

“OSCILOSCOPIO CASERO” TRABAJO INTEGRADOR FINAL

Emanuel López †

† Universidad Nacional de San Luis, Villa Mercedes, San Luis, Argentina.
loezemanuel8@gmail.com

Resumen— En este trabajo se presenta la caracterización experimental de un osciloscopio de memoria digital (DSO) desarrollado íntegramente, utilizando una arquitectura mixta basada en un microcontrolador STM32 para la adquisición de datos a alta velocidad mediante su ADC interno, y un módulo ESP32 dedicado al procesamiento de datos y la visualización. La interfaz gráfica y el control del usuario se implementan en una pantalla táctil TFT de 2.8 pulgadas con controlador ILI9341 (320x240).

Para evaluar el desempeño del instrumento, se analizaron parámetros clave como rango de medición, resolución vertical y horizontal, exactitud, precisión, linealidad, sensibilidad, frecuencia de muestreo y ancho de banda, empleando como referencia un osciloscopio comercial. Se aplicaron señales de distintas amplitudes y frecuencias, comparando las respuestas de ambos equipos. Los resultados obtenidos permitieron determinar las prestaciones y principales limitaciones del DSO desarrollado, demostrando su funcionalidad y confiabilidad para aplicaciones educativas y de laboratorio, aunque con restricciones lógicas en exactitud y ancho de banda respecto a equipos profesionales.

Palabras Clave — Caracterización, muestreo, comunicación, resolución, osciloscopio.

1. INTRODUCCIÓN

El osciloscopio es un instrumento fundamental en electrónica, utilizado para la representación gráfica de señales eléctricas, mostrando en el eje vertical la tensión (voltaje) y en el eje horizontal el tiempo. Gracias a esto, permite analizar el comportamiento temporal de las señales, detectar fallas y realizar mediciones precisas tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia.

Existen diferentes tipos de osciloscopios, siendo los más comunes los analógicos y los digitales. Mientras que los analógicos funcionan aplicando la señal a un tubo de rayos catódicos, los **osciloscopios digitales** (DSO, por sus siglas en inglés) convierten la señal medida en información digital mediante un conversor analógico-digital (ADC), almacenan las muestras en memoria y reconstruyen la forma de onda para mostrarla en pantalla. Como se ve en la Fig. 1.

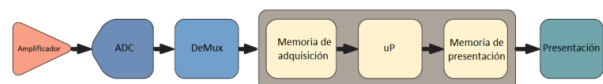


Figura 1. Configuración DSO

Esta tecnología no solo permite la visualización estable de señales periódicas o transitorias, sino que también ofrece funciones avanzadas como almacenamiento, comparación de formas de onda, y cálculo automático de parámetros como amplitud, frecuencia o tiempo de subida.

El DSO se ha convertido en una herramienta imprescindible para aplicaciones educativas, de laboratorio y diseño, ya que permite trabajar con múltiples canales, realizar capturas de señales de alta velocidad y facilitar la interpretación y análisis mediante herramientas digitales. Los parámetros clave que definen el desempeño de un DSO incluyen el ancho de banda, la frecuencia de muestreo, la resolución vertical y horizontal, y las capacidades de disparo (trigger), entre otros.

En este contexto, se desarrolló un osciloscopio digital de memoria utilizando un microcontrolador STM32, responsable de la adquisición de datos, junto con un ESP32 que se encarga del procesamiento y la visualización de las señales en una pantalla TFT ILI9341. El esquema de funcionamiento general se puede ver en la Fig. 2.

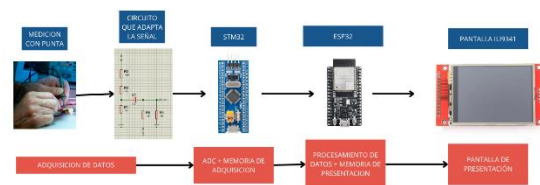


Figura 2. Esquema general de funcionamiento

El objetivo de este trabajo es realizar la caracterización experimental del instrumento construido, evaluando parámetros como rango de medición, resolución, exactitud, precisión, linealidad, sensibilidad, frecuencia de muestreo y ancho de banda, comparando sus mediciones con las de un osciloscopio comercial y determinando así sus prestaciones y limitaciones.

2. DESARROLLO

2.1. Configuración inicial

El proceso de construcción del osciloscopio digital de memoria comenzó con el **diseño de la carcasa en 3D**, etapa fundamental para definir el formato y la disposición de todos los componentes físicos del instrumento. Para esto, se emplearon técnicas de medición con calibre digital, relevando con precisión las dimensiones de la pantalla TFT ILI9341, las placas electrónicas, los botones, potenciómetros y conectores. Con estos datos, se realizó el modelado de la carcasa utilizando software de diseño asistido por computadora (por ejemplo, Fusión 360), como se puede ver en la Fig. 3.

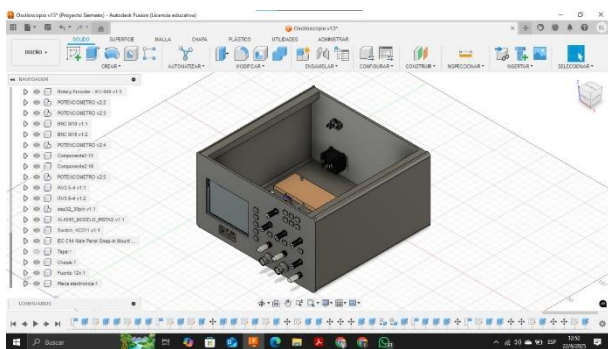


Figura 3. Diseño 3D chasis

Lo que permitió prever el correcto encastre de cada componente, asegurar la ergonomía del equipo y prever aspectos como acceso a controles y robustez mecánica. Una vez finalizado el diseño digital, la carcasa se fabricó mediante impresión 3D, lo que posibilitó realizar ajustes iterativos y validar físicamente el ensamble de todas las piezas.

En una segunda etapa, se procedió al **montaje y prueba del sistema más básico** sobre protoboard, ensamblando el microcontrolador STM32, el módulo ESP32 y la pantalla, junto a los componentes mínimos necesarios para el funcionamiento: alimentación, conexiones básicas, y algunos controles simples. Como se ve en la Fig. 4.

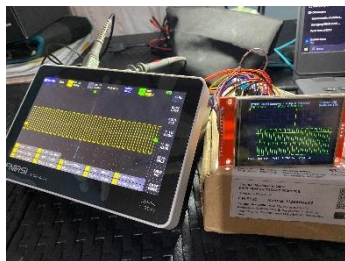


Figura 4. Pruebas en protoboard

Esta fase permitió verificar el correcto funcionamiento de la adquisición de datos, la comunicación entre los microcontroladores y la visualización inicial de señales en la pantalla. El uso del prototipo facilitó la detección y

corrección temprana de posibles fallas en la lógica, conexiones o programación, antes de avanzar a una etapa de mayor integración.

Una vez comprobada la operatividad básica del sistema, se avanzó al **diseño y fabricación de la placa electrónica (PCB) definitiva**. En esta instancia, se trasladó el circuito validado del prototipo a un diseño de placa optimizado, utilizando software especializado como Proteus 8.12 para el diseño PCB, como se ve en la Fig. 5.

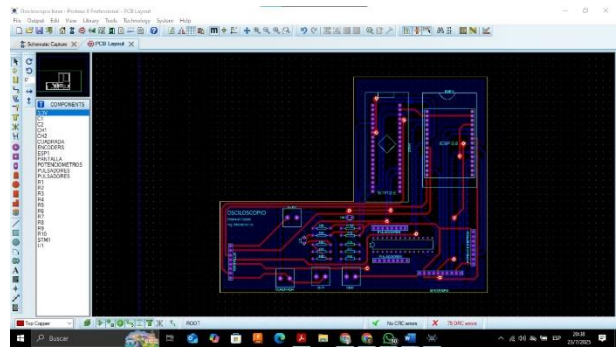


Figura 5. Diseño PCB

Finalmente, la placa fabricada permitió consolidar el sistema, mejorar la robustez eléctrica y mecánica, y lograr un producto final compacto y profesional.

2.2. Caracterización

La caracterización del osciloscopio se realizó utilizando un generador de funciones como fuente de señal patrón. Las mediciones se efectuaron incrementando progresivamente la amplitud de la señal hasta alcanzar el valor máximo disponible. Cabe destacar que el generador de señales empleado tiene un límite de salida de 20 Vpp, por lo cual la caracterización se llevó a cabo únicamente hasta dicho valor. Este rango fue suficiente para evaluar el desempeño del instrumento dentro de sus condiciones operativas típicas, aunque no se descarta que el sistema sea capaz de manejar tensiones mayores con una fuente externa adecuada.

2.2.1. Instrumentó patrón

El instrumento patrón utilizado para la caracterización fue un osciloscopio digital portátil FNIRSI 1013D, equipado con dos canales independientes, frecuencia de muestreo de 1 MSa/s y ancho de banda de 100 kHz. Este equipo cuenta con un ADC de 8 bits de resolución, permite medir señales de hasta ± 40 V en modo directo, y dispone de una pantalla táctil de 7 pulgadas para visualización y configuración. Además, integra funciones avanzadas de medición automática y almacenamiento de formas de onda, lo que lo convierte en una referencia confiable para la comparación y calibración del osciloscopio desarrollado. Su costo aproximado es de 280.000 pesos argentinos, lo que

equivale a unos 300 dólares estadounidenses al tipo de cambio vigente en julio de 2025.



Figura 6. Osciloscopio Fnririsi 1013d

2.2.2. Determinación de la frecuencia operativa

Para evaluar el desempeño del osciloscopio en el dominio de la frecuencia, se realizó un ensayo experimental que consiste en determinar el rango de frecuencias en el cual el instrumento puede visualizar adecuadamente una señal senoidal sin distorsión significativa. Se conectó la entrada del osciloscopio a un generador de funciones capaz de entregar señales senoidales de amplitud constante, variando la frecuencia desde 20 Hz hasta 600 Hz en incrementos de 20 Hz. En cada punto, se observó en la pantalla del osciloscopio la forma de onda visualizada, prestando especial atención a los siguientes aspectos:

- Presencia o ausencia de distorsión (aplanamiento de picos, formas irregulares, recorte de la señal).
- Pérdida de ciclos o aparición de aliasing.
- Disminución notable en la cantidad de muestras por ciclo (forma de onda “escalonada”).

Se registró para cada frecuencia la calidad de la visualización, anotando la frecuencia máxima en la cual la señal pudo ser representada fielmente, es decir, conservando su forma sinusoidal sin deformaciones evidentes. Por encima de esta frecuencia, se observaron distorsiones asociadas principalmente a las limitaciones del sistema de adquisición de datos (frecuencia de muestreo y procesamiento).

2.2.3. Determinación resolución vertical y horizontal

La resolución vertical del osciloscopio está determinada por el conversor analógico-digital (ADC) del microcontrolador STM32, el cual opera a 12 bits, permitiendo discriminar 4096 niveles distintos. Considerando el rango de tensión procesado por el circuito acondicionador, la resolución vertical teórica resulta de 15,3 mV por nivel.

Para la resolución horizontal, se utilizó un generador de funciones para ingresar señales senoidales de distintas frecuencias, observando a partir de qué frecuencia la forma de onda podía distinguirse correctamente y mantenerse estable en pantalla. Se determinó que la

frecuencia mínima representable de forma clara es de **20 Hz**, lo que establece el límite inferior práctico de resolución temporal para este instrumento. Pese a que el sistema permite configurar la grilla horizontal con una escala mínima de **1 us/división**, la capacidad real para observar fenómenos más lentos queda limitada por esta resolución experimental.

2.2.4. Cálculo de errores, exactitud, linealidad y precisión.

Para validar el funcionamiento y la confiabilidad del osciloscopio desarrollado, se realizó una serie de mediciones comparativas utilizando como referencia un instrumento patrón calibrado. A partir de estas mediciones, se determinaron los parámetros clave que definen el desempeño del instrumento, tales como la exactitud, precisión, linealidad y errores asociados.

El análisis de errores constituye un paso fundamental en la caracterización de cualquier equipo de medición, ya que permite cuantificar las desviaciones existentes entre los valores obtenidos por el instrumento propio y los valores reales provistos por el patrón. En este sentido, se calcularon tanto los errores absolutos como los errores relativos, permitiendo evaluar el comportamiento del sistema a lo largo de todo su rango de operación. En la tabla 1 se anexan las mediciones correspondientes a los ensayos experimentales de V_{pp} , y en la tabla 2 los correspondientes al V_p .

Medición V_{pp} Instrumento Patrón	Medición V_{pp} osciloscopio
0,08V	0,10V
4,04V	5,70V
6,16V	6,75V
8,4V	8,69V
10,32V	10,29V
12,6V	12,39V
15V	14,64V
17V	16,34V
19V	18,59V
21V	20,24V

Tabla 1. Mediciones de V_{pp}

Medición V_p Instrumento patrón	Medición V_p Osciloscopio
0,12V	0,08V
2,08V	2,38V
3,2V	3,33V
4,32V	4,28V
5,28V	5,47V
6,48V	6,22V
7,8V	7,42V
8,8V	8,07V
9,8V	9,27
10,8V	10,37V

Tabla 2. Mediciones de V_p

Así mismo se calcularon los errores de ambas medidas teniendo en cuenta la ec. 1 del error absoluto y la ec.2 del error relativo porcentual. Todos los resultados de los cálculos están anexados en la tabla 3 y 4 respectivamente.

$$\text{Error absoluto} = \text{Valor real} - \text{Valor medido} \quad (1)$$

$$\text{Error relativo \%} = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor medido}}{\text{Valor Real}} * 100 \quad (2)$$

Error absoluto Vpp	Error relativo porcentual Vpp
0.02V	25.00%
1.66V	41.09%
0.59V	9.58%
0.29V	3.45%
0.03V	0.29%
0.21V	1.67%
0.36V	2.40%
0.66V	3.88%
0.41V	2.16%
0.76V	3.62%

Tabla 3. Errores absolutos y relativos porcentuales de Vpp

Error absoluto Vp	Error relativo porcentual Vp
0.04V	33.33%
0.30V	14.42%
0.13V	4.06%
0.04V	0.93%
0.19V	3.60%
0.26V	4.01%
0.38V	4.87%
0.73V	8.30%
0.53V	5.41%
0.43V	3.98%

Tabla 4. Errores absolutos y relativos porcentuales de Vp

En base a las mediciones tomadas se calculó la exactitud de medición de ambos parámetros, en la ec. 3 y 4 respectivamente.

$$\text{Exactitud Vpp} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Error Relativo } i}{n} = 9.31\% \quad (3)$$

$$\text{Exactitud Vp} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Error Relativo } i}{n} = 8.29\% \quad (4)$$

Asimismo, se analizó la linealidad de la respuesta, calculando los correspondientes coeficientes de Pearson en las ec. 5 y 6. Identificando posibles sesgos y desviaciones sistemáticas, como se puede ver en las Fig. 7 y 8 respectivamente.

$$\text{Linealidad Vpp} = \frac{\sum z_x z_y}{N} = 0.8974 \quad (5)$$

$$\text{Linealidad Vp} = \frac{\sum z_x z_y}{N} = 0.8982 \quad (6)$$

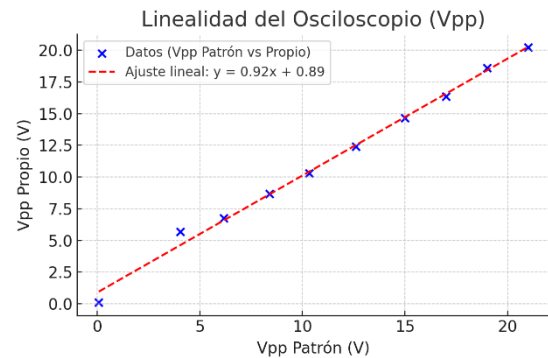


Figura 7. Grafica puntos y Relación de Pearson de Vpp

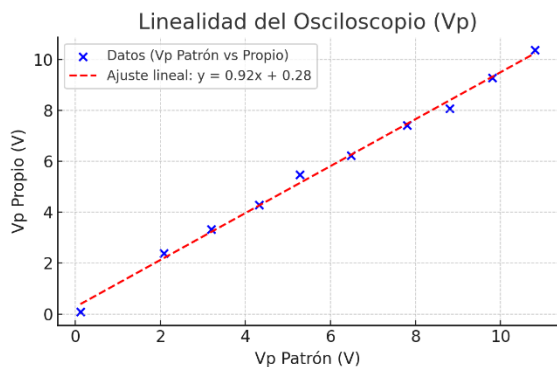


Figura 8. Grafica puntos y Relación de Pearson de Vp

Como siguiente, se caracterizó la precisión en base al cálculo de la ec. 7.

$$\text{Precisión} = \frac{\sigma}{u} \cdot 100 \quad (7)$$

Se tomaron 5 muestras para evaluar la repetibilidad, la cual es un tipo de precisión. Como tal, se sabe de antemano que, para conocer la repetibilidad, se deben tomar múltiples muestras bajo las mismas condiciones.

Por ello, se realizaron 5 mediciones de Vpp las cuales se anexan en la tabla 5:

1°	10,19v
2°	9,94v
3°	9,69v
4°	10,39v
5°	10,49v

Tabla 5. Mediciones de un mismo valor

Se procede a calcular la desviación estándar y el promedio. De este modo reemplazando en la ecuación se obtiene:

$$\text{Precisión} = \frac{0.3279}{10.14} \cdot 100 = 3.23\% \quad (8)$$

En resumen, la repetibilidad del osciloscopio, evaluada mediante cinco mediciones consecutivas bajo las mismas condiciones, arrojó un valor de dispersión relativa del 3,23 %. Este resultado indica que el instrumento presenta una buena consistencia en sus lecturas cuando se realizan mediciones repetidas en el mismo escenario, lo que aporta confiabilidad a la hora de utilizarlo en tareas de monitoreo y diagnóstico.

2.2.5. Resolución analógica y digital.

En el osciloscopio desarrollado, la resolución digital está determinada por las características del conversor analógico-digital (ADC) incorporado en el microcontrolador. En este caso, se utiliza un ADC de 12 bits, capaz de discriminar 4096 niveles diferentes dentro de un rango de entrada de 0 a 3,3 V, lo que equivale a una resolución mínima de **0,805 mV** por bit sobre la señal que llega directamente al ADC.

Sin embargo, la señal original a medir primero atraviesa un circuito acondicionador, como se ve en la Fig. 9, el cual aplica un offset de 1,65 V (para centrar señales alternas dentro del rango de entrada del ADC) y una atenuación mediante un divisor resistivo de relación 1/19.

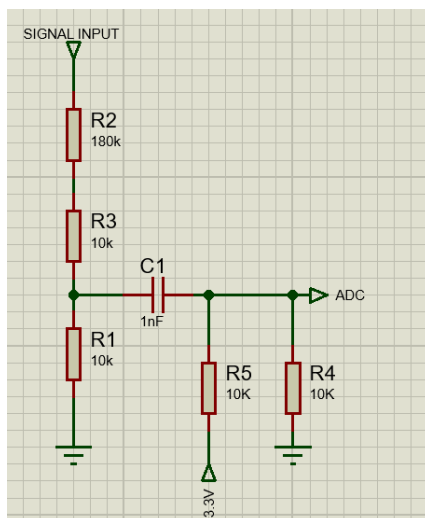


Figura 9. Circuito acondicionador de señal.

Esto significa que cualquier variación en la señal de entrada se ve reducida 19 veces antes de ser digitalizada. Como consecuencia, la menor variación real de voltaje que puede detectarse a la entrada del osciloscopio —es decir, la **resolución analógica efectiva**— es igual a la resolución digital multiplicada por el factor de atenuación. En este caso, la resolución efectiva respecto a la señal original es de **15,3 mV** por bit.

De este modo, mientras la resolución digital es la que establece el ADC para la señal acondicionada, la resolución analógica efectiva refleja la sensibilidad real del sistema sobre la señal de entrada, considerando todo

el circuito de acondicionamiento. Esta distinción es fundamental a la hora de analizar y comparar el desempeño del instrumento.

2.3. Costos

La siguiente tabla presenta el detalle de los costos asociados a la fabricación del osciloscopio, incluyendo componentes electrónicos, conectores, materiales estructurales y elementos auxiliares. En los casos en que ciertos ítems fueron reutilizados, donados o recuperados de otros proyectos, se ha indicado un valor estimado de mercado a efectos de reflejar el costo real de reposición.

Elementos	Precio
x2 Conector BNC hembra para chasis	\$ 7.000
x10 Cable DuPont hembra macho 10cm	\$ 875
x40 Cable DuPont macho macho 10cm	\$ 3.000
x3 Encoder	\$ 12.900
Fuente Arduino step down	\$ 3.000
Microcontrolador ESP32	\$ 11.000
Microcontrolador STM32	\$ 5.000
Pantalla TFT ILI9341	\$ 15.000
x5 Potenciometro	\$ 5000
x15 Pulsador	\$ 4000
Placa de Vaquelita virgen doble fax 15*15	\$ 9500
Impresiones 3D PLA celeste y gris	\$ 9.000
x4 Terminal TBLOCK doble	\$ 3200
x10 Resistencia 10kohm	\$ 1000
x2 Resistencia 180kohm	\$ 200
x5 Tira de 40 Pines hembra 1x40	\$ 3.000
Capacitores	\$ 500
Total	\$102.175

Tabla 6. Costos

2.4. Características del osciloscopio

El sistema es capaz de adquirir un conjunto de 1024 muestras en aproximadamente **51 ms** a una frecuencia de muestreo de 20 kHz, procesar los datos localmente y transmitirlos mediante UART a 230400 baudios. La transmisión del buffer completo requiere unos **89 ms**, resultando en un tiempo total para obtener, procesar y enviar una medición de alrededor de **140 ms**. Este tiempo de refresco permite visualizar señales en tiempo prácticamente real, facilitando el análisis de señales dinámicas y transitorios.

Ademas considerando el divisor resistivo de 1/19 y el offset de 1,65 V aplicado en el circuito de entrada, el rango de medición efectivo del osciloscopio es de

aproximadamente ± 30 V en la señal original, antes del acondicionamiento. Esto permite observar señales alternas de gran amplitud sin riesgo de saturación del ADC. Cabe destacar que la caracterización experimental se realizó hasta ± 10 V, debido a las limitaciones del generador de funciones utilizado, por lo que el rango validado experimentalmente es confiable hasta dicho valor.

En cuanto a la configuración del sistema de visualización, el osciloscopio cuenta con una grilla superpuesta que permite seleccionar escalas horizontales de hasta $1 \mu\text{s}/\text{división}$ y escalas verticales de hasta $0,1 \text{ V}/\text{división}$. Estas opciones brindan una mayor flexibilidad al usuario para analizar señales de alta velocidad o de baja amplitud, facilitando la lectura precisa de los detalles en pantalla. Si bien las escalas mínimas configurables pueden exceder los límites prácticos impuestos por el hardware (como la frecuencia de muestreo o la resolución efectiva), resultan útiles como herramientas de ajuste fino en la interpretación visual de las formas de onda.

2.5. Comparación con instrumentos comerciales

Se realizó una comparación entre el osciloscopio propio, el FNIRSI 1013D y el Hantek 6022BE, considerando parámetros técnicos clave como resolución, frecuencia de muestreo, ancho de banda y métodos de visualización. Esta evaluación permitió identificar las ventajas y limitaciones de cada instrumento, así como contextualizar el desempeño del osciloscopio desarrollado frente a opciones comerciales. Los resultados se resumen en la tabla 5. Además se puede ver a dos de los 3 de la tabla en la Fig. 10.

Característica	Osciloscopio Propio	FNIRSI 1013D	Hantek 6022BE
Número de canales	1	2	2
Rango de tensión de entrada	± 10 V (caracterizados, pero se estima que puede llegar a ± 30 V)	± 40 V	± 20 V
Resolución ADC	12 bits	8 bits	8 bits
Frecuencia de muestreo (max)	20 kHz	1 MHz	48 MSa/s
Pantalla integrada	✓ (externa)	✓	✗
Comunicación USB/PC	✗	✗	✓

Medición automática de Vpp	✓	✓	✓
Ancho de banda	600 Hz (experimental)	100 kHz	20 MHz
Medición automática de Frec.	✓	✓	✓
Medición True RMS	✓	✓	✓
Estimación de costo	\$102.175	\$280.00	\$90.00

Tabla 7. Comparación directa



Figura 10. Osciloscopio casero y Fnirisi 1013d

3. CONCLUSIONES

El desarrollo y caracterización experimental del osciloscopio digital de bajo costo permitió evaluar en profundidad el desempeño del instrumento en términos de exactitud, precisión, linealidad, resolución y velocidad de adquisición. Las mediciones mostraron que el sistema alcanza una exactitud del 9,81% y una repetibilidad del 3,23% para señales de entrada, valores que resultan adecuados para aplicaciones educativas, de laboratorio y tareas de diagnóstico básico. El coeficiente de correlación lineal obtenido (0,89) evidencia una buena linealidad global, aunque se observa una pendiente de ajuste inferior a la ideal, atribuida principalmente a la etapa de acondicionamiento de señal.

En cuanto a resolución, la implementación de un ADC de 12 bits junto con el divisor resistivo brinda una resolución efectiva de $15,3 \text{ mV}$ sobre la señal original, permitiendo observar variaciones de amplitud relevantes en la mayoría de las aplicaciones prácticas. El rango de medición alcanza $\pm 31 \text{ V}$ gracias al diseño del circuito acondicionador, lo que habilita la visualización de señales de mayor amplitud sin riesgo de saturación del sistema.

Desde el punto de vista funcional, el instrumento es capaz de adquirir, procesar y transmitir un buffer de 1024 muestras en tan solo 140 ms, logrando así una visualización prácticamente en tiempo real de señales dinámicas. El ancho de banda experimentalmente determinado fue de 600 Hz, suficiente para el análisis de señales de baja frecuencia, aunque limitado frente a equipos comerciales de mayor rango.

Por último, la flexibilidad de configuración y programación representa un valor agregado clave, ya que el sistema fue concebido con una arquitectura abierta y modular. Esto permite, mediante modificaciones en el firmware, ampliar fácilmente sus funcionalidades. Entre las posibles extensiones se incluyen: la incorporación de un segundo canal de adquisición, un canal matemático, funciones de trigger avanzadas, cursores de medición, controles como run/stop, visualización en modo FFT, entre otras herramientas propias de osciloscopios de mayor gama. Esta capacidad de evolución lo posiciona como una solución accesible, versátil y adaptable, ideal tanto para entornos de aprendizaje como para aplicaciones experimentales o de desarrollo.



Figura 11. Osciloscopio casero

3.1. Placa característica

Parámetro	Valor
Microcontrolador	STM32F103C8T6 + ESP32
Resolución ADC	12 bits (0,805 mV/bit)
Divisor resistivo	1/19
Offset de entrada	1,65 V
Rango de medición	± 10 V
Resolución efectiva	15,3 mV
Frecuencia de muestreo	20 kHz
Cantidad de muestras/buffer	1024
Tiempo de refresco total	140 ms
Ancho de banda experimental	400 Hz
Exactitud promedio Vpp	9,31%
Exactitud promedio Vp	8,29%
Linealidad (Pearson) Vpp	0.8974
Linealidad (Pearson) Vp	0.8982
Repetibilidad (precisión)	3,23 %
Comunicación	UART 230400
Visualización	ILI9341 2.8"
Estimación de costo	\$102.175

Tabla 8. Placa característica



Figura 12. Pantalla en funcionamiento

REFERENCIAS

- [1] TP9. Instrumentación virtual. Arduino 2.
- [2] Bossa, José Luis. "Caracterización de Instrumentos". Villa Mercedes, San Luis, LCA, 2022.
- [3] Bossa, José Luis. "Osciloscopio digitales". Villa Mercedes, San Luis, LCA, 2025.