

Proyecto 2

Voltímetro Digital

1st Acevedo Rodríguez Kevin
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Taller de señales mixtas
Cartago, Costa Rica
kevinar51@estudiantec.cr

2nd Camacho Hernández José Julián
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Taller de señales mixtas
Cartago, Costa Rica
jcamacho341@estudiantec.cr

3rd Araya Chacon Mario Alexis
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Taller de señales mixtas
Cartago, Costa Rica
marioaraya1999@estudiantec.cr

Resumen—This paper presents the design and implementation of a versatile and precise voltage measurement system using an Analog-to-Digital Converter (ADC) in conjunction with an Arduino platform. The system is capable of measuring both direct current (DC) and rectified alternating current (AC) signals, offering two measurement scales (0-10V and 0-100V) to accommodate various measurement requirements. Furthermore, the paper addresses the power supply aspect by employing AC to DC conversion from a 120V AC signal. This comprehensive approach, from analog signal acquisition to digital display on an LCD, provides a holistic solution for voltage measurement in diverse real-world applications. The paper delves into ADC theory, design methodology, implementation details, and presents experimental results, highlighting its contribution to accurate and adaptable voltage measurement.

Index Terms—Voltmeter, Analog, Digital, ADC, Rectification, Conversion.

I. INTRODUCCIÓN

La medición precisa de voltajes es esencial en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de control industrial hasta proyectos de electrónica. La conversión de señales analógicas a digitales desempeña un papel crucial en este proceso, ya que permite adquirir y procesar datos de manera eficiente y precisa.

Este paper se centra en el diseño e implementación de un sistema de medición de voltajes altamente versátil y preciso que utiliza un Convertidor Analógico-Digital (ADC) en combinación con la plataforma Arduino. Este sistema tiene la capacidad de medir tanto señales de corriente continua como corriente alterna rectificada, en dos escalas diferentes: la primera de 0V a 10V y la segunda de 0V a 100V. Además, se abordarán aspectos relacionados con la alimentación del sistema, que se obtiene a partir de la conversión de una señal de 120V de corriente alterna a corriente continua mediante el proceso de rectificación.

I-A. Convertidores ADC

Un Convertidor Analógico-Digital (ADC) es un componente esencial en la electrónica que permite la traducción de señales analógicas, como voltajes, en valores digitales comprensibles por microcontroladores como Arduino. El principio fundamental detrás de un ADC se basa en la discretización de la señal analógica continua en una serie de valores discretos, que

representan el valor numérico de la señal en un momento dado. [1]

Existen diferentes arquitecturas de ADC, pero uno de los más comunes es el ADC de aproximaciones sucesivas (SAR). Este tipo de ADC opera mediante la comparación de la señal analógica de entrada con valores digitales generados internamente en un proceso iterativo. Comienza con un valor medio y va ajustándolo de manera sucesiva hasta que la diferencia entre el valor analógico y el valor digital generado se reduce a un nivel aceptable. El valor digital resultante se convierte en el valor digital que representa el voltaje analógico medido.

I-B. Rectificación de señales de AC a CD

En muchas aplicaciones, es esencial medir voltajes en sistemas de corriente continua (CD), pero la mayoría de las fuentes de voltaje disponibles proporcionan corriente alterna (CA). Por lo tanto, se debe realizar un proceso de rectificación para convertir la señal de CA en una señal de CD.

Esto se logra mediante el uso de un circuito rectificador que elimina la parte negativa de la señal de CA y retiene solo la parte positiva. Los rectificadores más comunes son los rectificadores de onda completa, que permiten la conversión de señales de CA sinusoidales en señales de CD pulsantes.

El objetivo principal de este trabajo es presentar el diseño y la implementación de un voltímetro digital que aprovecha las capacidades de los convertidores analógico-digital para la medición de valores de tensión. Se abordará en detalle la teoría detrás del uso de los ADC para estos fines. Además, se explorarán conceptos de rectificación y su importancia en la alimentación de circuitos por medio de corriente directa.

El paper se organizará de la siguiente manera: en la sección II se describirá el diseño propuesto del voltímetro digital, incluyendo la selección de escala, de tipo de señal y conexión adecuada para la conversión analógica a digital, así como el despliegue en el LCD. En la sección III, se presentarán los resultados de la implementación, que incluirán mediciones de desempeño y precisión en la toma de las tensiones de entrada. Finalmente, en la sección IV se discutirán las conclusiones y se propondrán posibles direcciones futuras para la mejora y expansión del voltímetro implementado.

II. DISEÑO

A continuación, se presenta el diseño del funcionamiento general del sistema, para estos diseños se tomaron en cuenta la explicación del comportamiento de los convertidores analógico-digital con del material proporcionado por el profesor [2].

A continuación se presenta el diagrama de bloques general del sistema. Este fue tomado directamente de la especificación del presente proyecto proporcionada por el profesor [3].

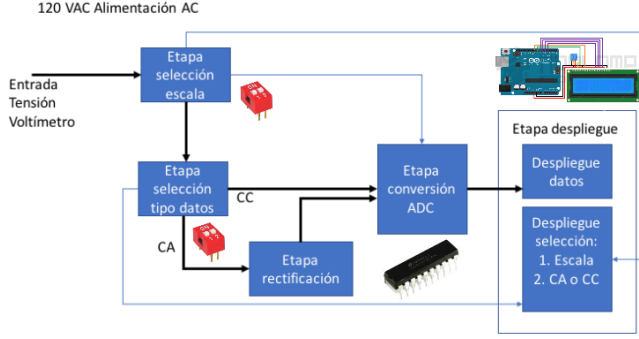


Figura 1. Diagrama general del sistema. [3]

En el diagrama se resaltan las principales partes del sistema:

- Etapa de acondicionamiento de la tensión de la red Eléctrica a tensión DC (AC-DC).
- Etapa de Selección de Escala
- Etapa de Selección de tipo de datos: AC o DC.
- Etapa de rectificación (para datos AC)
- Etapa de conversión de datos.
- Etapa de despliegue de datos.

II-A. Etapa de selección de escala y conversión de datos

A continuación se detalla la propuesta de diseño de la selección de escala y conversión de datos por medio del ADC.

En primer lugar, la etapa relacionada con la escala está compuesta por dos divisores de tensión. La selección de la misma, está determinada por dos *dip switches* que se muestran como S1 y S2 en la figura 2.

El *switch* S1 tienen como función elegir hacia cuál de los divisores se dirige la señal de entrada, y por ende cuál escala se toma. Por otro lado, S2 tiene como función principal la seguridad del ADC, ya que determina cuál es la entrada hacia el integrado con el fin de que no existan corrientes de fuga o tensiones que afecten su funcionamiento.

La presencia de los divisores de tensión como circuitos para la escala está relacionada con el voltaje máximo de operación del ADC seleccionado. El ADC que fue posible conseguir por el grupo fue el **ADC0804**. Según la hoja de datos este tiene un rango de entrada analógico de 0V a 5V:

0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply. [4]

A partir de esto, se realiza el análisis de que para que cumplir con las escalas requeridas, se necesita atenuar el

voltaje de entrada al ADC con el fin de cumplir con esta limitante. Por lo que para realizar esto, se decide utilizar dos divisores de tensión, uno para cada escala.

Para la escala de 0V a 10V, se diseña un divisor compuesto por resistencias del mismo valor, como se presenta en el circuito superior en la figura 2. La ecuación es la siguiente:

$$v_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_{in} \quad (1)$$

Donde si se tiene que $R_1 = R_2$, entonces:

$$v_{out} = \frac{1}{2} v_{in} \quad (2)$$

Esta expresión es muy conveniente en este caso, ya que efectivamente escala la señal a la mitad, mapeando así todos los posibles valores de entrada para que sean adecuados para el integrado. Esto se puede ver fácilmente con el ejemplo de que el valor máximo de la escala que son 10V, se mapea al valor máximo del ADC que son 5V, por lo que solo resta realizar el mismo ajuste a la inversa a la hora de desplegar los datos en el LCD.

El comportamiento del ejemplo anterior se presenta en la siguiente figura, donde todos los LEDs encendidos a la salida indican el valor máximo:

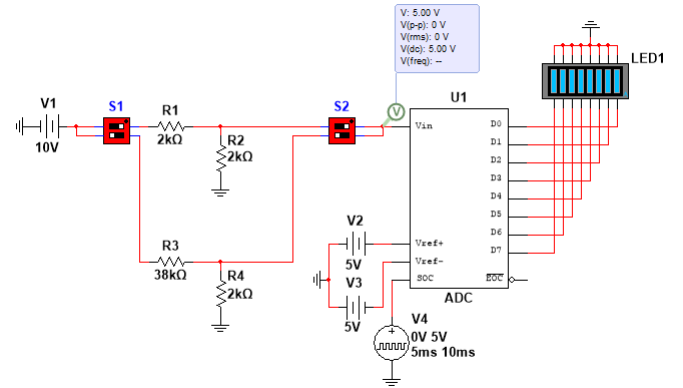


Figura 2. Diseño de las etapas de selección y salida del ADC.

Para el caso de la escala de 0V a 100V, se sigue un razonamiento similar al de la escala anterior, solo que la resistencias se seleccionan para que se tenga el escalamiento adecuado según la ecuación del divisor de tensión:

$$v_{out} = \frac{2k\Omega}{2k\Omega + 38k\Omega} v_{in} = \frac{1}{20} v_{in} \quad (3)$$

De igual manera, se puede visualizar este caso con el máximo de la escala que serán 100V mapeados a 5V (100/20 V), que es efectivamente el máximo permitido por el ADC.

El funcionamiento en simulación de este caso se muestra en la figura 3, donde se destaca el cambio de escala en los *dip switches* S1 y S2, y se visualizan todos los LEDs encendidos indicando el máximo valor.

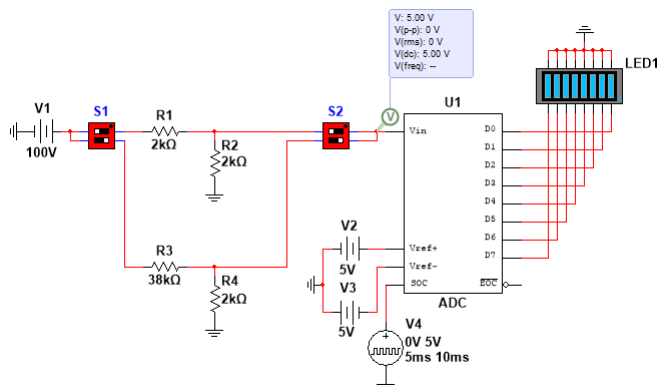


Figura 3. Diseño de las etapas de selección y salida del ADC.

En las anteriores figuras 2 y 3, se presentó también parte de la etapa de conversión de datos analógicos a digitales. Sin embargo, *Multisim*, la herramienta que se utilizó no cuenta con ADC0804, por lo que a continuación, en la figura 4 se muestra el diseño de referencia [5] que se utilizó para la conexión de los distintos pines del integrado.

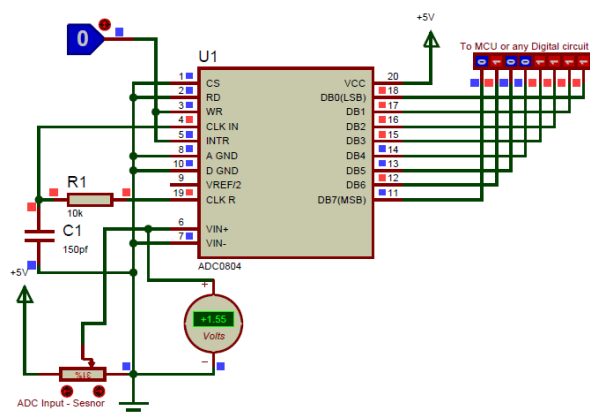


Figura 4. Diseño de circuito para ADC. [5]

De este integrado cabe destacar que es un módulo ADC de 20 pines de un solo canal y 8 bits. Esto significa que puede medir un valor ADC desde 0V hasta 5V, y la precisión cuando la referencia de voltaje (V_{ref} , pin 9) es +5V es de $19,53mV$ (tamaño de paso). Esto significa que por cada aumento de $19,53mV$ en el lado de entrada, habrá un aumento de 1 bit en el lado de salida. [5]

II-B. Etapa de rectificación (para datos AC)

Como se ha destacado previamente, el convertidor analógico a digital (ADC) empleado en este proyecto se encarga de recibir una señal en un rango que oscila entre 0V y 5V en corriente continua. Debido a esta especificación, fue esencial incorporar un subcircuito diseñado para transformar la corriente alterna en corriente continua, tal y como se muestra en la figura 5.

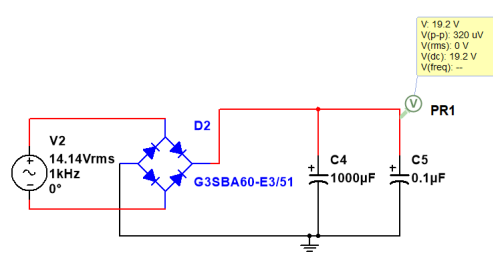


Figura 5. Diseño de circuito para rectificar una señal en AC.

A continuación, se detallan los componentes necesarios para llevar a cabo el proceso de rectificación, así como su funcionamiento:

- **Puente de diodos de onda completa:** Consta de 4 diodos dispuestos de manera que permiten que la corriente fluya en una sola dirección. Durante la mitad del ciclo de la señal de entrada AC, dos diodos conducen, permitiendo que la corriente fluya en una dirección a través de la carga. Durante la otra mitad del ciclo, los otros dos diodos conducen, invirtiendo la polaridad de la corriente a través de la carga.
- **Capacitores de 1000 μF y 0.1 μF :** Después del puente de diodos, la señal rectificada aún tiene pequeñas fluctuaciones o rizado. El capacitor de 1000 μF se utiliza como un filtro para suavizar la señal. Absorbe parte de la energía durante las partes de alta tensión del ciclo y la libera durante las partes de baja tensión, reduciendo así el rizado. El capacitor más pequeño, en paralelo con el capacitor de 1000 μF , actúa como un filtro adicional de alta frecuencia.

II-C. Etapa de despliegue

Para esta etapa, se decidió la implementar un Arduino Mega y una pantalla LCD de 16x2. Esto debido a que cuenta con una gran cantidad de puertos tanto analógicos como digitales para simplificar el diseño y mantener un cableado más ordenado y poder interpretar las señales de los switches con mayor facilidad. La selección de una pantalla LCD se debe a que en esta se puede desplegar la cantidad de información de una forma ordenada, permitiendo mostrar voltaje, la escala de las mediciones y si la señal de entrada es CD o CA. Para esto se implementó el circuito mostrado en la figura 6.

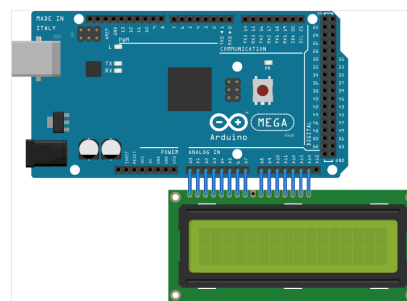


Figura 6. Diseño de circuito para arduino y LCD.

De esta manera, al conectar los pines analógicos del arduino y configurarlos como salidas, se puede suministrar la energía necesaria para que la pantalla pueda funcionar correctamente y recibir la información que necesita para desplegar los datos, mientras que en los pines digitales se utilizan como entradas donde se leen los valores que indican si la señal es AC o CD, la escala de las mediciones y los 8 valores de salidas del ADC, para representar los bits del voltaje leído. Una vez que se tienen estos valores, mediante un código de Arduino, se interpretan y se despliegan en la pantalla para su lectura.

En esta etapa, también se realiza un proceso muy importante el cual es volver a escalar el voltaje medido. Con esto se refiere a que la tensión de entrada que se le aplica al voltímetro, debe de ser escalada para operar en valores que los componentes del circuito puedan tolerar y comportarse como se espera. Es por esto que una vez que se leen los 8 bits que representan el voltaje leído desde el ADC siendo 1 un valor cercano a los 5V y 0 un valor cercano a los 0V. Este proceso empieza al leer las entradas de voltaje, seguidamente se interpretan estos bits y se convierte a una cadena de texto representando un número binario, luego este número se convierte a un entero y se multiplica por 0.01953, el cual es el resultado de $\frac{5V}{256bits}$, donde finalmente el valor es escalado por un factor numérico cercano a 1.9 para compensar las pérdidas de precisión a lo largo del circuito y ajustar la conversión a números con 4 cifras significativas.

II-D. Etapa de alimentación

Una etapa esencial en el desarrollo de este proyecto es el suministro de energía al sistema. En este contexto, se ha implementado un sistema de alimentación que utiliza la señal de la red eléctrica, que es una onda senoidal de 120 VAC, para alimentar el circuito con una señal de voltaje en corriente continua de aproximadamente 5V.

Para abordar esta necesidad, se ha implementado el circuito representado en la figura 7, el cual consta de diversas subetapas para transformar la señal hasta lograr una salida estable de corriente continua de 5V.

II-D1. Circuito Rectificador: Este circuito se compone de un transformador y un puente de diodos de onda completa. Su función principal es convertir la señal proveniente del tomacorriente a corriente continua. Inicialmente, la señal se transforma mediante un transformador para obtener 20 VAC en el bobinado secundario, partiendo de los 120 VAC en el bobinado primario. Posteriormente, se emplea un puente de diodos de onda completa, como se explicó previamente, para rectificar la señal a corriente continua, aprovechando ambos ciclos (positivo y negativo).

II-D2. Circuito de Sensado/Filtro: Se incorporan dos capacitores de sensado para eliminar el rizado que permanece después de pasar la señal por el puente de diodos.

II-D3. Circuito Regulador de Voltaje: A este punto, se ha obtenido una señal estable de aproximadamente 20 V. No obstante, el circuito que se pretende alimentar opera con 5V.

Para ajustar la señal a este nivel, se utiliza el regulador LM317, un regulador de voltaje lineal con tres terminales que permite ajustar la señal de salida a un voltaje específico (en este caso, 5V). Para un ajuste final, se agrega un condensador de 10 μF con el objetivo de maximizar la estabilidad de la señal de salida.

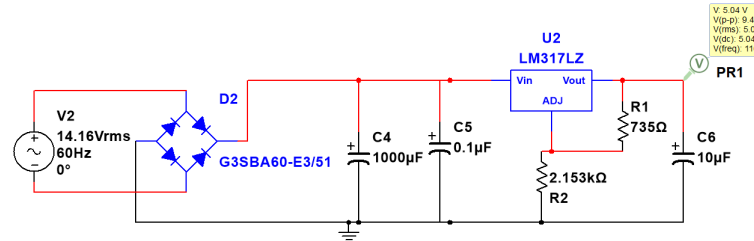


Figura 7. Diseño del circuito para la alimentación del sistema.

III. RESULTADOS

A partir de los diseños realizados anteriormente, se procede a ensamblar los circuitos respectivos para realizar las mediciones de tensión como muestra a continuación en la figura 8.

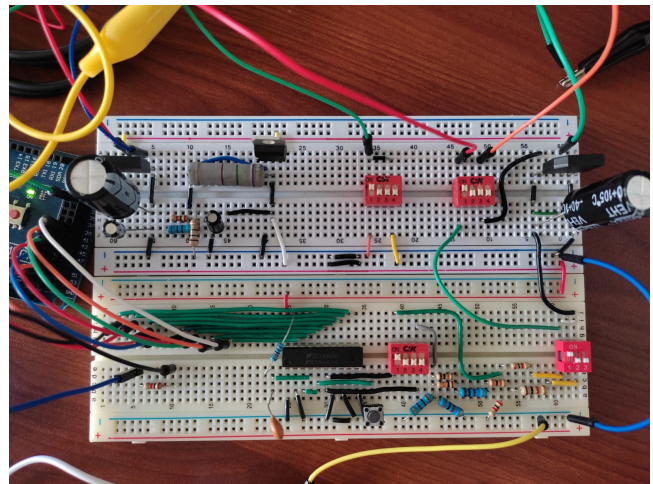


Figura 8. Circuito final.

La parte inferior derecha de la figura corresponde a la selección de escala, mientras que la superior derecha es la rectificación para señales de entrada AC. Arriba a la izquierda se tiene la sección de acondicionamiento de la tensión de la red eléctrica a tensión DC (AC-DC). La parte inferior central son las conexiones del ADC0804. Finalmente, a la izquierda se visualizan las conexiones con el Arduino Mega.

III-A. Medición CD

En esta sección se presentan los resultados de mediciones de voltaje para los tipos de datos de corriente directa.

En la figura 9, se visualiza la medición en la escala de 0V a 10V de una tensión de entrada de 9.3 V. Es posible observar que el voltaje medido y desplegado en el LCD es de 9.389 V.

El porcentaje de error de dicha medición se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Error (\%)} = \left| \frac{\text{Valor Real} - \text{Valor Medido}}{\text{Valor Real}} \right| \times 100 \quad (4)$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$\text{Porcentaje de Error (\%)} = \left| \frac{9,3 - 9,389}{9,3} \right| \times 100 \quad (5)$$

Por lo tanto, el porcentaje de error es:

$$\text{Porcentaje de Error (\%)} = 0,96 \% \quad (6)$$

Dicho porcentaje es muy bajo, y de hecho como la fuente utilizada es analógica y no cuenta con más valores decimales puede ser que el valor sea aún más similar, por lo que se demuestra el correcto funcionamiento del voltímetro digital implementado.

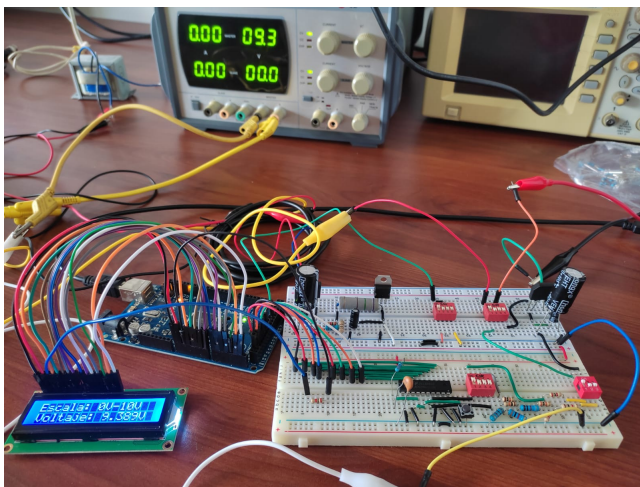


Figura 9. Resultado de medición de señal CD en escala de 0-10 V.

En la figura 10 se presenta otra medición para la misma escala. Se observa que se obtienen valores muy similares nuevamente.

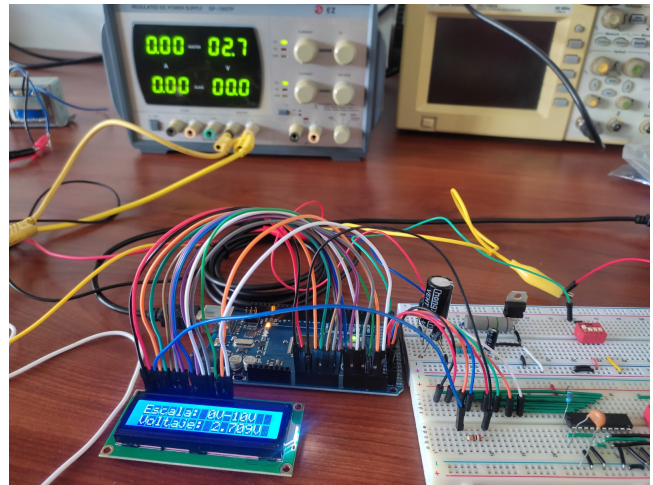


Figura 10. Resultado de medición de señal CD en escala de 0-10 V.

Ahora, en la figura 11 se presenta el resultado de la medición de una tensión de 12.7 V en la escala de 0V a 100V.

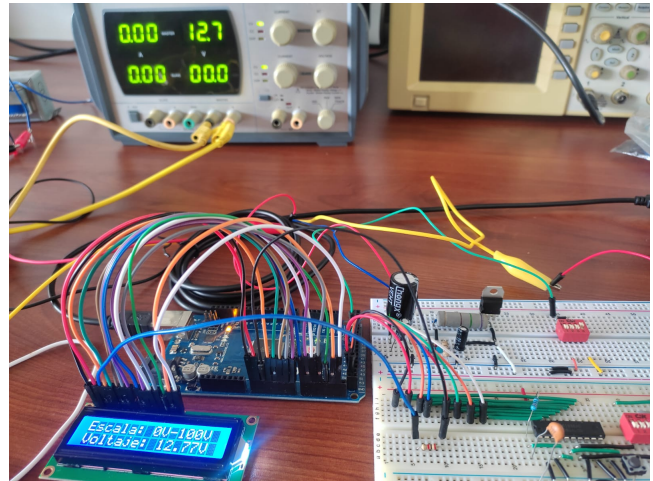


Figura 11. Resultado de medición de señal CD en escala de 0-100 V.

Es posible determinar el funcionamiento de esta escala, ya que el valor de la entrada respecto a la salida que se observa en el despliegue del LCD es muy similar.

III-B. Medición AC

Finalmente, se presenta el resultado para los datos en corriente alterna.

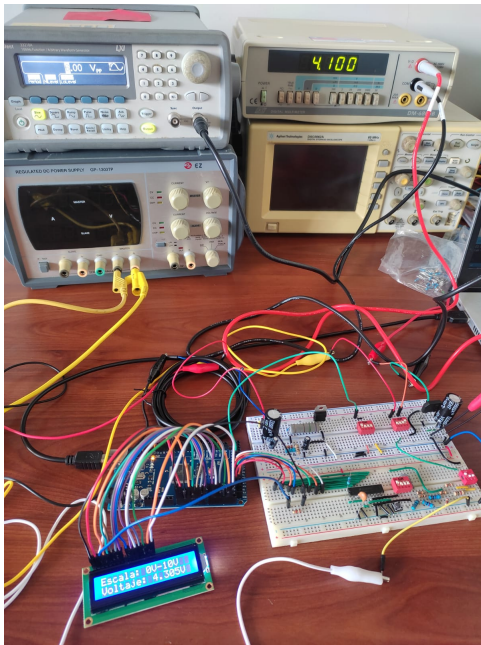


Figura 12. Resultado de medición de señal CA en escala de 0-10 V.

A partir de la figura 12 es posible analizar el porcentaje de error de dicha medición según la ecuación 4:

$$\text{Porcentaje de Error (\%)} = \left| \frac{4,1 - 4,305}{4,1} \right| \times 100 \quad (7)$$

Finalmente, el porcentaje de error es:

$$\text{Porcentaje de Error (\%)} = 5\% \quad (8)$$

IV. CONCLUSIONES

A partir de la experimentación, nos damos cuenta de que el realizar diagramas detallados e individuales de los circuitos, se facilita la detección de errores como en el caso de una mala conexión en la alimentación negativa de los amplificadores. Este error es importante detectarlo ya que produce que un circuito integrado no se comporte como debería, alterando los resultados de salida.

Al llevar a cabo el proceso de diseñar y construir el voltímetro digital, fue posible tener la oportunidad de profundizar en el aprendizaje de la teoría vista en clase sobre los conceptos de señales y sistemas, convertidores ADC, rectificación y acondicionamiento de señales y demás circuitos electrónicos.

Además, al trabajar con un dispositivo como lo es el Arduino Mega, se ve la importancia de no solo rectificar señales eléctricas, sino que también es importante implementar divisores de tensión que permitan obtener valores que pueda tolerar el Arduino sin dañarlo, ya que las tensiones con las que se trabaja son muy altas para este.

Una vez se realizaron las pruebas y se llevó a cabo el análisis de los resultados, fue posible validar la teoría respecto a los circuitos convertidores analógico a digital, la manera de conectarlos, interpretarlos y su aplicación práctica en la

ingeniería electrónica. De esta manera se comprobó el correcto funcionamiento general del sistema según los requerimientos establecidos.

REFERENCIAS

- [1] A. Raj. (2018) What is adc - analog to digital converters. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/tutorial/what-is-adc-analog-to-digital-converters>
- [2] R. Tacsan. Convertidores. [Online]. Available: <https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/IDC/CE1112/S-2-2023.CA.CE1112.1/file-storage/view/public%2FConvertidores.pdf>
- [3] —. Descripción proyecto 2. [Online]. Available: https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/IDC/CE1112/S-2-2023.CA.CE1112.1/file-storage/view/Proyectos%2Fproyecto-2%2FDescripcio%CC%8In_Proyecto_2.pdf
- [4] (1999) Adc0801/adc0802/adc0803/adc0804/adc0805 8-bit compatible a/d converters. [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/8105/NSC/ADC0804.html>
- [5] (2017) Adc0804 ic. [Online]. Available: <https://components101.com/ics/adc0804-pinout-datasheet>