

COMPARACIÓN DE TARJETAS ARDUINO UNO ORIGINALES Y CLONES COMO INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Miguel Angel Bañuelos Saucedo

Universidad Nacional Autónoma de México

miguel.banuelos@ccadet.unam.mx

Resumen

La tarjeta Arduino UNO es una opción económica de uso muy difundido entre aficionados y expertos en electrónica. Una de sus principales aplicaciones es la de realizar mediciones de variables físicas, utilizando la gran cantidad de sensores analógicos disponibles para esta plataforma. En el mercado se consiguen versiones originales, y clones de la tarjeta Arduino. Este trabajo compara ambos tipos, primero evaluando los niveles de ruido presentes al utilizar como fuente de alimentación el puerto USB de una computadora portátil. Posteriormente, se compara la estabilidad de la salida del convertidor-analógico digital ante una entrada constante, utilizando la referencia de voltaje propia de la tarjeta y una referencia externa de 4.096 V. Finalmente se analiza la operación del convertidor, con su referencia de voltaje, cuando se alimenta la tarjeta con una pila de respaldo de celular, y una batería alcalina de 9 V. Los resultados muestran que no existen diferencias fuera de las especificaciones, entre mediciones realizadas con tarjetas originales y clones.

Palabras Claves: Arduino UNO, conversión analógica-digital, instrumentación electrónica.

1. Introducción

En el mercado hay una gran variedad de tarjetas de desarrollo basadas en microcontrolador, dentro de ese conjunto, las tarjetas Arduino han crecido en popularidad debido a que el hardware es de diseño abierto, y cuentan con

herramientas de programación de uso libre compatible con los sistemas operativos Windows, Linux y Mac OS X. Existen diferentes modelos de tarjeta Arduino, los cuales están basados en diferentes procesadores, y por lo tanto, cuentan con diferentes capacidades de cómputo y de dispositivos periféricos; sin embargo, todos ellos son programables con el mismo lenguaje y ambiente de desarrollo. Una de las tarjetas más populares es la Arduino UNO, debido a su bajo costo. Las tarjetas Arduino cuentan con un arreglo de conectores que se han convertido en un estándar en la industria. Varias compañías han desarrollado módulos de expansión compatibles con estos conectores, y la popularidad de la familia ha hecho que tarjetas de desarrollo de otras arquitecturas también cuenten con módulos compatibles con Arduino. El éxito comercial de la arquitectura Arduino ha hecho que varios fabricantes hayan desarrollado copias compatibles (clones), que se comercializan a precios inferiores al modelo original. Existen varias tarjetas clones, de procedencia mayormente china, donde el fabricante no está especificado, y diversos modelos que utilizan sus propios nombres comerciales, pero que son funcionalmente compatibles con la tarjeta Arduino UNO, tales como: Diavolino, Freeduino, Nanode, Freakduino-Chibi, Illuminato, Boarduino, Geekcreit UNO, Sparkfun RedBoard, RobotDyn UNO, etc [Addicore, 2017], [Geekcriet, 2017], [Torrone, 2012].

Una de las consecuencias más importantes de la popularidad de la plataforma Arduino es que la comunidad de desarrolladores ha elaborado docenas de bibliotecas, que facilitan la utilización de una gran variedad de sensores. Es por ello que resulta atractivo utilizar una tarjeta Arduino para desarrollar un sistema de medición, y el presente trabajo se centra en la evaluación de la tarjeta Arduino UNO original y una versión clon, como un sistema de medición de una señal analógica.

La tarjeta Arduino UNO está basada en un microcontrolador de 8-bits ATmega328 de Atmel, el cual cuenta con 32 kB de memoria Flash, 2 kB de memoria SRAM, 1 kB de memoria EEPROM, 14 líneas de entrada/salida, y opera con un reloj de 16 MHz [Arduino, 2017a]. También cuenta con un convertidor analógico-digital de 10 bits con 6 canales de entrada. Este convertidor es la base del proceso de medición

de todos los sensores que producen una señal analógica. La conversión a 10 bits significa que se cuenta con 1024 niveles de cuantización, lo que podemos aproximar a una medición de una parte en mil. Esta resolución puede ser útil para muchos sistemas, por ejemplo, para la medición de temperatura y humedad ambiente.

2. Métodos

Dada la existencia en el mercado de versiones originales y clones de la tarjeta Arduino UNO (figura 1), se decidió evaluar el desempeño de ambas, en diferentes condiciones de operación y utilizando diferentes suministros de energía. Para la comparación se utilizan dos tarjetas Arduino originales y dos clones.

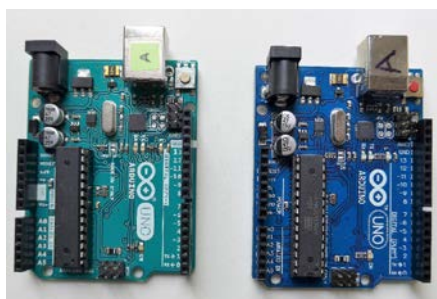


Figura 1 Tarjeta Arduino UNO original (a la izquierda) y clon (a la derecha).

La tarjeta Arduino UNO se basa en el microcontrolador Atmel ATmega328P. Su convertidor analógico digital (CAD) cuenta con una terminal independiente para suministro de voltaje de alimentación (AV_{CC}). Por omisión, el voltaje de referencia para el CAD se toma de la terminal AV_{CC} , y en el caso de la tarjeta Arduino UNO, dicha terminal está conectada directamente a la alimentación de +5 V [Arduino, 2017b]. La tarjeta puede obtener los 5 V de alimentación a través de la conexión USB, o mediante un conector para eliminador de baterías, que acepta voltajes de 7 a 12 VCD y que utiliza un regulador de voltaje lineal para producir +5 V. Por lo anterior, existe una clara dependencia entre el voltaje de alimentación de la tarjeta y la operación del CAD, ya que dicho voltaje puede contener un nivel de ruido suficiente para afectar el proceso de cuantización.

Para evaluar la influencia del voltaje de suministro en la operación del CAD, se midió el nivel de ruido presente en las conexiones de alimentación de las tarjetas Arduino UNO, tanto originales como clones, cuando éstas eran alimentadas mediante una conexión USB a un puerto de una computadora portátil (Lenovo ideapad 510S). Este tipo de computadoras utiliza una fuente conmutada para la generación del voltaje de 5 V, por lo que no es una fuente de bajo nivel de ruido. Para las mediciones se empleó un multímetro de banco GW Instek modelo GDM-8351, que en su escala de 10 V cuenta con una resolución de 100 μV , una exactitud de 0.012 % +5 dígitos y una impedancia de entrada de 11.1 M Ω . Para esta prueba se cargó en el Arduino un programa vacío, lo que evita cambios en el consumo de corriente del microcontrolador. La medición se realizó utilizando cable coaxial para reducir el acoplamiento de ruido y en un área libre de tráfico de personas, para evitar que la electricidad estática de personas moviéndose en las proximidades de las tarjetas pudiera afectar los registros.

Posteriormente, para evaluar el desempeño del convertidor analógico-digital de la tarjeta, se suministró una señal de corriente directa constante al canal A0. Esta señal fue generada mediante un divisor de voltaje resistivo, a partir del voltaje de alimentación de la tarjeta Arduino, figura 2.

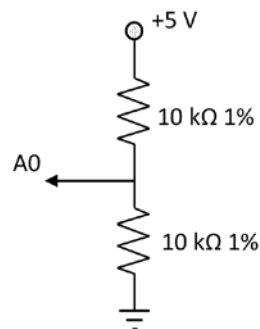


Figura 2 Divisor resistivo.

Se considera que el divisor resistivo presenta un caso general, ya que el voltaje que produce queda sujeto a las variaciones de la fuente de alimentación, lo cual suele ocurrir con algunos sensores analógicos, por ejemplo, termistores, fotoresistencias, etc. En el divisor se utilizan resistencias de 10 k Ω , de película

metalizada y 1% de tolerancia. Este tipo de resistencias tienen una menor deriva térmica, con relación a las resistencias de carbón. Las mediciones se realizaron en un ambiente estable térmicamente, donde la temperatura no cambió más de 0.5 °C. Las resistencias utilizadas tienen una deriva térmica de 100 ppm/°C; sin embargo, su cercanía física permite considerar que se encuentran a la misma temperatura, por lo que las variaciones de voltaje en la terminal A0 debidas a los cambios de temperatura mencionados se vuelven indetectables en la escala a la que fueron realizadas las mediciones. Se selecciona el valor de 10 kΩ, para no producir un exceso de carga de corriente sobre la fuente y no contribuir mediante efecto Joule a su calentamiento.

Se evaluaron dos casos donde la tarjeta se alimenta mediante conexión USB a la computadora portátil, primero utilizando la referencia de voltaje de la tarjeta (5 V), y luego una referencia externa de 4.096 V (el circuito integrado MCP1541). También se consideró el caso en el que el divisor resistivo se encontraba 15 cm alejado de la tarjeta, pero utilizando la referencia de la tarjeta (5 V). Finalmente, se comparan los resultados que entrega el CAD al utilizar la referencia de la tarjeta, pero usando como alimentación la pila de respaldo de teléfono celular y la batería de 9 V. La pila de respaldo para teléfono celular es una opción útil en los casos en que se quiere realizar alguna medición sin depender de la conexión a una computadora. Por otro lado, una batería de 9 V constituye una fuente de voltaje de bajo nivel de ruido. El análisis consistió en adquirir conjuntos de 500 o 1000 datos, y mostrar el histograma resultante. Como el voltaje que se aplica es constante, se espera que el resultado que entrega el CAD también lo sea. Mientras mayor sea el número de datos que se desvían de la moda estadística, menor será la confiabilidad de la medición.

3. Resultados

La primera prueba consistió en medir el voltaje de operación de la tarjeta Arduino mientras era alimentada por la computadora portátil (Lenovo ideapad 510S). Se tomaron 1000 registros para cuatro tarjetas distintas, dos tarjetas originales y dos tarjetas clones. Los registros se realizaron mediante un multímetro

GW Instek, modelo GDM-8351 (figura 3). La toma de datos se automatizó utilizando el software proporcionado por el fabricante. Los resultados se muestran en la tabla 1.

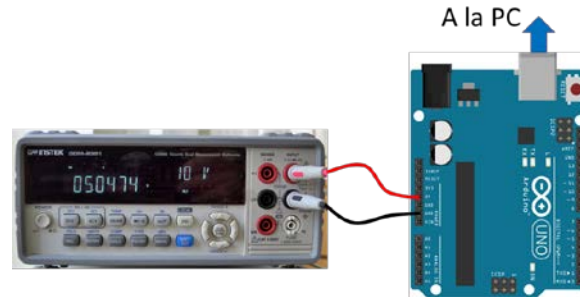


Figura 3 Evaluación del voltaje de alimentación proporcionado mediante la conexión USB con una computadora portátil.

Tabla 1 Parámetros de operación de la fuente de una tarjeta Arduino UNO.

Parámetro	Tarjeta Arduino UNO			
	Original A	Original B	Clon A	Clon B
Media	5.048196	5.0403232	5.0441606	5.0406187
σ	0.000181	0.0001726	0.0001118	0.0003898
máx	5.0494	5.0409	5.0445	5.0436
mín	5.048	5.0401	5.0439	5.0395
SNR _{dB}	88.92	89.31	93.08	82.23

El multímetro entrega datos con 4 decimales, por lo que los valores promedio observados en la tabla no deben considerarse con una precisión mayor; sin embargo, se anotan con 7 decimales, pues es el valor que se utilizó para el resto de los cálculos. Para las cuatro tarjetas el voltaje de alimentación es el mismo, pero se observan pequeñas variaciones entre cada una de las tarjetas. Esto se explica porque las mediciones se realizan mientras la tarjeta está operando, por lo tanto, la influencia de la calidad de los componentes y su montaje afecta el voltaje de la fuente. En todos los casos, la variación entre los valores mínimos y máximo del voltaje de alimentación es menor a 1 mV. Dado que la resolución del convertidor analógico-digital es de 5 mV, estas variaciones son inferiores al error de cuantización del convertidor de 10 bits. Adicionalmente se determina la relación

señal-a-ruido (SNR, *signal-to-noise ratio*) como parámetro de comparación. En este caso, las tarjetas originales presentan un valor muy similar y cercano a los 89 dB, mientras que las versiones clones tienen una mayor variabilidad, que oscila de 82 a 93 dB. La SNR fue calculada utilizando ecuación 1.

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{\mu}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}} \quad (1)$$

Donde μ es la media del conjunto de datos y N es el número de datos.

Se ha establecido que las variaciones en el voltaje de la fuente de alimentación (proveniente de una conexión USB a una computadora personal) son menores a la resolución del CAD. Ahora se realizará una serie de pruebas aplicando un voltaje constante a la entrada del CAD y registrando la variabilidad del resultado de la conversión. Para ello se utiliza el circuito divisor de voltaje de la figura 2, conectado al canal A0. Se obtuvieron 1000 lecturas del CAD de cada una de las tarjetas y los histogramas resultantes se muestran en la figura 4. A todas las tarjetas se les conectó el mismo divisor de voltaje, mediante una tarjeta de expansión (*shield*) que se muestra en la figura 5. Esta tarjeta fue elaborada por el autor, a partir de una tarjeta comercial PCB de prototipaje (Prototype shield V.5). Se realizó un programa que toma mil muestras y las envía por el puerto serial, donde pueden registrarse mediante un programa de terminal serial. Todas las tarjetas, salvo la original B, proporcionan una conversión perfecta, es decir, entregan todas las veces el mismo dato. Estos resultados están dentro de las especificaciones que da el fabricante para el error en el convertidor analógico-digital, que es de ± 2 cuentas.

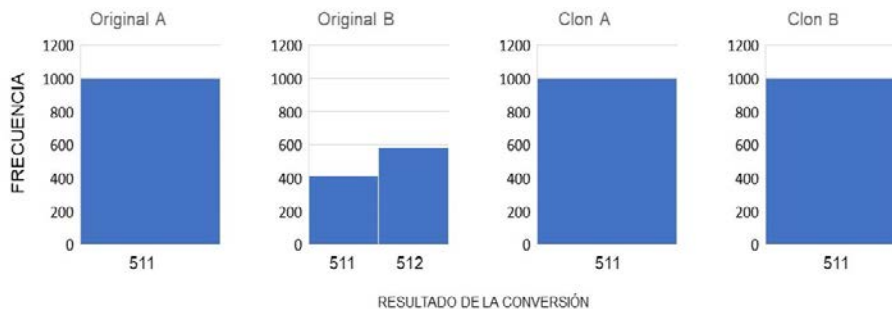


Figura 4 Valores que produce el convertidor A/D, cuando la tarjeta Arduino se alimenta mediante una conexión USB con una computadora portátil.

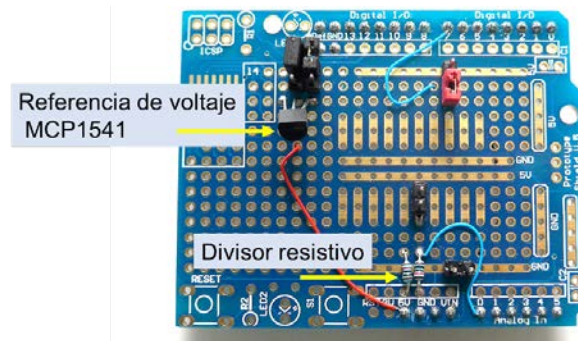


Figura 5 Tarjeta de expansión para evaluar conversión analógico-digital, tarjetas Arduino.

En muchas situaciones se recomienda conectar una referencia de voltaje externa, que puede presentar una mayor exactitud inicial, un menor corrimiento térmico y menor dependencia del voltaje de suministro. Se procedió a conectar una referencia de voltaje externa MCP1541 de 4.096 V [Microchip, 2012], y los resultados se presentan en la figura 6. Contrario a lo que se podría esperar, la precisión del resultado de conversión a disminuido. Esto se puede atribuir a la ubicación de la referencia de voltaje. Las tarjetas Arduino tienen conexiones para la utilización de una referencia externa, pero está unos 4 cm alejada de los pines correspondientes del microcontrolador, lo cual posibilita el acoplamiento de ruido [Arduino, 2017b]. Por otro lado, el divisor resistivo que está montado en la tarjeta de expansión se ubica en la posición más próxima posible a las líneas de alimentación y al convertidor A/D. Estos resultados sugieren que no es adecuado conectar una referencia de voltaje externa a la tarjeta Arduino UNO.

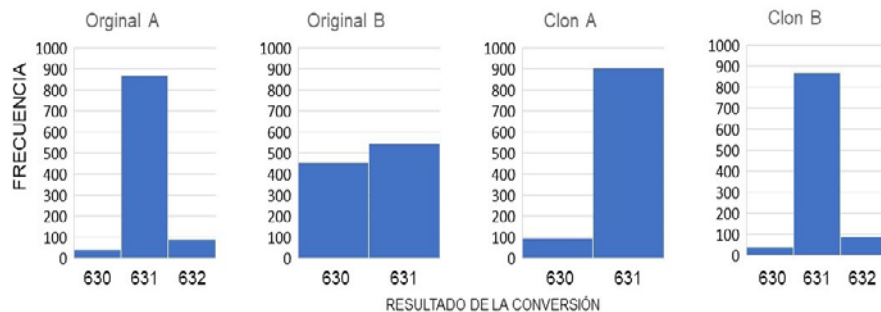


Figura 6 Comparación de los valores que produce el convertidor A/D cuando se utiliza una referencia de voltaje externa de 4.094 V y alimentación mediante conexión USB a una computadora portátil.

Como comparación, se conectó un divisor resistivo idéntico, en una tarjeta protoboard externa, y se conectó a la tarjeta Arduino mediante cables de 15 cm de longitud. En este caso, el acoplamiento de ruido produce una reducción en la precisión de la conversión según se muestran en la figura 7.

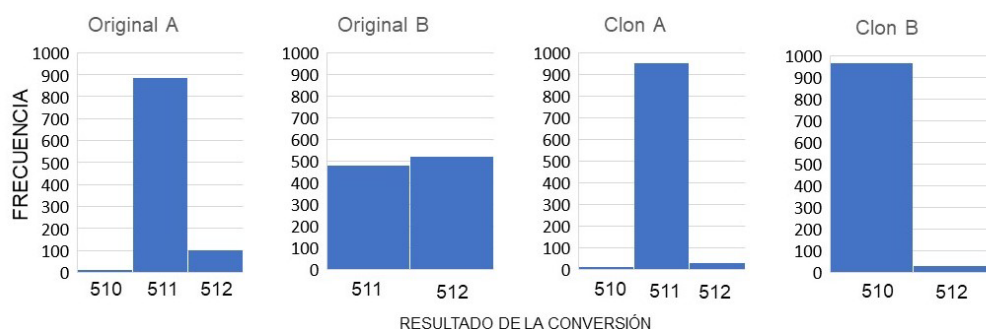


Figura 7 Comparación de los valores que produce el convertidor A/D cuando se utiliza una referencia de voltaje interna y un divisor resistivo a 15 cm de la tarjeta Arduino. Alimentación mediante conexión USB a una computadora portátil.

En algunas ocasiones se desea operar la tarjeta Arduino sin estar conectada a una computadora. Una opción es utilizar como fuente de energía una pila de respaldo de un teléfono celular. Si la pila de respaldo se conecta al puerto USB de la tarjeta Arduino, entonces no podrán enviarse los datos utilizando este puerto. Para evitar este inconveniente se desarrolló un programa que graba los datos en la memoria EEPROM del microcontrolador. La tarjeta Arduino UNO solo tiene 1 kB de memoria EEPROM, por lo que únicamente se pueden registrar 500 datos de 10 bits cada uno. Una vez grabados, otra sección del programa permite su envío por el puerto serial para su registro en un archivo de datos. Los resultados de la utilización de la pila de respaldo se muestran en la figura 8. Se observa que la precisión ha disminuido, lo cual se debe a que la pila de celular entrega un nivel de voltaje con mayor ruido. La pila de respaldo está constituida por batería de litio de 3.7 V y una fuente conmutada para producir los 5 V, figura 9.

Para evitar el ruido de la pila de respaldo, ésta se reemplazó por una pila alcalina de 9 V, la cual se conecta al regulador de voltaje lineal de la tarjeta Arduino. Al no tener una fuente conmutada, el ruido disminuye considerablemente y los resultados se presentan en la figura 10. Se observa un valor de conversión

constante para las tarjetas original A y las dos clones. Por otro lado, la tarjeta original B parece haber mejorado su desempeño con respecto al que presentó al ser alimentada mediante la conexión USB con una computadora (figura 4), dado que presenta una menor frecuencia de lecturas fuera del valor esperado de 511. Se podría decir que las tarjetas clones funcionan mejor que las originales, pero el número de tarjetas probadas no es suficiente para generalizar los resultados.

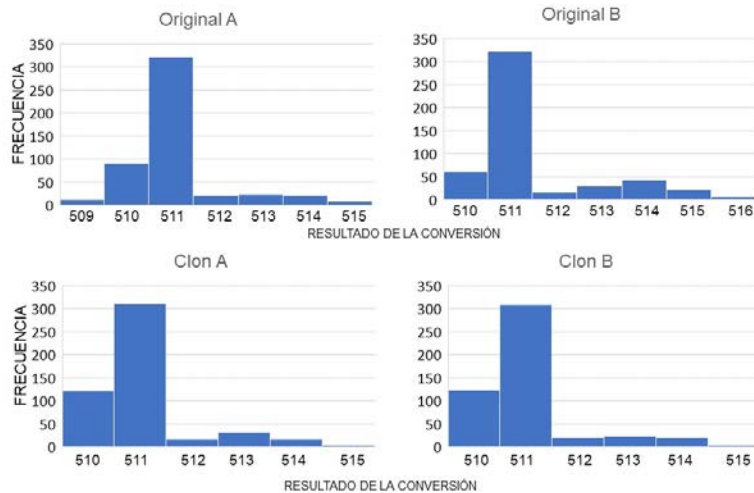


Figura 8 Comparación de los valores que produce el convertidor A/D cuando se utiliza una referencia de voltaje interna y se alimenta la tarjeta mediante una pila de respaldo de celular.



Figura 9 Interior de una pila de respaldo de teléfono celular.

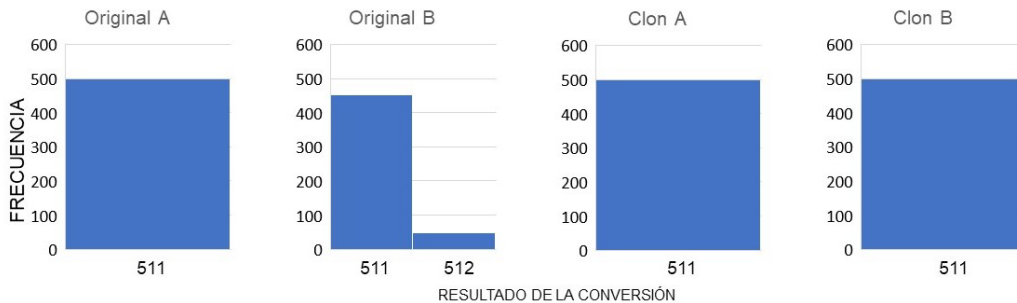


Figura 10 Comparación de los valores que produce el convertidor A/D cuando se utiliza una referencia de voltaje interna y se alimenta mediante una pila de 9 V.

4. Discusión

La tarjeta Arduino se ha convertido en una herramienta muy útil tanto para aficionados como para expertos en electrónica. La gran variedad de dispositivos, módulos y bibliotecas disponibles han contribuido a su popularidad. Resulta entonces muy sencillo crear un instrumento de medición basado en dicha tarjeta. Cuando se conecta un sensor analógico, el desempeño está limitado por las características del convertidor digital-analógico interno del microcontrolador, pero también se ve influenciado por factores externos.

Se han evaluado tarjetas originales y versión clon sin encontrar diferencias significativas. En la muestra que se tomó, realizando pruebas de medición de un divisor de voltaje conectado de forma próxima a la entrada del convertidor analógico-digital, las tarjetas originales y clones tuvieron un desempeño dentro de las especificaciones. Se encontró que la calidad de la medición disminuye si se aleja el sensor, puesto que los cables de conexión actúan como antenas donde se puede acoplar el ruido. Lo mismo ocurre si la tarjeta se alimenta mediante una pila de respaldo de teléfono celular, si esta contiene un convertidor de voltaje CD-CD. El uso de una referencia de voltaje externa no presentó una ventaja en la medición, debido a que su posición no es óptima dentro del conjunto de conectores de la tarjeta.

Finalmente, el mejor desempeño se obtiene cuando se siguen las recomendaciones generales de un sistema de instrumentación, es decir, mantener las conexiones cortas, utilizar una fuente de voltaje con poco ruido, etc.

5. Conclusiones

La tarjeta Arduino UNO es un dispositivo económico que se puede utilizar para desarrollar un sistema de medición de manera sencilla. En el mercado existen versiones clones de la tarjeta que pueden costar entre 30% y 50% del costo de la tarjeta original que fue desarrollada en Italia. Para analizar las tarjetas originales y clones se realizaron conjuntos de 500 o 1000 muestras, del voltaje en un divisor resistivo, mientras las tarjetas eran alimentadas con una conexión USB a una computadora portátil, una pila de respaldo de teléfono celular o una pila de 9 V.

También se hicieron algunas pruebas utilizando un circuito integrado como referencia de voltaje externa de 4.096 V. Las pruebas no mostraron ninguna diferencia de precisión entre ambas versiones, que cayera fuera de las especificaciones del convertidor analógico-digital.

Muchos aficionados a la electrónica hacen uso de estas tarjetas; sin embargo, para aprovechar al máximo sus capacidades, es necesario subrayar la importancia de seguir algunas recomendaciones básicas de la instrumentación electrónica: se deben mantener conexiones cortas o blindadas y una fuente de alimentación estable. Se encontró que el uso de una referencia de voltaje externa, también recomendado usualmente, parece no representar una mejora en el desempeño de estas tarjetas.

Los errores en el resultado de la conversión analógica-digital fueron el principal objetivo de este trabajo; sin embargo, otras características que se pueden evaluar en el futuro son el cruce de señales (*crosstalking*) y la velocidad máxima de muestreo.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Addicore, UNO R3 ATmega328P (RobotDyn UNO), agosto 2017: <https://www.addicore.com/Black-UNO-R3-p/ad308.htm>.
- [2] Arduino, Arduino UNO & Genuino UNO, 2017: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, junio 2017.
- [3] Arduino, Arduino UNO Reference Design: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-uno-schematic.pdf>, junio 2017.
- [4] Geekcriet, Geekcreit® UNO: <http://www.geekcreit.com>, agosto 2017.
- [5] Microchip, MCP1525/41 2.5V and 4.096 Voltage References, 2017, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21653C.pdf>, junio 2017.
- [6] Sparkfun, SparkFun ReadBoard, 2017: <https://www.sparkfun.com/products/13975>. agosto 2017.
- [7] Torrone, P., Top 10 Arduino-compatibles: <http://makezine.com/2012/04/24/soapbox-my-top-10-favorite-arduino-compatible-clones-and-derivatives/>.