VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

ESP32 como Sistema Rápido de Adquisición de Datos

ESP32 as a Fast Data Acquisition System

Rafael Omar Cariño Anaya[1], Edgar Valencia Rodriguez[2]
[1]División de Ciencias e Ingenierías Campus León, Universidad de Guanajuato.
ro.carinoanaya@ugto.mx
[2]División de Ciencias e Ingenierías Campus León, Universidad de Guanajuato.
evalencia@ugto.mx

Resumen

Se presenta el desarrollo de un sistema de adquisición de datos basado en la tarjeta electrónica ESP32 para registrar señales analógicas independientemente del sensor a utilizar. El sistema está construido utilizando software libre y una tarjeta ESP32, una vez calibrado el sistema de adquisición permite medir, almacenar y procesar señales analógicas en el rango de 0.15 V a 3.30 V a una tasa de muestreo 118.5 kS/s.

Palabras clave: voltaje, señal, resolución, tiempo, ESP32.

Introducción

La naturaleza es un conjunto de fenómenos físicos que evolucionan con el tiempo. La Física es el estudio, comprensión y simulación de la naturaleza. Entendiendo la naturaleza es posible diseñar tecnología para la medición de magnitudes físicas con el objetivo de comprender el comportamiento de la naturaleza y el universo.

Los avances tecnológicos han permitido al ser humano crear sensores basándose en principios físicos como: Resistividad, Capacitancia, Inductancia, Magnetización, Efecto Piezoeléctrico e interferencia de Ondas. Los sensores leen diferentes magnitudes físicas y traducen sus variaciones en función de diferencias de potencial eléctrico. Esta diferencia de potencial eléctrico (voltaje) es una señal analógica que mediante métodos de análisis electrónico puede ser convertida en señal digital para ser almacenada y hacer su análisis posterior.

Todo sensor requiere de un sistema de adquisición de datos (DAQ por sus siglas en inglés), donde los parámetros esenciales son el tiempo y la magnitud física a medir (señal). La gráfica de la señal en función del tiempo muestra la evolución temporal de alguna magnitud física, entre más puntos (datos) por unidad de tiempo contenga esa gráfica, es posible describir cualquier variable física con mayor precisión. Para sistemas físicos que evolucionan rápidamente, es necesario disponer de un sistema de adquisición de datos con resolución temporal tan pequeña como sea posible. La resolución temporal es la capacidad del DAQ de distinguir entre dos eventos contiguos. Durante el verano se trabajó en el desarrollo de un sistema rápido de adquisición de datos de bajo costo. Para ello, se utiliza una tarjeta electrónica comercial ESP32, así como herramientas de software libre con la finalidad de reducir costos asociados a licencias.

Dispositivo Experimental

El desarrollo del dispositivo experimental está sujeto a dos condiciones: rapidez en la toma de datos y bajo costo económico. Una condición extra asociada a la facilidad de operación en laboratorios de docencia e investigación puede ser incluida.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Para la construcción del DAQ se utiliza una tarjeta ESP32 cuyo costo aproximado es $ 150.00 mxn. La ESP32 tiene varios canales dedicados a lecturas analógicas. En este trabajo se hace uso del pin GPIO34 como pin de lectura analógico. El código para conexión de la ESP32, así como el código de lectura pueden ser ajustados a la lectura de otro GPIO analógico. El convertidor analógico-digital interno de la ESP32 utiliza una escala de 12 bits para codificar la señal entrante en un valor numérico llamado ADC (Analog-to-Digital Converter), el cual tiene valores enteros entre 0 y 4095. Entre las especificaciones de la tarjeta ESP32 se hace mención al valor analógico de entrada máximo recomendado, el cual no debe superar los 3.30 V.

El desarrollo experimental para la construcción del sistema de adquisición de datos se dividió en dos etapas. Construcción del Software de lectura de señales analógicas y calibración del DAQ.

Software de Lectura

Para desarrollar el software básico de lectura se hace uso de la plataforma de Arduino o ESP-IDF, esto a través de códigos escritos en lenguaje Python y C respectivamente. Los códigos son incluidos en el manual de operación asociado a este proyecto de verano científico.

Para verificar el correcto funcionamiento de la tarjeta ESP32 se hace uso de un divisor de voltaje (potenciómetro de 10 kΩ), las conexiones realizadas se muestran en la Figura 1. Este arreglo experimental permite generar manualmente diferentes valores ADC.

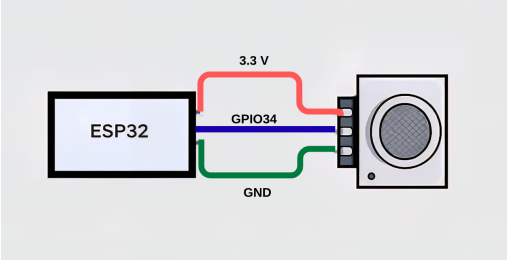


Figura 1. Diagrama del arreglo experimental utilizado en la etapa de prueba del software de lectura.

Como se muestra en la Figura 1, las terminales del divisor de voltaje están conectadas a los pines: 3.30 V, GPIO34 y GND de la ESP32. La terminal central del potenciómetro, que es la que proporciona las variaciones en la resistencia está conectada al pin GPIO34. Inicialmente las lecturas obtenidas fueron mostradas en una computadora mediante el monitor serial de Arduino, posteriormente se procedió a incluir en el código de lectura una sección asociada al almacenamiento de los datos.

En esta etapa del proyecto se trabajó en optimizar el software de lectura, el cual solo almacena los datos del tiempo en formato Unix y el valor de la señal entrante (ADC) en el pin GPIO34, alcanzando al final de esta etapa una tasa de muestreo de 11.5 kS/s.

Calibración

Verificada la lectura de señales analógicas mediante la tarjeta ESP32 se procede a la calibración del pin GPIO34. Para la etapa de calibración se hace el arreglo experimental representado en la Figura 2. La señal continua utilizada para la calibración es generada por una fuente de voltaje Dr. Meter HY3005B, esta señal es enviada al pin GPIO34 de la ESP32, el voltaje común de referencia GND entre la ESP32 y la fuente de voltaje es conservado. En paralelo a la señal generada, un multímetro Fluke 117 es conectado para registrar la lectura de referencia.

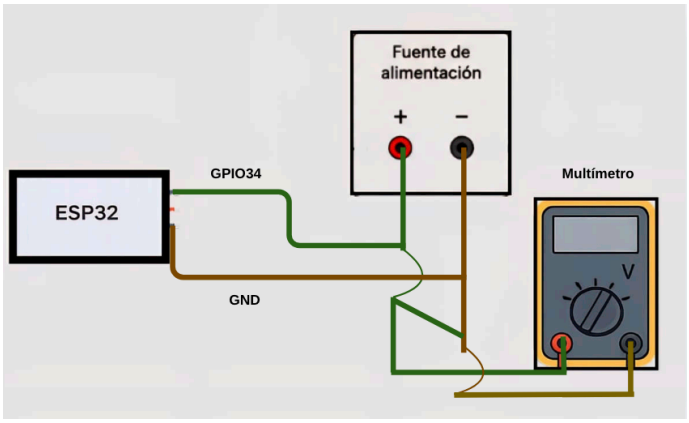


Figura 2. Diagrama del arreglo experimental utilizado durante la etapa de calibración.

Para la calibración del DAQ se utilizan señales fijas dentro de un rango de 150 mV a 1000 mV. El procedimiento para generar y colectar diferentes niveles de señal es:

1. Ajustar voltaje de salida de la fuente de voltaje.
2. Verificar el valor de voltaje suministrado mediante el multímetro.
3. Ejecutar el software de lectura de la ESP32 durante 1 segundo.

Toma y Análisis de Datos para Calibración

Para cada nivel de señal se obtuvieron un aproximado de 118500 muestras. Debido a que las lecturas ADC presentan pequeñas variaciones, se calcula su valor promedio para obtener un punto por cada nivel de voltaje, estos valores son mostrados en la Tabla 1.

***Tabla 1**. Datos originales tomados para la calibración del sistema de adquisición de datos.*

Señal [mV]	Datos	Valor ADC Promedio	DesviaciónEstándar
153.30	118578	22.44	16.83
170.70	118590	44.48	18.28
205.50	118561	83.00	15.59
248.70	118564	136.05	15.93
300.70	118580	198.84	16.5
352.70	118614	273.12	23.03
401.50	118569	324.68	15.66
457.00	118579	388.24	15.44
500.60	118596	440.88	14.28
604.10	118557	571.55	14.38
698.00	118580	686.29	14.56

803.00	118563	814.14	16.64
898.00	118559	932.26	15.02
1002.00	118567	1065.63	19.62

Para ejemplificar las distribuciones ADC obtenidas, la Figura 3 muestra la distribución de los valores ADC para las señales de 248.70 mV y 300.70 mV de la Tabla 1. Estas distribuciones están centradas en los valores ADC de 136.05 y 198.84 respectivamente. Al aplicar un ajuste Gaussiano a estas distribuciones se tiene una media de 135.89 y una sigma de 4.65 para los datos de la señal de 248.70 mV, mientras que para los datos de 300.70 mV se obtiene una media de 199.51 y una sigma de 4.58.

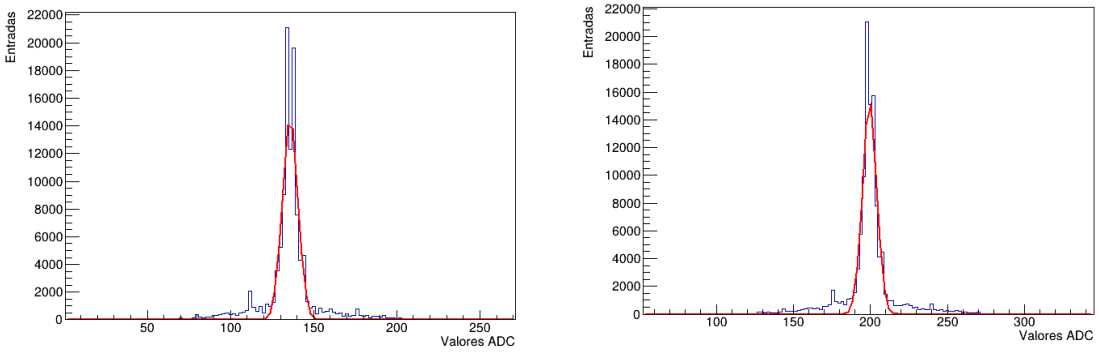


Figura 3. Distribuciones de los valores ADC para los niveles de señal de 248.70 mV (izquierda) y 300.70 mV (derecha).

Utilizando como referencia las distribuciones de los valores ADC para cada nivel de señal, el criterio de seleccionar datos que están dentro de la región de 3 sigmas es aplicado, esto disminuye el ruido en la señal y a la vez garantiza que se está trabajando con al menos el 99.73% de los eventos.

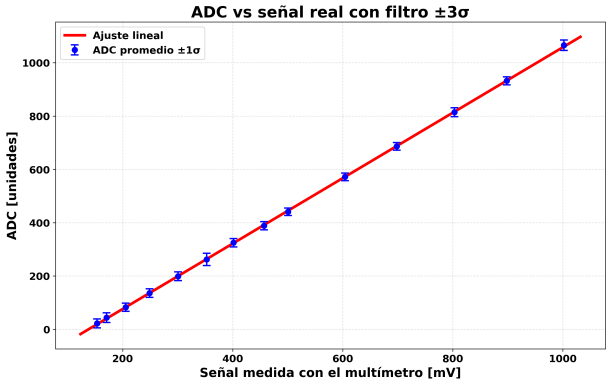


Figura 4. Gráfica de valores promedio ADC en función de la señal suministrada; datos de Tabla 1.

Al aplicar un ajuste lineal a los datos de la gráfica mostrada en la Figura 4, se obtiene la ecuación a primer orden representada por la Ecuación (1) con un coeficiente de correlación del 0.9998.

$$ADC = 1.22726 Señal - 169.29244 \quad (1)$$

La Ecuación (1) corresponde a la ecuación de calibración del sistema de adquisición de datos, aplicando ésta misma a los datos de la Tabla 1 se obtiene la Tabla 2, su gráfica correspondiente es mostrada en la Figura 5.

***Tabla 2**. Datos calibrados; después de aplicar Ecuación (1).*

Señal [mV]	Datos	Valor ADC Promedio	Señal Calibrada [mV]	Error
153.30	118435	22.44	155.69	2.39
170.70	117959	44.48	173.59	2.89
205.50	114739	83.00	205.41	0.09
248.70	114991	136.05	248.76	0.06
300.70	115964	198.84	299.90	0.80
352.70	117806	273.12	351.62	1.08
401.50	115475	324.68	402.61	1.11
457.00	115367	388.24	454.33	2.67
500.60	115601	440.88	497.20	3.40
604.10	115435	571.55	604.00	0.10
698.00	115062	686.29	697.18	0.82
803.00	116293	814.14	801.48	1.52
898.00	115330	932.26	897.52	0.48
1002.00	117337	1065.63	1006.52	4.52

El ajuste lineal aplicado a los datos de la Tabla 2 mostrados la gráfica de la Figura 5 tiene su representación matemática en la Ecuación (2).

$$SeñalCalibrada = 1.00000 SeñalInducida - 0.00001 \quad [\text{mV}] \qquad (2)$$

Los parámetros de la Ecuación (2), así como su coeficiente de correlación R^2= 0.99994 validan la calibración del sistema de adquisición de datos.

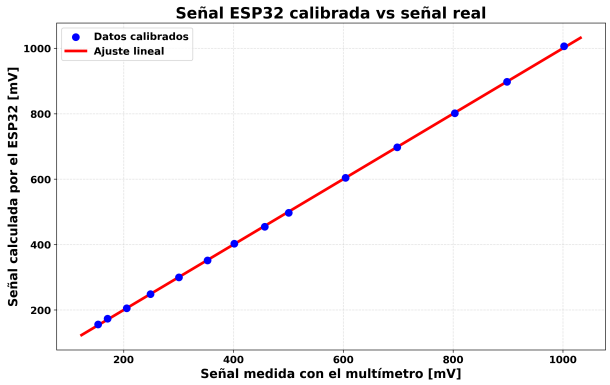


Figura 5. Gráfica de valores promedio ADC calibrados en función de la señal suministrada; datos de Tabla 2.

Toma y Análisis de datos para la Reconstrucción

Una vez que el sistema de adquisición de datos ha sido completado en sus dos componentes; software y hardware, se obtiene una resolución temporal de 8.5 microsegundos y una ecuación de calibración representada en la Ecuación (1).

Utilizando los resultados anteriores se procede a poner a prueba el DAQ y verificar la reconstrucción de señales oscilantes. Las señales oscilantes fueron generadas con un Tektronix AFG3101 conectado en paralelo con un osciloscopio Tektronix TDS 1001C-EDU, el diagrama de este arreglo experimental es mostrado en la Figura 6.

Para todos los casos la señal oscilante generada y utilizada en la etapa de prueba de reconstrucción tiene una amplitud de 140 mV y un offset de 170 mV.

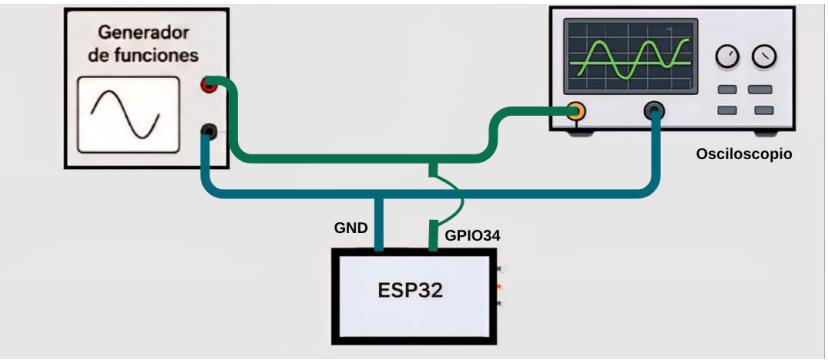


Figura 6. Arreglo experimental utilizado en la prueba de reconstrucción de señales.

Señal cuadrada y Señal Sinusoidal

Se utilizaron señales generadas a frecuencias de 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz y 15 kHz. Los datos capturados para cada frecuencia corresponden a un periodo de 1 segundo. Los parámetros y el tipo de función de las señales a reconstruir son presentados en la Tabla 3.

***Tabla 3**. Valores para señal generada.*

Frecuencia [kHz]	Señal Cuadrada Datos Colectados	Señal Sinusoidal Datos Colectados
1	118568	118571
5	118555	118550
10	118601	118559
15	118563	118453

Señal Exponencial

A manera de prueba complementaria en la etapa de reconstrucción, se procesó una señal del tipo exponencial creciente y decreciente a frecuencias de 1 kHz, 5 kHz y 10 kHz. Los datos capturados para cada frecuencia corresponden a un periodo de 1 segundo. Los parámetros y el tipo de función de las señales a reconstruir son presentados en la Tabla 4.

***Tabla 4**. Valores para señal generada.*

Frecuencia [kHz]	Señal Decaimiento Colectados	Señal Crecimiento Datos Colectados
1	118565	118506
5	118556	118569
10	118472	118587

Resultados de Reconstrucción

Los archivos colectados por el DAQ contienen miles de datos. Las Figuras 7, 8, 9 y 10 muestran gráficas con solo 100 datos para facilitar visualmente la comprobación de la reconstrucción se señales.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

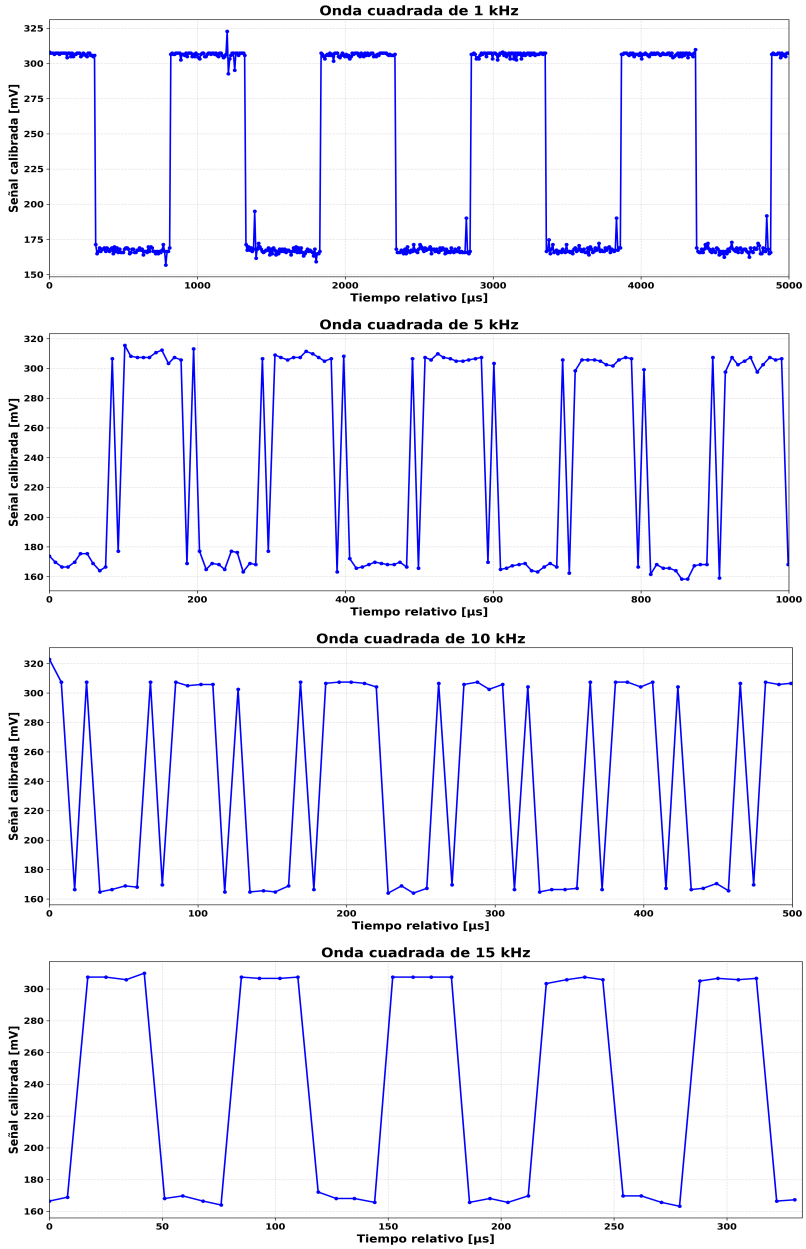


Figura 7. Gráficas de reconstrucción de señal cuadrada (Tabla 3). En orden descendente: 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz y 15 kHz respectivamente.

VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

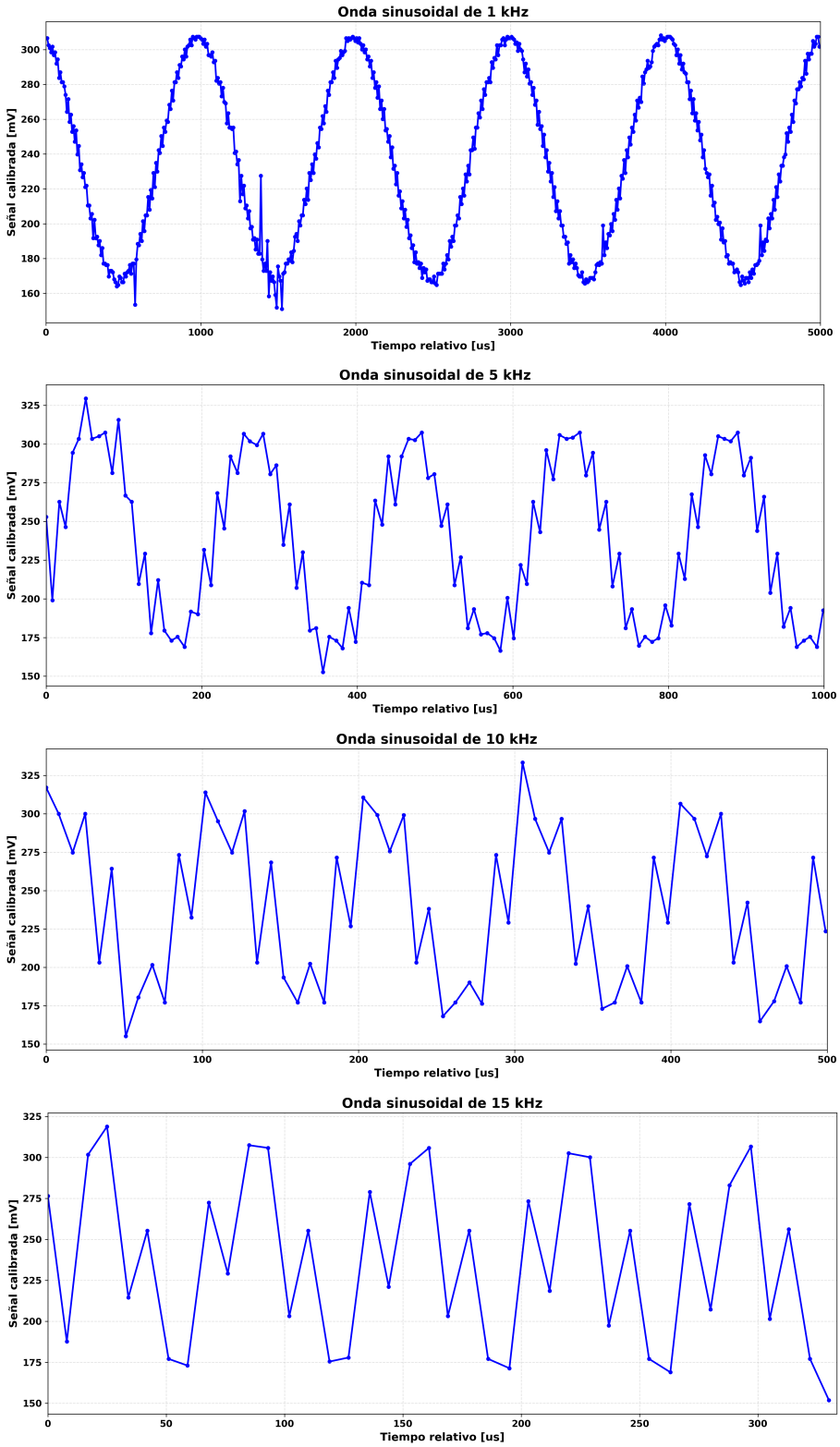


Figura 8. Gráficas de reconstrucción de señal sinusoidal (Tabla 3). En orden descendente: 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz y 15 kHz respectivamente.

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

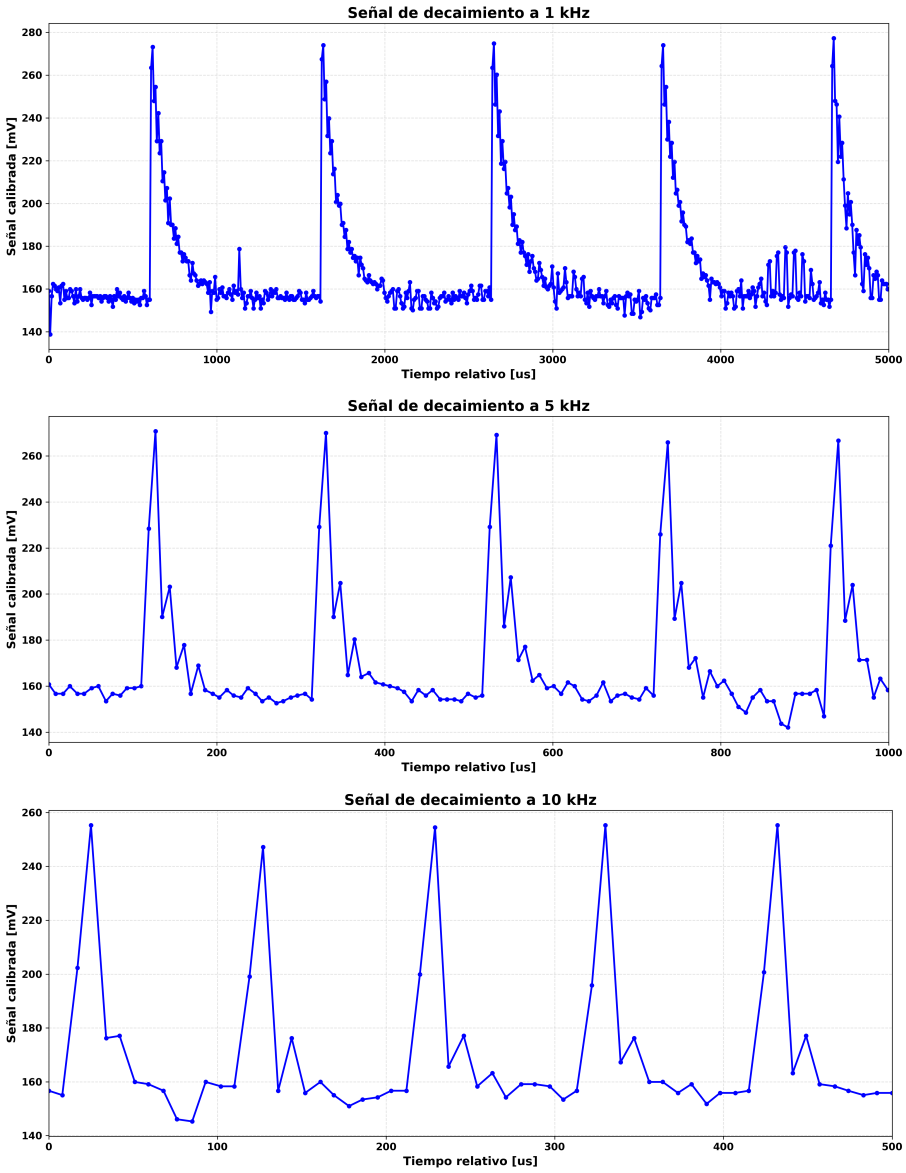


Figura 9. Gráficas de reconstrucción de señal exponencial decreciente (Tabla 4). En orden descendente: 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz y 15 kHz respectivamente.

ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

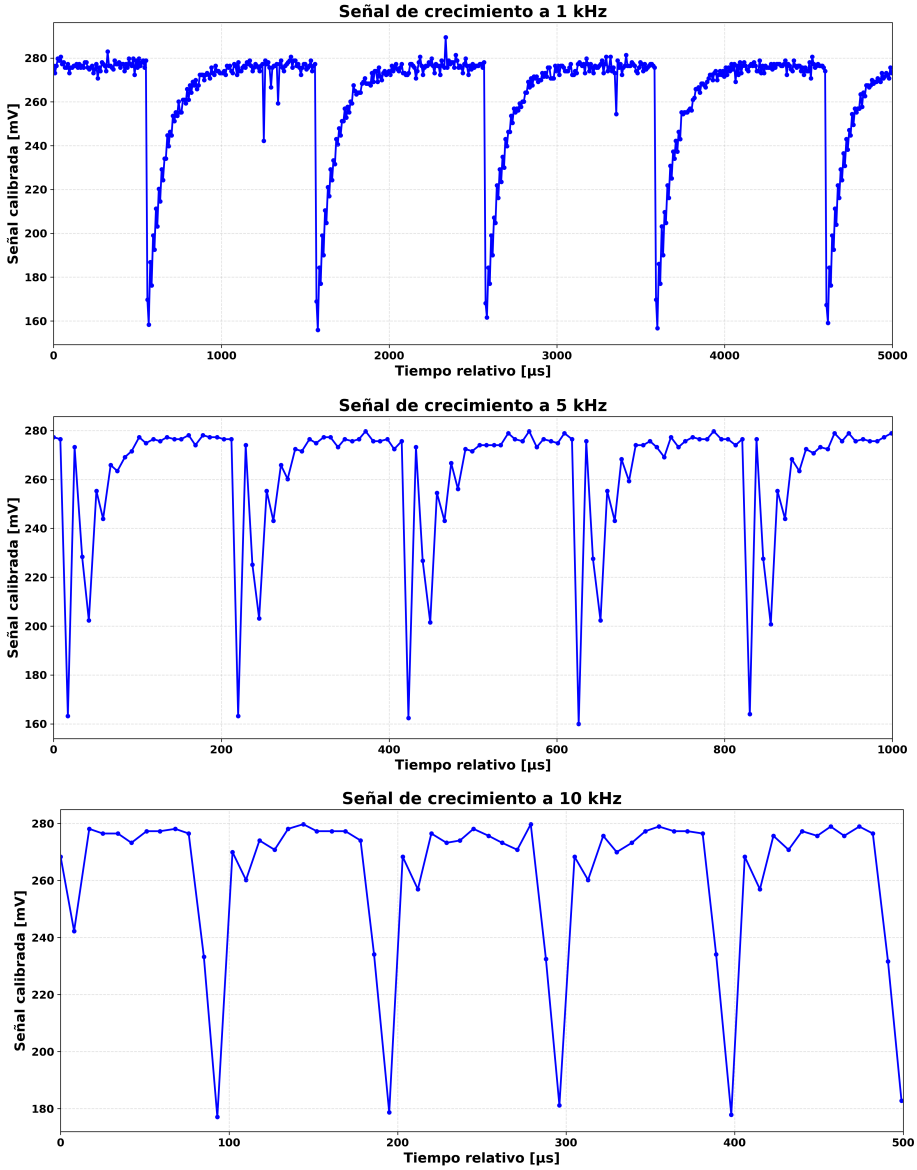


Figura 10. Gráficas de reconstrucción de señal exponencial creciente (Tabla 4). En orden descendente: 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz y 15 kHz respectivamente.

Conclusiones

Se construyó un sistema rápido de adquisición de datos basado en la tarjeta electrónica ESP32. El DAQ es independiente del sensor que se desee conectar.

El sistema de adquisición de datos construido alcanza una frecuencia de muestreo de 118.5 kS/s, que equivale a una resolución temporal de 8.5 µs.

La calibración obtenida permite relacionar los valores ADC provenientes del pin GPIO34 con el voltaje de entrada (señal) mediante un ajuste lineal, esto permite reconstruir señales inducidas mediante un generador de frecuencias.

Independientemente del tiempo invertido en el proyecto, el costo aproximado del hardware utilizado en este sistema de adquisición de datos es de $ 200 mxn.

Los resultados muestran que el ESP32 puede utilizarse como una alternativa económica para prácticas de adquisición, calibración y análisis de señales por debajo de los 150 kHz.

Gracias a su accesibilidad y facilidad de implementación, el sistema puede usarse en laboratorios de docencia, prácticas estudiantiles y proyectos de investigación.

Con este DAQ se compensa la falta de recursos económicos que impiden tener acceso a herramientas costosas para la adquisición de datos a alta velocidad.

Referencias

Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial* (8ª ed.). Alfaomega Grupo Editor

Espressif Systems. (2023). ESP32 Technical Reference Manual (Versión 5.8). https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

Espressif Systems. (s.f.). ESP-IDF Programming Guide. Recuperado el 23 de julio de 2026, de https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/index.html

Webster, J. G., & Eren, H. (Eds.). (2014). *Measurement, instrumentation, and sensors* handbook (2nd ed., 2 vols.). CRC Press