables fisiológicas con el empleo de una tarjeta A/D comercial (tarjeta USB-1208FS).

A escala nacional, en el 2009, en la Universidad del Quindío (López, 2009) se desarrolló una tarjeta de adquisición de datos multiplataforma orientada a la enseñanza de los sistemas de control en tiempo real, esta tarjeta dispone de un microcontrolador ATmega168p, conexión USB y fue construida utilizando herramientas de *software* libres. El mismo año, en la Universidad EAFIT de Medellín (Neuta Chiguasque, 2020), se obtuvo el diseño y montaje de un sistema de adquisición de datos que permitiera visualizar las señales que generan los sensores de un motor de combustión interna de un carro y transmitir las al *software* para su posterior análisis y presentación. Los instrumentos de medición modernos son, por supuesto, electrónicos.

Metodología

Para la realización de este proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: la primera etapa del trabajo se dividió en dos partes, la recopilación bibliográfica (artículos, libros, etc.), esto haciendo una investigación de tipo documental, y el diseño y la construcción de cada uno de los circuitos y prototipos que se necesitaron para el diseño del dispositivo o tarjeta de adquisición de datos; para esta segunda parte se realizó una investigación de tipo experimental y de laboratorio.

La segunda etapa del proyecto consistió en ejecutar un protocolo de pruebas para evaluar el sistema en diferentes tipologías de medición. Lo primero que se fue contar con *software* y *hardware* como Arduino, Linduino, Proteus, Matlab, Corel Draw, Spice, Eagle, Visual Studio, entre otros, dichos *software* sirvieron para el diseño, la visualización, la ejecución y la simulación de cada uno de los circuitos que se implementaron.

Una vez se obtuvo cada uno de estos *software* y *hardware* se procedió al diseño en primera instancia, para después construir cada uno de los circuitos necesarios para el acondicionamiento de la señal de entrada; para este paso se llevaron a cabo simulaciones de dichos

circuitos para poder comprobar su eficaz funcionamiento, estas simulaciones se podrán hacer en programas como Proteus, Arduino o Matlab.

Resultó de gran importancia que una vez se verificó, por medio de simulaciones, el correcto funcionamiento de los circuitos se procedió a la construcción de forma física de cada uno, con el fin de implementar un programa o sistema que ejecute un circuito total o macro con las características principales de funcionamiento a bajo ruido y adquisición y registro de los datos de manera confiable; para lograr esto se sumó un sistema de aislación eléctrica de referencia ADUM- 4160.

En seguida, se procedió a la implementación de una interfaz gráfica o al di-

seño y la construcción con los *software* especializados Arduino y Matlab. Esta visualización no solo permitió observar de una mejor forma la señal acondicionada, sino que además permitió analizar y caracterizar la señal entrante al sistema. Este punto se puede observar en el diagrama de bloques que presenta el esquema de todo el sistema de adquisición de datos en la figura 1:

El sistema de adquisición diseñado captura, filtra y digitaliza las señales provenientes del sensor magnético y permite el almacenamiento en un computador. La señal detectada es amplificada y digitalizada por medio de un CAD, que para este proyecto fue de 16 bits, el cual garantiza mayor confiabilidad en los datos obtenidos. El enlace entre el

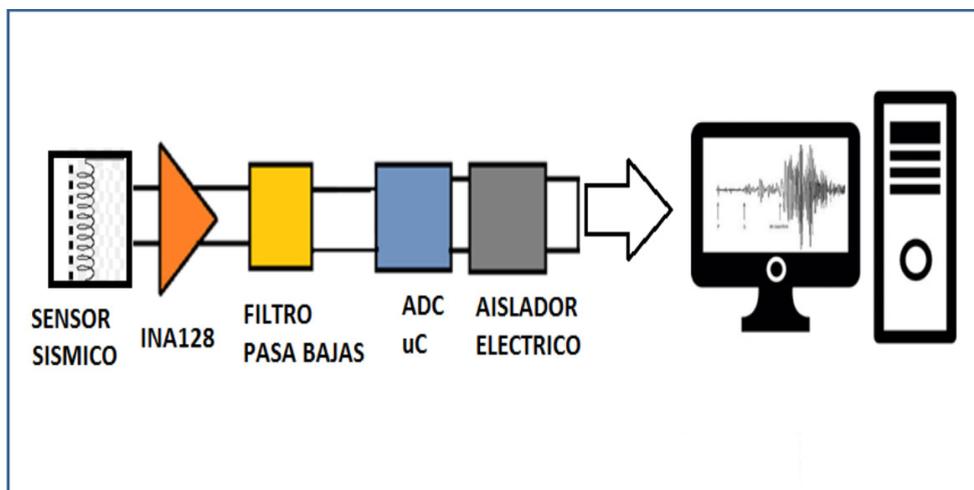


Figura 1. Esquema del sistema de adquisición
Fuente: elaboración propia.

CAD y el computador lo constituye una tarjeta programable con un microcontrolador, basada en la plataforma de Arduino UNO para la captura de los datos con el puerto USB y su posterior visualización en un computador

Circuitos implementados y caracterizados

En el montaje del sistema como tal, la primera parte fue la caracterización de varios amplificadores operacionales con su respectiva ganancia, esto con el objetivo de poder observar cuál presentaba mejor rendimiento y poder adicionarlos a la construcción de todo el sistema.

La alimentación de los circuitos amplificadores se llevó a cabo con una fuente dual hecha con dos baterías de ion de litio de 3,6 V cada una. Se escogió el amplificador operacional que presentaba mejores características con este voltaje de alimentación; algunos amplificadores operaciones implementados y caracterizados fueron:

En la figura 3 se puede observar que, si bien no hay ningún problema con la señal de entrada, ya que se logra observar sin ninguna perturbación (color amarillo), esta imagen del osciloscopio también permite observar que el amplificador como tal funciona, ya que la

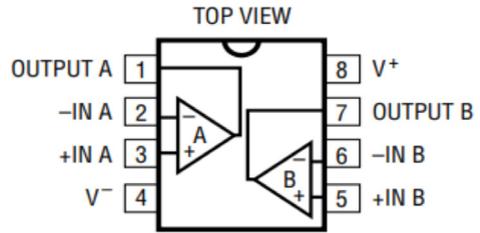


Figura 2. Visualización del amplificador Lt 1014 Fuente: tomada de Datasheet.

señal de salida (color azul) se encuentra amplificada con respecto a la de entrada, pero esta señal de salida sí presenta algunas perturbaciones, esencialmente en los picos de su onda, es decir que tanto para el ciclo positivo como para el ciclo negativo la onda de salida se está saturando, esto debido a características propias del amplificador Lt 1014.

Otro amplificador operacional que se caracterizo fue el Lt 1001 (figura 4), que arrojó como resultado que la señal de salida, si bien obedece a la amplificación deseada, presenta una perturbación

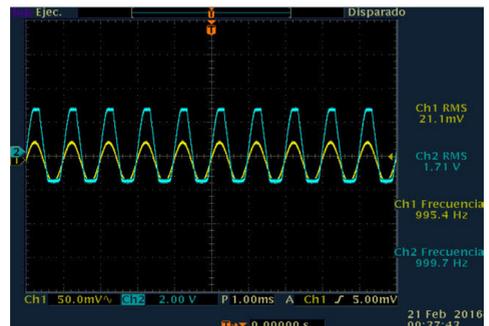


Figura 3. Caracterización del amplificador Lt 1014 Fuente: elaboración propia.

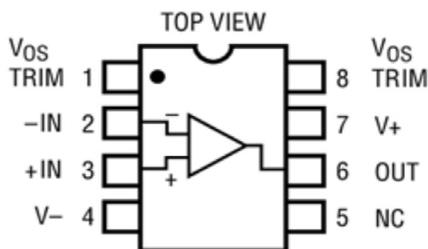


Figura 4. Amplificador operacional Lt 1001
Fuente: tomada de Datasheet

de saturación en su ciclo negativo, lo que da como resultado una señal no deseada para esta investigación (figura 5).

Por último, se realizó el montaje del circuito amplificador instrumental de ganancia ajustable INA 128, con una fuente dual de 12 V (figura 6); este es un amplificador de instrumentación de bajo costo, ofrece un consumo sumamente bajo y funciona con un amplio rango de

alimentación simple o doble. Sin embargo, una resistencia externa simple ajusta cualquier ganancia de 1 a 1000.

Este dispositivo ofrece excelente precisión debido al uso de nuevos transistores de entrada superbeta que proporcionan voltaje de compensación excepcionalmente bajo, deriva de voltaje de compensación, corriente de polarización de entrada y ruido de corriente y voltaje de entrada. Para esta investigación se procedió, en particular, a ajustar la ganancia del INA 128 para que amplificara la señal de entrada 100 veces.

Luego se decidió utilizar un filtro de segundo orden pasabajo, con unas características específicas tal como una frecuencia de corte de 30 Hz y de ga-

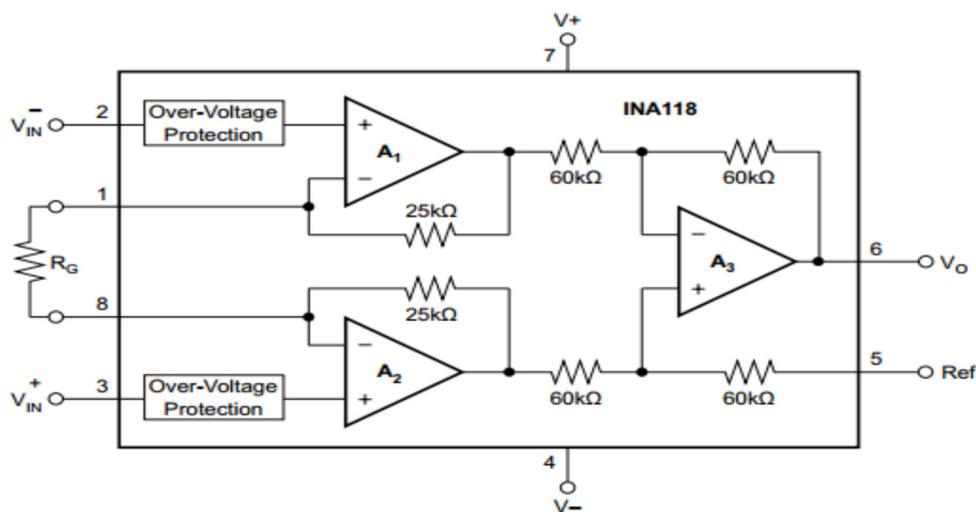


Figura 5. Caracterización del amplificador Lt 1001

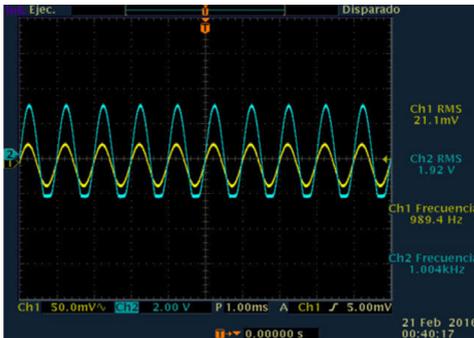


Figura 6. Visualización del INA 128

nancia unitaria. Como se puede ver en la figura 7, este tipo de diseño nos permitió discriminar fuentes de ruido de frecuencias altas a la deseada como ruido electromagnético entre otros.

Para el cálculo de los valores de cada elemento se tuvo presente la frecuencia de corte que se manejaría y el valor de uno de los capacitores $C1 = 0,01 \text{ uf}$.

Para determinar el valor de la resistencia utilizamos la siguiente expresión:

$$2\pi * f = \frac{1}{RC\sqrt{MN}} \quad (1)$$

Teniendo los valores de f , C , M y N , se despeja el valor de R :

$$R = \frac{1}{C*2\pi*f\sqrt{MN}} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{(30\text{hz})*2\pi*(0.01*10^{-6})*1} \quad (3)$$

$$R = 53\text{k}\Omega \quad (4)$$

El ADuM4160 también conocido como “aislador eléctrico”, es un aislador de puerto USB basado en la tecnología

iCoupler®. ADI ADuM4160 combina la alta velocidad y la tecnología CMOS transformador de núcleo de aire monolítico para ofrecer características de rendimiento excepcionales. El dispositivo se integra fácilmente con los dispositivos periféricos compatibles con USB de baja velocidad y completa. El ADuM4160 proporciona mecanismos para la detección de la dirección del flujo de datos y control sobre el estado de las memorias intermedias de salida. La dirección de los datos se determina sobre una base de paquete por paquete. Utiliza la tecnología de detección de bordes iCoupler basado en conjunción con la lógica interna de implementar una, fácilmente configurable, aguas arriba hacia el puerto aislador transparente. El aislamiento de un puerto de cara a la corriente proporciona varias ventajas en la simplicidad, la gestión de energía y un funcionamiento robusto. El aislador tiene retardo de propagación comparable a la de un cubo y cable estándar. Opera con la tensión de alimentación a cada lado que va desde 3,1 V a 5,5 V, lo que permite la conexión directamente a VBUS regulando internamente la tensión al nivel de señalización. El ADuM4160 proporciona un control aislado de la resistencia *pull-up* para que el periférico controle el tiempo de conexión.

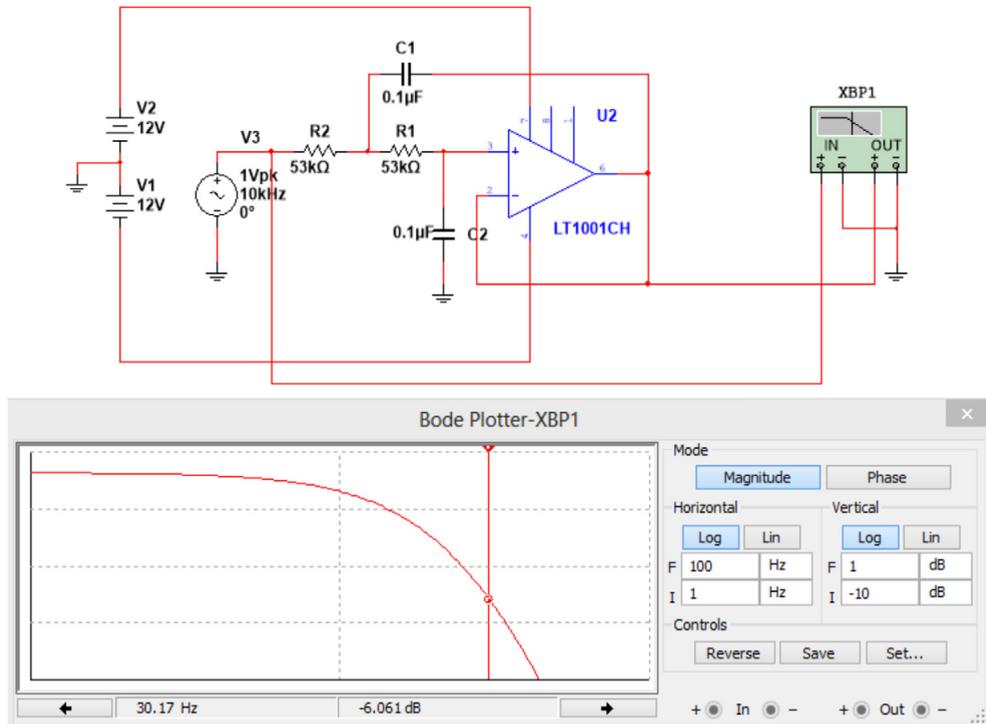


Figura 7. Simulación del filtro pasabaja de segundo orden

La utilización del ADuM4160 resultó de muchísima importancia ya que mejoró la obtención y resolución de los datos, debido que logró aislar el ruido proveniente del PC al sistema de adquisición; cuando se conecta el ADuM4160 la configuración del sistema cambia, debido a que la alimentación no es proveniente del mismo PC, sino que el sistema es alimentado directamente por unas baterías de litio que no le ingresan ruido significativo al sistema.

En la figura 8 se describen los siguientes elementos:

- a. El ADuM4160 es el elemento encargado de aislar eléctricamente el sistema de adquisición de la fuente de tensión, con el objetivo de no permitir el ingreso de señales perturbadoras o ruido al sistema de adquisición y, de esta forma, poder obtener señales más confiables.
- b. Esta parte corresponde al conector USB del sistema de adquisición, que encaja con el puerto del ADuM4160.

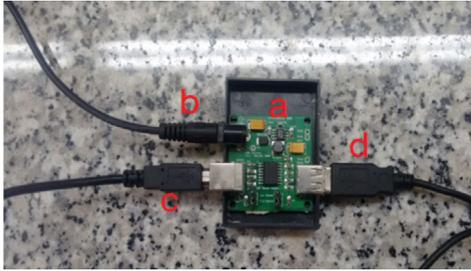


Figura 8. Señales de salida sin uso de aislación eléctrica

- c. Corresponde al puerto de unión entre el ADuM4160 y el monitor o PC en el que se analizarán los datos procedentes del sistema de adquisición.
- d. Es el puerto de alimentación del ADuM4160, que funciona con una tensión de siete a doce voltios dc.

En la figura 9 se describen los siguientes elementos:

- a. Este elemento corresponde al aislador ADuM4160.

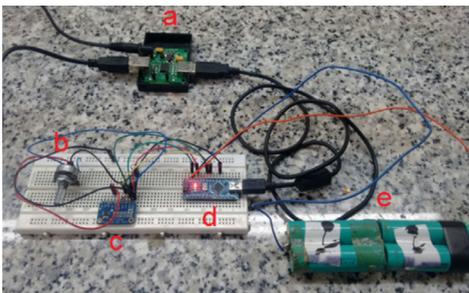


Figura 9. Conexión en *protoboard* del Arduino nano, con el CAD 1115 y el ADuM4160

- b. El potenciómetro o resistencia variable en esta configuración cumple la función de actuar como un “sensor manual” que tiene como resultado las variaciones de tensión.
- c. Es el CAD 1115 de 16 bits, que se encuentra conectado bajo la configuración diferencial.
- d. Este elemento corresponde al Arduino nano, del cual se habló en el apartado anterior.
- e. Corresponde a las baterías de litios fuente de tensión constante, este elemento solo entra en funcionalidad cuando se le instala al sistema el “aislador eléctrico”; estas baterías sustituyen la tensión que normalmente proviene del PC.

Discusión y resultados

Con la utilización del elemento electrónico ADUM4160 se observó cómo se comportaba el sistema de adquisición frente a la presencia y no presencia de este aislador eléctrico; en las figuras 10 y 11 se observan las señales registradas a 16 bit (color azul) provenientes de CAD 1115 y a 10 bit (color rojo) proveniente del Arduino. El circuito que se imple-

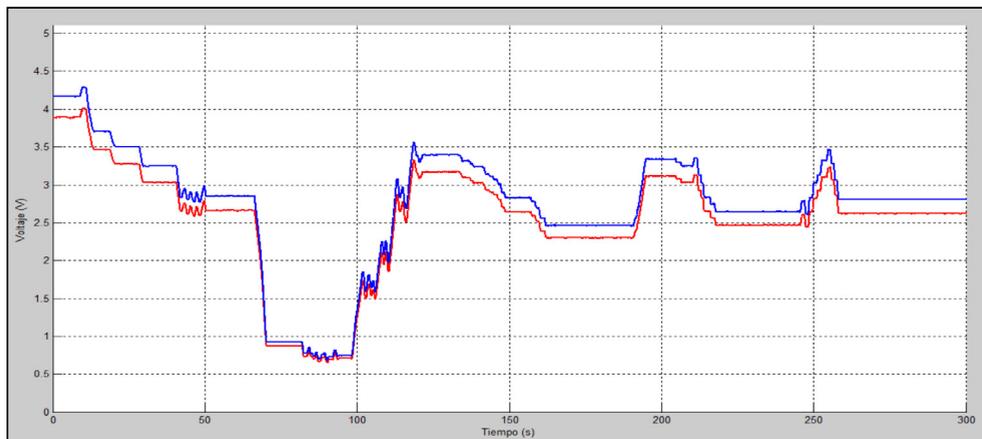


Figura 10. Señales de salida sin uso de aislación eléctrica

mentó como fuente fue el AD 584, que con variaciones de sus pines, obtiene diferentes valores de tensiones y con la utilización de un divisor de tensión, niveles de tensión del orden de los microvoltios.

Dentro de todo el protocolo de calibración planeado y ejecutado en busca de la mejor respuesta del sistema de adquisición

de datos, fue importante la observación y el estudio de la estabilidad de la toma de datos en función del tiempo; se estudió qué tan fiables eran los datos obtenidos por el sistema a lo largo de un tiempo determinado, y bajo ciertas condiciones externas como temperatura y humedad. En las figuras 12 y 13 se observa el comportamiento de la estabilidad de

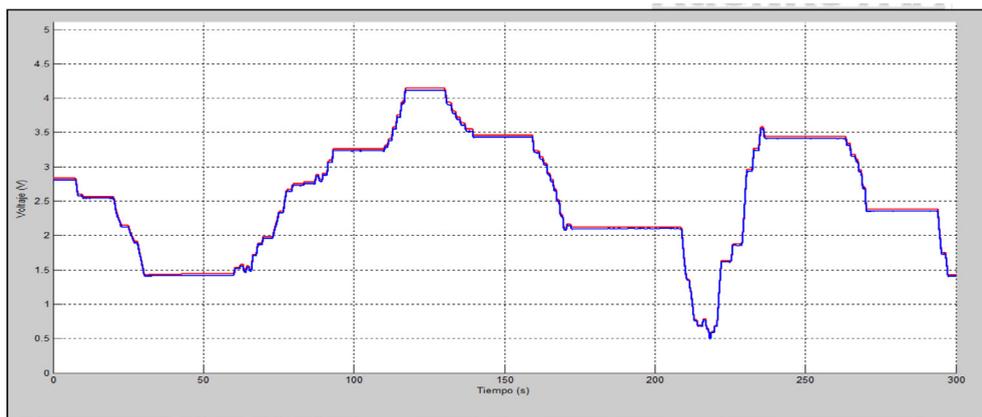


Figura 11. Señales de salida usando aislación eléctrica

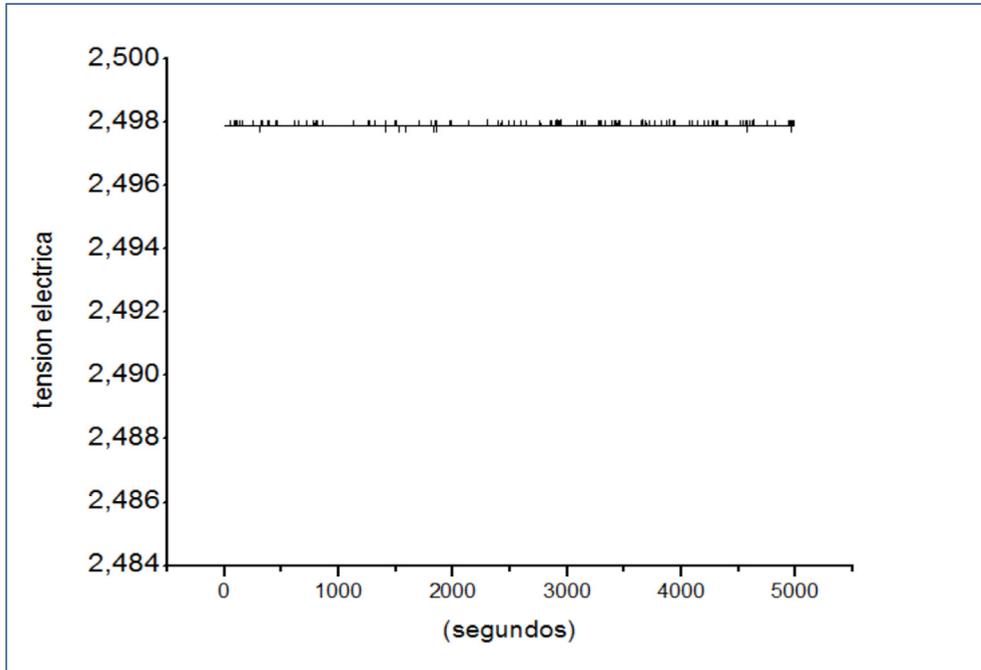


Figura 12. Estabilidad de la medida en el tiempo a 16 bits

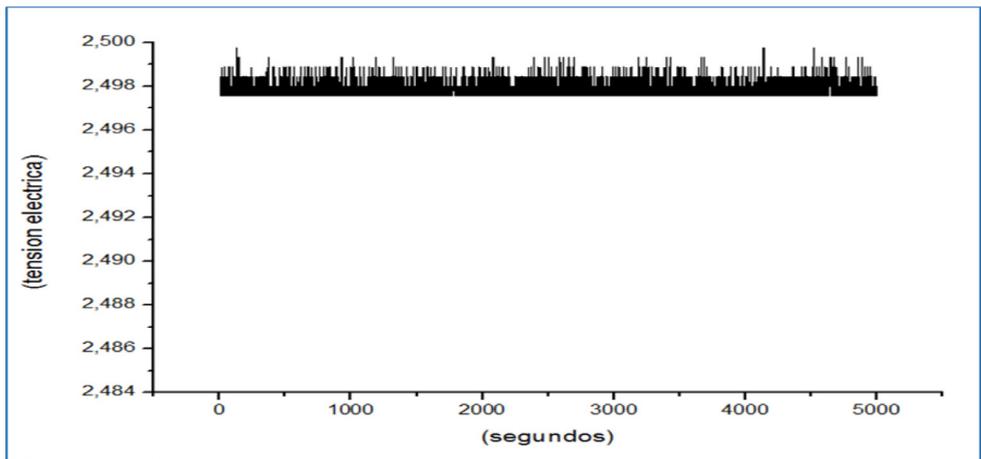


Figura 13. Estabilidad de la medida en el tiempo a 10 bits

la medida, tanto a 16 como a 10 bits respectivamente; de estas figuras se puede concluir que los datos tomados a 16 bits presentan mayor estabilidad y por lo tanto mayor fiabilidad en comparación con los datos inmediatos de 10 bits.

Para la obtención de los voltajes de precisión del orden de los microvoltios se usó un circuito divisor de tensión a la salida de cada voltaje de referencia ($2,50\text{ V}$, $5,0\text{ V}$, $7,50\text{ V}$ y $10,0\text{ V}$) con un par de resistencias de precisión de $1\text{ M}\Omega$ y $100\ \Omega$ conectada a tierra con el fin de obtener voltajes de salida de $250\ \mu\text{V}$, $500\ \mu\text{V}$, $750\ \mu\text{V}$ y $1000\ \mu\text{V}$, como se puede apreciar en las figuras 14 hasta la 21, en las que se ve la cantidad

de valores de tensión obtenidos en cada ensayo., Por ejemplo, en la figura 15 se suministró una señal de ensayo de 750 microvoltios a un sistema de adquisición de 16 bits; además, se obtuvieron 82 valores numéricos de tensión comprendidos entre 0 a 727,200 microvoltios, 536 valores de tensión comprendidos entre 727,200 a 730,987 microvoltios, 48 valores de tensión para el rango comprendido entre 730,897 a 742,351 microvoltios y por ultimo 34 valores de tensión para el rango de 742,351 a 746,137 microvoltios, demostrando que el sistema de adquisición de 16 bits es más estable y fiable si se compara con los resultados obtenidos en la figura 16.

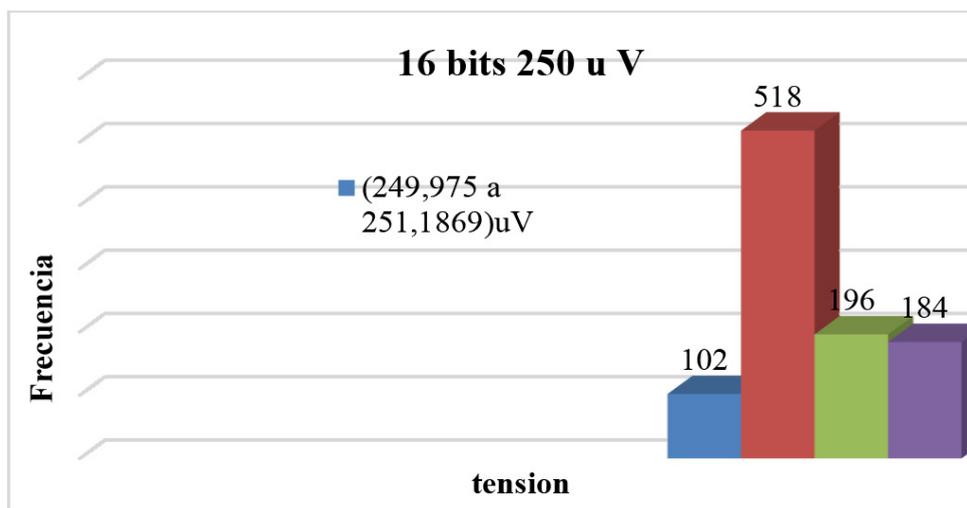


Figura 14. Diagrama de frecuencias de 16 bits a 250 uV

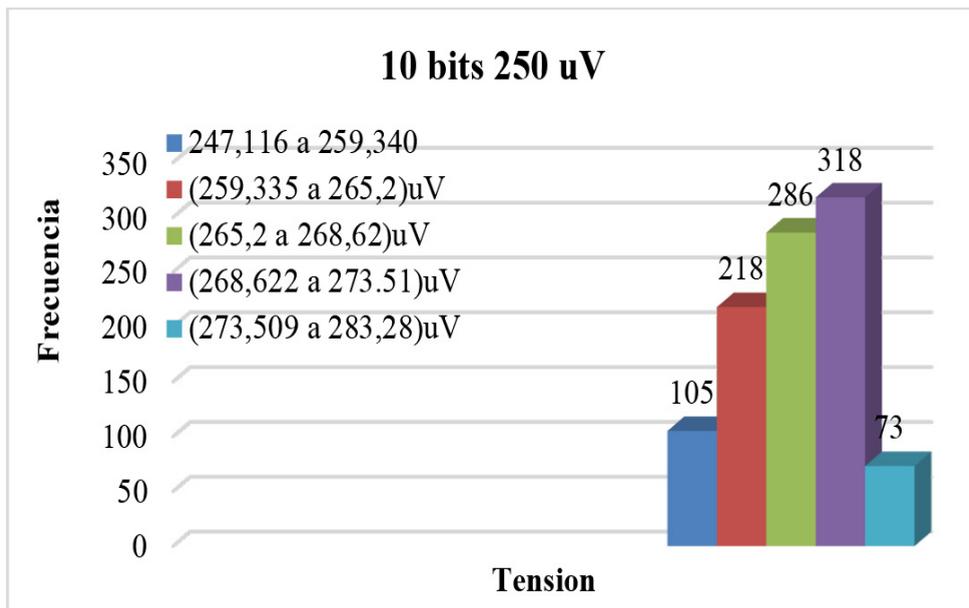


Figura 15. Diagrama de frecuencias de 10 bits a 250 uV

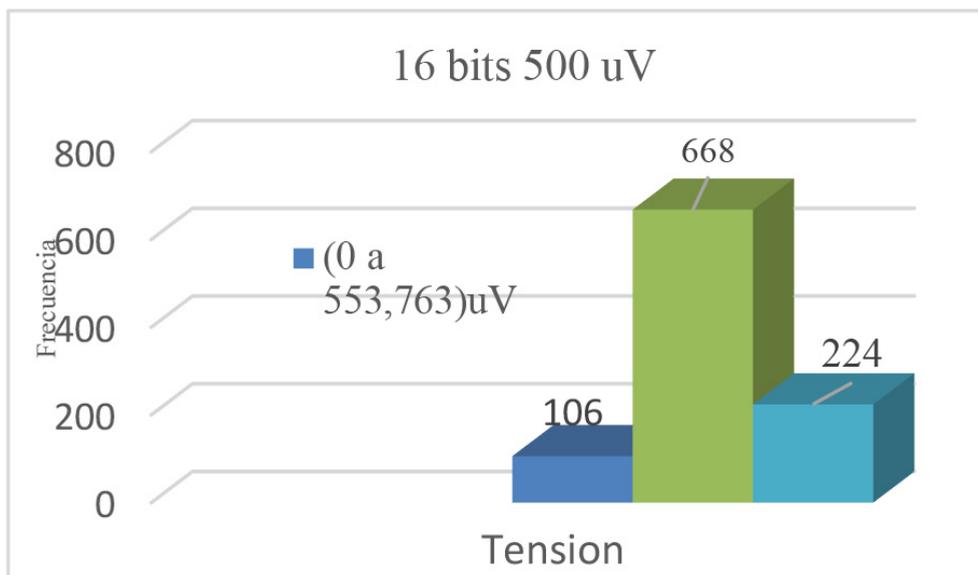


Figura 16. Diagrama de frecuencias de 16 bits a 500 uV

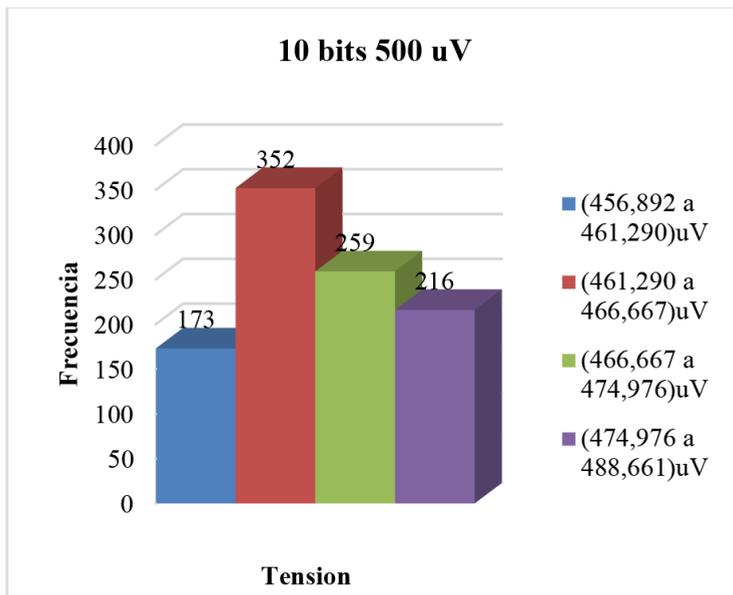


Figura 17. Diagrama de frecuencias de 10 bits a 500 uV

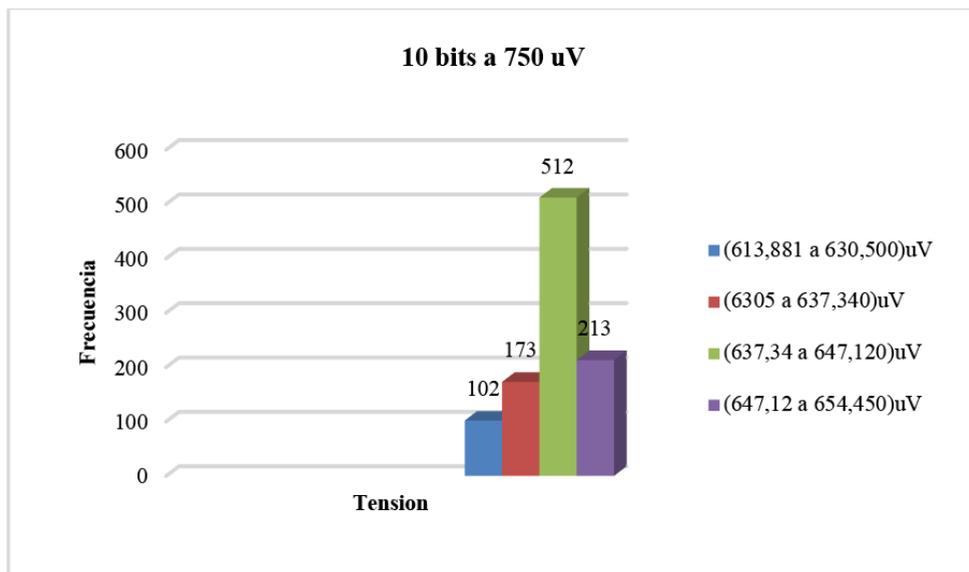


Figura 18. Diagrama de frecuencias de 16 bits a 750 uV

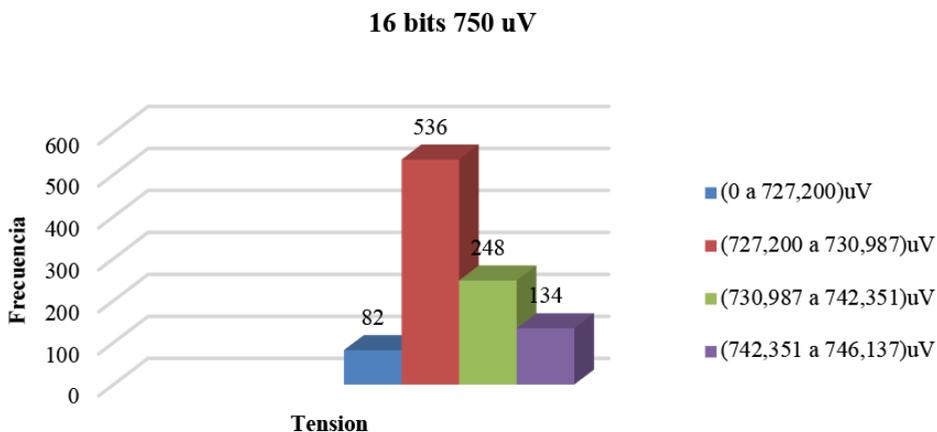


Figura 19. Diagrama de frecuencias de 10 bits a 750 uV

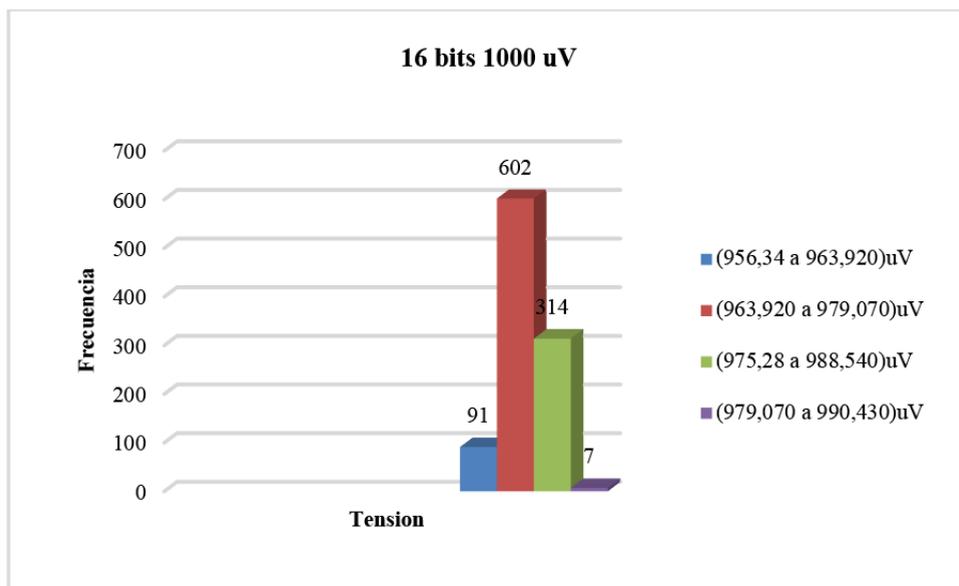


Figura 20. Diagrama de frecuencias de 16 bits a 1000 uV

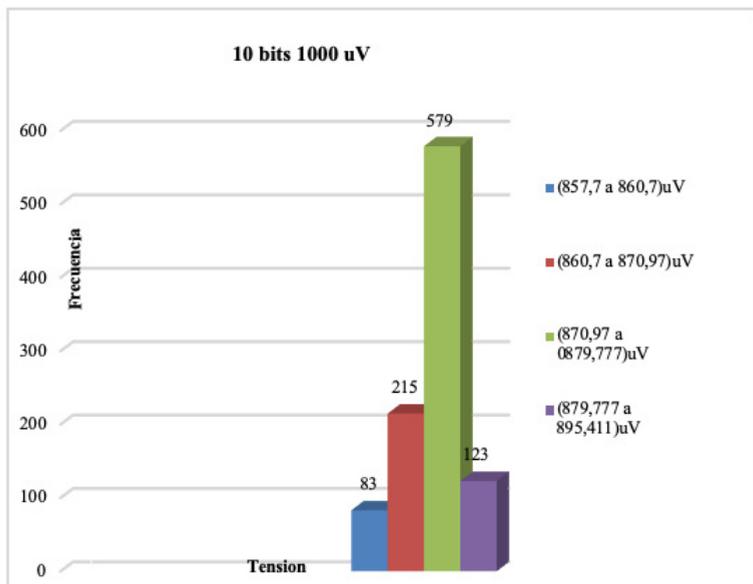


Figura 21. Diagrama de frecuencias de 10 bits a 1000 uV

En la toma de medidas en voltaje directo (dc), se pudo observar que para valores pequeños de voltaje de entrada la incertidumbre en la medida de voltajes era mucho más grande para el CAD de 10 bits ($\pm 1,2$ uV) mientras que para el CAD de 16 bits ($\pm 0,5$ uV). Además, las medidas presentaban menos dispersión con respecto al valor real para el CAD de 16 bits, lo que una vez más corrobora la importancia de contar con dispositivos de conversión de mejor resolución.

Por último y a manera de ejercicio y comprobación del sistema implementado, se realizó la adquisición de una señal proveniente de un transductor magnético construido a partir de un cabezal de

disco duro. Se realizó la adquisición simultánea utilizando el computador y el osciloscopio digital. Se generó una señal de forma manual moviendo el transductor y asemejándose a una onda sísmica (figuras 22 y 23).

En las figuras 24, 25 y 26 se observa que el sistema es capaz de reproducir con muy buena resolución cada una de las señales de prueba, que para este caso fueron de tipo sinusoidal, triangular y cuadrado, con unas frecuencias entre 1 a 3 Hz; la observación de todo este proceso se realizó por medio de Matlab, al igual que el sistema de adquisición siempre se mantuvo conectado al circuito aislador eléctrico.

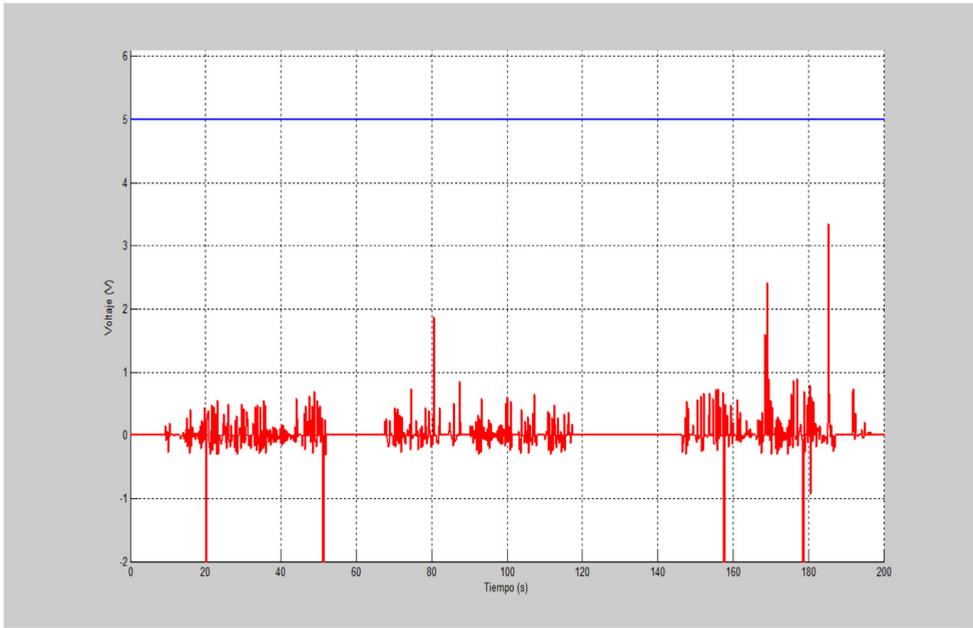


Figura 22. Visualización de la simulación de una onda sísmica

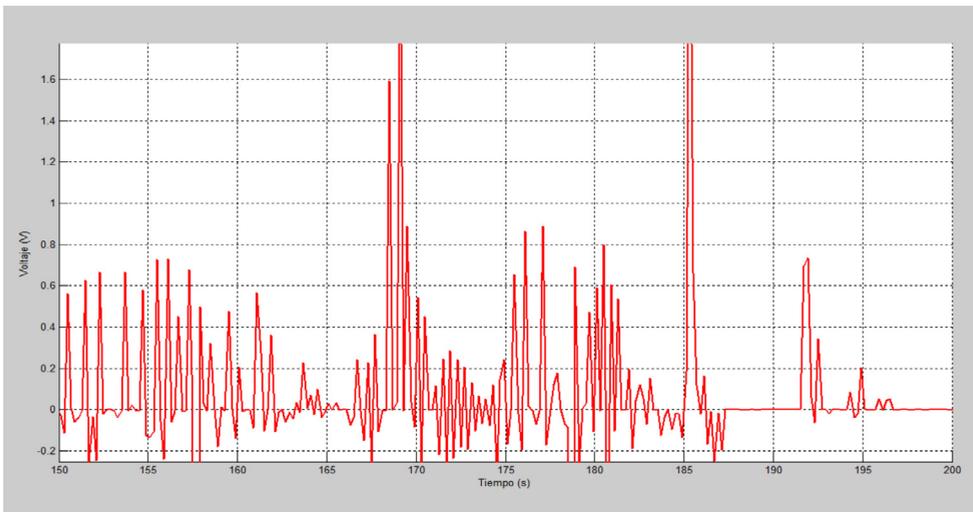


Figura 23. Visualización de la simulación de una onda sísmica ampliada

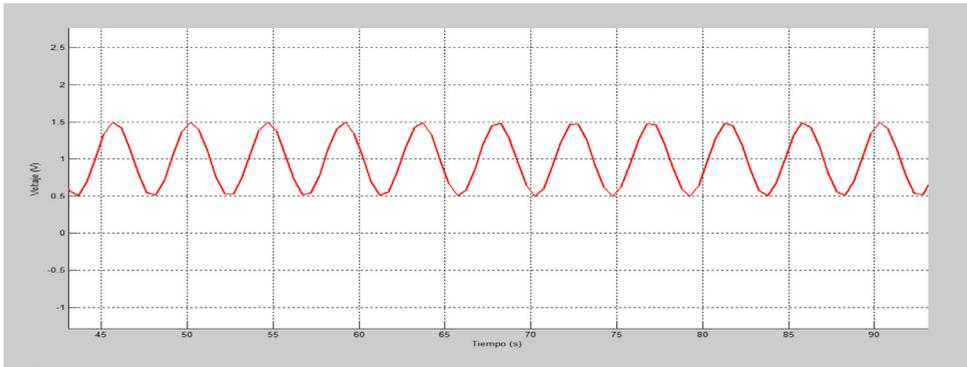


Figura 24. Respuesta del sistema frente a una señal AC sinusoidal

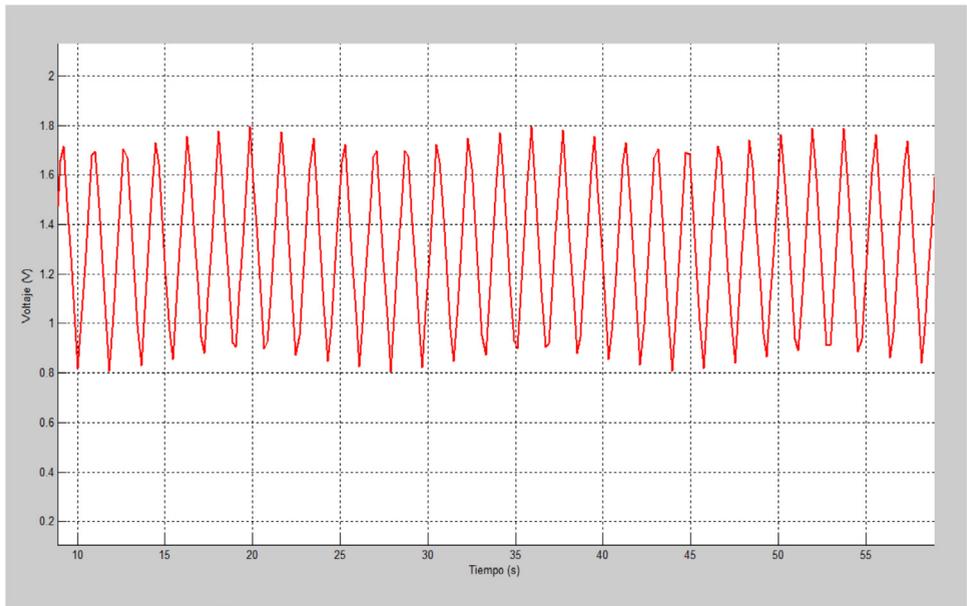


Figura 25. Respuesta del sistema frente a una señal triangular

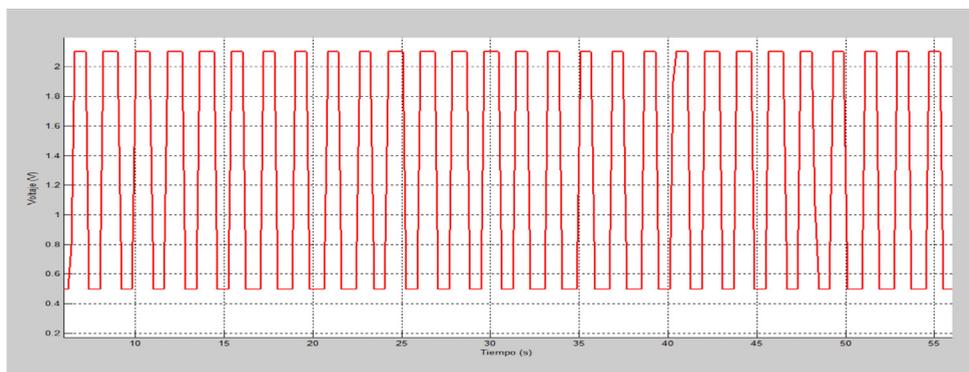


Figura 26. Respuesta del sistema frente a una señal cuadrada

Conclusiones

En este trabajo se diseñó, construyó y caracterizó un sistema de adquisición de datos basado en un CAD de 16 bits en una etapa de amplificación y filtrado de bajo ruido y una tarjeta microcontroladora para capturar y enviar los datos vía USB al computador basada en Arduino Uno. Así mismo, se implementó una interfaz gráfica en Matlab con el fin de visualizar los datos en un computador para su posterior análisis.

Se observó la respuesta del sistema a diferentes valores de voltaje de entrada provenientes de un patrón de referencia. Los datos arrojados por el equipo mostraron muy poca dispersión con respecto al voltaje real, alta repetitividad y muy poca variación en relación con el tiempo. El sistema permite, además, implementar mediante *software* calibrar nuevamente el dispositivo de forma fácil con respecto a un patrón externo

Se analizó el comportamiento del sistema de adquisición para diferentes tipos de formas de onda de entrada, triangular, senoidal, cuadrada, mostrando este excelente comportamiento al compararlo con la toma simultánea de la mostrada por un osciloscopio digital. También, se realizó una prueba a manera de ejemplo con un transductor magnético y se observó la respuesta del equipo ante el estímulo, los datos dejaron en evidencia la factibilidad del equipo como interfaz para sistemas de adquisición de señales provenientes de sensores magnéticos propios del estudio de actividad sísmica.

Referencias

- Ameli, F. (2019). A low cost, high speed, multichannel analog to digital converter board. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 936, 286-287. doi:10.1016/j.nima.2018.08.110

- Liao, H. y Yang, Y. (2010). A linnik scanning white-light interferometry system using a mems digital-to-analog converter. *Procedia Engineering*, 5, 758-761.
- Mathworks. (2008). MATLAB Getting Started Guide. http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/matlab/
- Ministerio de Educación Nacional. (2001). Sistema de créditos académicos. <http://www.mineduacion.gov.co/1621/article-87727.html>
- Moseiko, N., Klimov, A., Sinitsyna, V., Sinitsyna, V., Balygin, K., Borisov, S., Kirichenko, A., Mirzafatikhov, R. y Ostashhev, I. (2020). An analog-to-digital converter and intelligent controller for use in a DAQ system processing PMT signals from very high energy astrophysics experiments. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 952, 161755.
- National Instruments. (2005). User Guide and Specifications USB-6008/6009. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/14604>
- Neuta Chiguasuque, E. (2020). Tarjeta de adquisición de datos basada en microcontrolador con interfaz ethernet. <http://hdl.handle.net/10656/2216>
- Parrado, A. (2021). Tarjeta de adquisición de datos de bajo costo multiplataforma orientada a la enseñanza de los sistemas de control en tiempo real. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7849101>
- PCI Special Interest Group. (1998). PCI local bus specification revision 2.2. <http://www.pcisig.com/specifications/>
- Smith, B. (2009). A quick guide to GPLv3. <http://www.gnu.org/licenses/quick-guide-gplv3.html>
- Universal Serial Bus Group. (2007). Universal serial bus specification revision 2.0. <http://www.usb.org/developers/docs>