

Diseño e implementación de un generador de funciones usando IoT

Design and Implementation of a Function Generator Using IoT

JHOAN DAVID BARÓN ACHURY¹  | OSCAR MAURICIO NEVADO²  | CESAR AUGUSTO ROMERO MOLANO^{3*} 

Afiliación:

^{1,2,3} Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia

Información del artículo:

Recibido: 26/01/2026
Aceptado: 21/04/2026
Publicado: 05/05/2026

Autor de correspondencia: E-mail: *cesar.romero@unillanos.edu.co

Resumen

La enseñanza de la electrónica requiere herramientas didácticas que integren tecnologías emergentes y favorezcan la experimentación práctica en entornos educativos. En este contexto, el estudio tuvo como objetivo diseñar e implementar un generador de funciones controlado mediante tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), incorporando principios de computación ubicua para el desarrollo de un sistema accesible, flexible y automatizado. Para ello, se desarrolló una arquitectura distribuida compuesta por una aplicación web desplegada en la nube, una base de datos con comunicación en tiempo real mediante WebSocket, un módulo IoT basado en ESP8266 y un módulo generador implementado en un microcontrolador RP2040, empleando un DAC R-2R para la generación de señales. Los resultados evidencian que el sistema permite la generación de señales sinusoidales, cuadradas y diente de sierra en un rango de 10 Hz a 100 kHz, con errores de frecuencia inferiores al 0,12 % y una latencia promedio de control de 320 ms. Asimismo, el prototipo facilita la interacción remota y el monitoreo en tiempo real de los dispositivos. Se concluye que la integración de IoT en el generador de funciones fortalece el aprendizaje en electrónica al mejorar la accesibilidad, el control y las competencias prácticas.

Palabras clave: educación; generador de señales; internet de las cosas.

Abstract

Electronics education requires didactic tools that integrate emerging technologies and promote hands-on experimentation in educational environments. In this context, the aim of this study was to design and implement a function generator controlled through Internet of Things (IoT) technologies, incorporating principles of ubiquitous computing to develop an accessible, flexible, and automated system. To this end, a distributed architecture was developed, consisting of a cloud-deployed web application, a database with real-time communication via WebSocket, an IoT module based on ESP8266, and a signal generator module implemented on an RP2040 microcontroller using an R-2R DAC for signal generation. The results show that the system enables the generation of sine, square, and sawtooth waveforms within a frequency range of 10 Hz to 100 kHz, with frequency errors below 0.12 % and an average control latency of 320 ms. Additionally, the prototype supports remote interaction and real-time monitoring of the devices. It is concluded that the integration of IoT into the function generator enhances electronics learning by improving accessibility, system control, and practical skills.

Keywords: education; signal generator; internet of things.



1. Introducción

En la era digital actual, la interconexión de dispositivos y la integración del Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*) han revolucionado la manera en la cual los usuarios se involucran con la tecnología y la forma en que los dispositivos se comunican entre sí (Barrio Andrés, 2022). Este avance ha dado lugar a un amplio campo de aplicaciones innovadoras y, en particular, ha transformado el diseño y uso de los generadores de funciones en la ingeniería electrónica y disciplinas afines. Los generadores de funciones digitales constituyen herramientas esenciales en las prácticas de laboratorio y en el ámbito de la investigación, ya que facilitan el entendimiento de diversas teorías asociadas al análisis de señales eléctricas. En este sentido, han evolucionado significativamente para aprovechar las ventajas de la conectividad IoT, incorporando capacidades de control remoto, monitoreo y automatización (Li, 2020).

Desde una perspectiva histórica, el generador de funciones como dispositivo electrónico de laboratorio fue implementado en 1928 por la empresa General Radio (Massachusetts, Estados Unidos), siendo comercializado con rangos de frecuencia desde 500 Hz hasta 1,5 MHz y caracterizándose por su bajo costo para aplicaciones de investigación y estudio de la modulación de señales, lo que permitió su adopción como uno de los primeros generadores analógicos (Burke, 1930).

A partir de este desarrollo inicial, se diseñaron distintos tipos de generadores orientados principalmente a la prueba de equipos de radio y televisión. No obstante, estos dispositivos presentaban limitaciones importantes, como una baja capacidad para generar señales de alta frecuencia, elevada susceptibilidad a interferencias electromagnéticas y una limitada estabilidad operativa (Wheeler, 1930; Ott, 2009). Además, sus primeras versiones estaban compuestas exclusivamente por elementos analógicos, tales como amplificadores, osciladores y filtros, lo que implicaba una menor precisión en las señales generadas y dificultades en su visualización e interpretación.

El proceso evolutivo de estos dispositivos condujo a la incorporación progresiva de tecnologías digitales, dando lugar a los generadores de funciones digitales. Estos sistemas, mediante la conversión digital-analógica (DAC, *Digital to Analog Converter*) de datos binarios almacenados en memoria, permiten muestrear y reproducir señales con mayor exactitud (National Instruments, 2025). Asimismo, presentan una mayor estabilidad en comparación con los generadores analógicos tradicionales, ya que reducen la influencia de fluctuaciones en la fuente de alimentación y de factores ambientales.

En este contexto, se han desarrollado diversas propuestas basadas en tecnologías digitales avanzadas. Xu et al. (2011) diseñaron un generador de señales basado en FPGA FLEX 10K, capaz de generar señales periódicas mediante la combinación de hasta seis señales senoidales con control sobre amplitud, frecuencia y fase. Este enfoque permite obtener una señal periódica cuya frecuencia fundamental corresponde al mínimo común múltiplo de las señales combinadas, constituyéndose en una herramienta útil para el análisis de filtros y armónicos en señales sinusoidales distorsionadas. De manera complementaria, Prasad y Sanyal (2007) propusieron un generador basado en síntesis digital directa, estructurado en etapas de adquisición de datos, cálculo de parámetros y almacenamiento en memoria para su posterior conversión a señal analógica.

La exploración de señales y su descomposición en componentes armónicas, así como la mejora de señales distorsionadas, constituyen temas recurrentes en el ámbito educativo, particularmente en la formación en electrónica (Oppenheim y Schaffer, 2016). En este sentido, los generadores de funciones digitales se convierten en herramientas didácticas fundamentales, al permitir la implementación de filtros y el análisis de la componente fundamental de señales deformadas.

Adicionalmente, se han reportado desarrollos orientados al control remoto de generadores de funciones. Molina-Ríos et al. (2018) implementaron una aplicación basada en MATLAB para el envío de señales a través de una red de área local (LAN) hacia un generador



comercial AFG3102, incorporando una interfaz gráfica que facilitaba la selección de parámetros como frecuencia, amplitud y fase. Por otra parte, Batavale y Daruwala (2019) propusieron un generador de funciones de bajo costo basado en Arduino, diseñado para superar limitaciones económicas en entornos educativos. Sin embargo, este sistema presentó restricciones en su frecuencia máxima de operación, limitada a 10 kHz debido a las características del DAC empleado (Raspberry Pi Ltd., 2024).

Además, otros estudios han explorado la integración de generadores de funciones digitales con tecnologías como IoT, FPGA y microcontroladores en contextos educativos y de investigación (Vince, 2020; Li et al., 2019; Tan et al., 2018). Estos antecedentes evidencian un avance significativo en el desarrollo de estos dispositivos, aunque aún persisten limitaciones relacionadas con la accesibilidad, el control remoto en tiempo real y la integración con plataformas en la nube. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo diseñar e implementar un generador de funciones basado en IoT que permita el control remoto, el monitoreo en tiempo real y la automatización del proceso de generación de señales, contribuyendo al fortalecimiento del aprendizaje práctico en electrónica en entornos educativos y de laboratorio.

2. Metodología

El estudio se desarrolló mediante el diseño, implementación y validación de un sistema distribuido para la generación de señales eléctricas controlado a través de Internet. La arquitectura integra una aplicación web, una infraestructura en la nube, un módulo IoT y un módulo generador de señales, permitiendo la interacción remota en tiempo real entre el usuario y el dispositivo físico.

2.1. Aplicación web

La aplicación web fue diseñada considerando los requerimientos funcionales del sistema y los criterios de interacción entre el usuario y el dispositivo. La interfaz de usuario se implementó

utilizando Angular, desplegada de manera independiente en un entorno de desarrollo en la nube mediante la plataforma Vercel, la cual gestiona tanto la infraestructura del servidor como las redes de entrega de contenido.

Para la gestión de datos se empleó Supabase, una plataforma que proporciona servicios de base de datos relacional, autenticación de usuarios y comunicación en tiempo real. Esta integración permitió administrar el registro y control de usuarios, así como facilitar la comunicación simultánea con múltiples dispositivos para el envío y recepción de información. En la Tabla 1 se presentan los servicios ofrecidos por ambas plataformas, evidenciando su complementariedad dentro de la arquitectura del sistema.

Tabla 1
Servicios ofrecidos por Vercel y Supabase

Características	Vercel	Supabase
Hosting de aplicaciones web	Sí	—
Despliegue continuo	Sí	—
Funciones serverless	Sí	—
Análisis de rendimiento	Sí	—
Base de datos relacional	—	Sí
API RESTful	—	Sí
Websockets en tiempo real	—	Sí
Autenticación y autorización	—	Sí

La arquitectura general del sistema se muestra en la Figura 1a, donde la comunicación entre Vercel y Supabase se realiza mediante la interfaz REST API proporcionada por esta última, permitiendo la interacción con las tablas de la base de datos. Por otro lado, la comunicación entre la base de datos y el generador de señales se implementó mediante WebSockets, con el objetivo de garantizar la transmisión de datos en tiempo real y minimizar la latencia entre el envío de comandos desde la interfaz y su ejecución en el dispositivo. Por su parte, la estructura de la base de datos se presenta en la Figura 1b, donde se identifican las cuatro tablas principales del sistema.

Figura 1
Interfaz y arquitectura del sistema WaveGen-IoT



La tabla *profiles* almacena la información de los usuarios registrados junto con sus roles, los cuales determinan los niveles de acceso: *admin*, con acceso al historial de uso; *user*, con acceso al control del dispositivo; y *device*, asignado a cada módulo generador con acceso a la tabla *wave_data*. La tabla *devices* registra los módulos

integrados al sistema, mientras que *devices_log* almacena el historial de uso. Finalmente, la tabla *wave_data* contiene la configuración de las señales a generar y cuenta con la funcionalidad *realtime*, que permite establecer canales *WebSocket* para la transmisión de datos hacia los dispositivos.



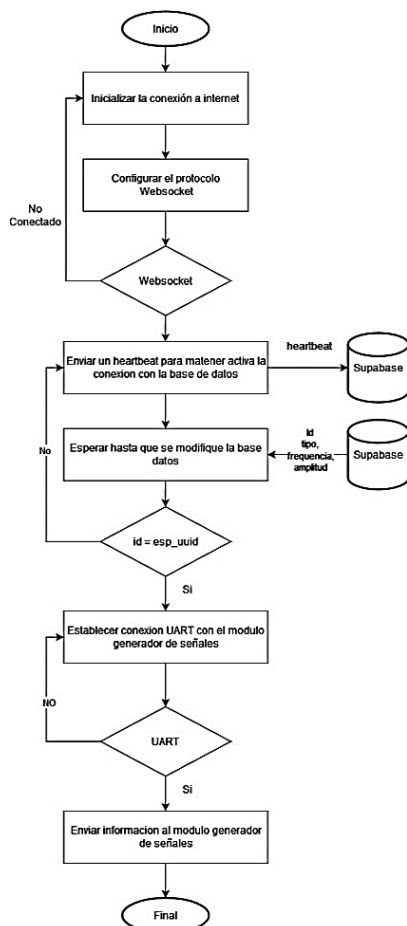
En cuanto a la interfaz, esta fue desarrollada en Angular 17. En la Figura 1c se muestra la página de inicio, desde donde se accede a los módulos de autenticación. En la Figura 1d se presentan los formularios de inicio de sesión y registro. La Figura 1e corresponde a la interfaz de control del dispositivo, donde el usuario puede seleccionar el módulo generador y configurar los parámetros de la señal, tales como tipo de onda, frecuencia y amplitud. Finalmente, en la Figura 1f se muestra la vista de registro de uso, donde se almacenan las interacciones realizadas en el sistema.

2.2. Módulo IoT

Dado que el sistema requiere el control remoto del generador de señales a través de internet, se implementó un mecanismo de comunicación en tiempo real mediante WebSockets, lo que permitió la sincronización inmediata entre la base de datos y múltiples dispositivos.

Figura 2

Diagrama de flujo del módulo IoT

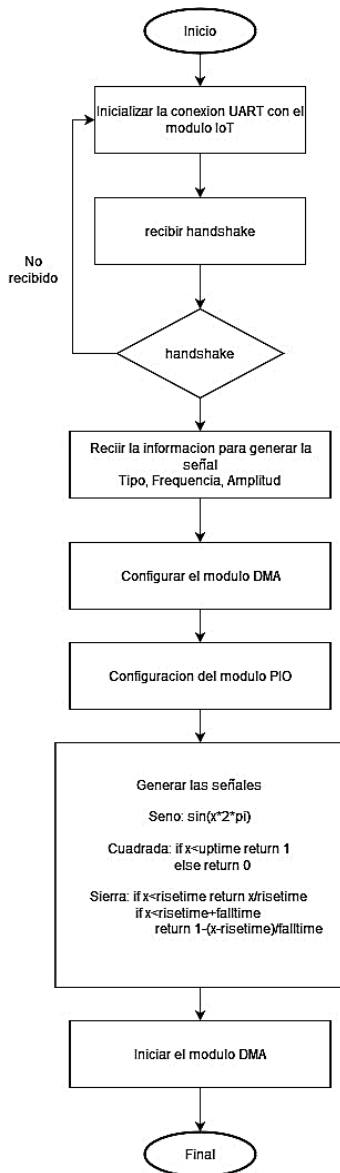


Este enfoque es consistente con arquitecturas modernas de comunicación en sistemas distribuidos, donde la baja latencia es un requisito clave para el control remoto. Para esto, se utilizó el microcontrolador ESP8266, el cual cuenta con conectividad WiFi integrada. La Figura 2 describe el funcionamiento del módulo IoT. Inicialmente, el dispositivo intenta conectarse a una red WiFi y, una vez establecida la conexión, configura un canal WebSocket con la base de datos. Posteriormente, se envían señales de tipo heartbeat para mantener activa la conexión. Cuando se produce una modificación en la base de datos, esta transmite la información a todos los módulos conectados. Cada módulo IoT cuenta con un identificador único que permite diferenciarlo dentro del sistema. Cuando el identificador del mensaje recibido coincide con el del dispositivo, se establece la comunicación con el módulo generador de señales mediante el protocolo UART. A través de este canal serial se envían los parámetros definidos por el usuario en la aplicación web, incluyendo el tipo de señal, la frecuencia y la amplitud.

2.3. Módulo generador de señales

El módulo generador de señales fue implementado utilizando una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi Pico, basada en el microcontrolador RP2040. Su funcionamiento se ilustra en la Figura 3. En primer lugar, se configura la comunicación con el módulo IoT mediante el protocolo UART. Una vez establecida la conexión serial, se reciben los datos necesarios para la generación de la señal, correspondientes al tipo de onda, la frecuencia y la amplitud. El núcleo del procesamiento se basa en el uso del módulo DMA (Direct Memory Access), el cual permite transferir bloques de memoria entre periféricos sin intervención de la CPU, optimizando el rendimiento del sistema. Este enfoque es ampliamente utilizado en sistemas de procesamiento de señales digitales debido a su eficiencia en la manipulación de grandes volúmenes de datos (Oppenheim & Schaffer, 2016). El DMA se configura para transferir el contenido de un arreglo que contiene la señal generada hacia el módulo PIO (Programmable Input/Output), encargado de modificar el estado de los pines de salida del microcontrolador.

Figura 3
Diagrama de flujo del generador de señales



Debido a que el DMA debe operar de manera continua y sin interrupciones, se implementa una configuración de doble canal utilizando la técnica de *chaining*, donde un canal reconfigura automáticamente al otro una vez finalizada la transferencia. El microcontrolador RP2040 dispone de dos módulos PIO, cada uno con cuatro máquinas de estado, las cuales permiten implementar lógica programable para el control preciso de señales digitales (National Instruments, 2025). En este diseño se utilizó una de estas máquinas de estado para transferir, en cada ciclo de reloj, los 8 bits almacenados en su buffer hacia los pines de salida del microcontrolador, proceso que se repite de

manera continua para garantizar la reconstrucción estable de la señal digital.

Para la generación de las señales, se construye un arreglo (*buffer*) que almacena los valores necesarios para recrear la forma de onda, calculados a partir de los parámetros recibidos desde el módulo IoT. Este procedimiento es consistente con técnicas clásicas de síntesis digital de señales, donde las formas de onda se discretizan y almacenan para su posterior reproducción (Oppenheim & Schaffer, 2016). El sistema fue diseñado para generar señales sinusoidales, cuadradas y diente de sierra. La amplitud máxima se estableció en 3,3 V, correspondiente al nivel lógico del microcontrolador, mientras que el rango de frecuencia se definió entre 10 Hz y 100 kHz, determinado a partir de pruebas experimentales y las capacidades operativas del sistema. Para la conversión de la señal digital a analógica, se implementó un convertidor DAC basado en una red resistiva R-2R, conformada por resistencias de 2 kΩ y 1 kΩ, técnica ampliamente utilizada en sistemas de bajo costo para la generación de señales analógicas.

2.4. Validación experimental

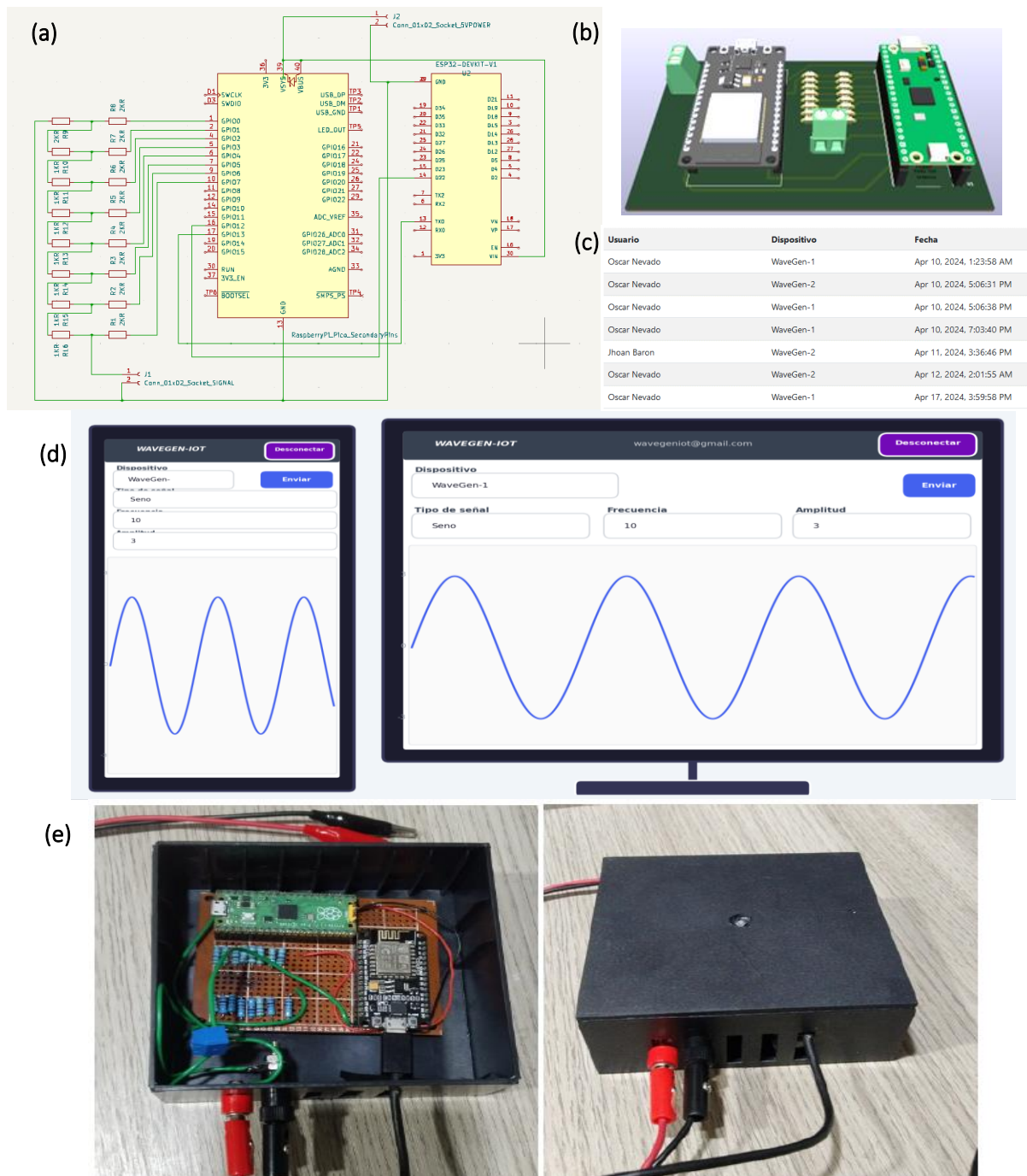
Para evaluar el desempeño del prototipo, se realizaron mediciones experimentales utilizando un osciloscopio digital, con el objetivo de analizar la precisión en frecuencia, amplitud y distorsión de las señales generadas bajo diferentes condiciones de operación. Asimismo, se evaluó el desempeño del sistema de comunicación IoT mediante la medición de la latencia entre el envío de comandos desde la interfaz web y la actualización efectiva de la señal en el dispositivo. Las pruebas se realizaron bajo condiciones controladas de red WiFi (intensidad de señal superior a -60 dBm) y se repitieron en 30 ocasiones para obtener valores promedio y desviación estándar.

3. Resultados

En la Figura 4a se presenta el esquemático del circuito electrónico de los módulos IoT y generador de señales, donde se detallan las conexiones entre los componentes y su integración funcional dentro del sistema.



Figura 4
Interfaz y arquitectura del sistema WaveGen-IoT



Mientras que en la Figura 4b se muestra una representación tridimensional del prototipo desarrollado, incluyendo los terminales de alimentación y salida de señal. Además de facilitar la operación del prototipo mediante una aplicación web intuitiva y accesible desde cualquier dispositivo con conexión a internet, el

sistema permite monitorear y gestionar el uso que los usuarios hacen de los prototipos. Esto contribuye a optimizar los procesos de mantenimiento y la detección de fallos, al posibilitar la supervisión de su estado en tiempo real. En la Figura 4c se muestran los datos registrados durante la operación del sistema,

donde se almacena información asociada al uso de los dispositivos, incluyendo el identificador del usuario y la marca temporal de acceso.

La Figura 4d evidencia la adaptación de la interfaz a dispositivos móviles, demostrando la capacidad responsiva de la aplicación. En la Figura 4e se presenta una fotografía del prototipo implementado. Para su construcción, se optó por emplear una baquelita universal en la que se soldaron todos los componentes, utilizando una placa de dimensiones 9 cm × 7 cm. Adicionalmente, se incorporó un conector entre la alimentación de las placas Raspberry Pi Pico y la ESP8266, con el propósito de facilitar la depuración del código desplegado en cada una de ellas. Con el fin de mejorar la portabilidad y el manejo del prototipo, se diseñó una carcasa externa de 12 cm × 10 cm. Esta fue acondicionada para integrar dos conectores tipo banana, a través de los cuales se obtiene la señal de salida, así como el cable de alimentación necesario para energizar todo el sistema.

En cuanto al desempeño del sistema, se evaluó la precisión en la generación de señales y el comportamiento de la comunicación. La señal sinusoidal configurada a 10 kHz con una amplitud de 3 V presentó una frecuencia medida de 10,012 kHz, lo que corresponde a un error relativo inferior al 0,12%, mientras que la amplitud pico a pico registrada fue de 3,02 V, con un error menor al 0,7 %. A frecuencias inferiores a 1 kHz, el error de amplitud se mantuvo por debajo del 0,5%. No obstante, a frecuencias cercanas al límite superior del sistema (100 kHz), se observó una distorsión armónica total (THD) aproximada del 3,8 %, evidenciando limitaciones en la fidelidad de la señal en condiciones extremas de operación. Por otro lado, en el sistema de comunicación, la latencia promedio medida entre el envío del comando desde la interfaz web y la actualización efectiva de la señal fue de 320 ms, con una desviación estándar de ± 45 ms, estimada a partir de 30 pruebas consecutivas bajo condiciones

4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que el prototipo desarrollado presenta un desempeño adecuado en términos de precisión y estabilidad dentro del rango de operación definido. La baja

desviación en frecuencia (error relativo $< 0,12$ %) y amplitud (error $< 0,7$ %) confirma que la implementación del convertidor digital-analógico basado en red R-2R de 8 bits es suficiente para aplicaciones didácticas y de laboratorio. No obstante, el incremento de la distorsión armónica total (THD) a frecuencias cercanas al límite superior (100 kHz), alcanzando aproximadamente un 3,8 %, pone de manifiesto las limitaciones inherentes a la resolución del DAC y al comportamiento no ideal de la red resistiva, especialmente en la reconstrucción de señales sinusoidales a altas frecuencias. Este comportamiento resulta consistente con lo reportado por Daruwala et al. (2019) en diseños de bajo costo basados en microcontroladores, donde se evidencian restricciones similares en la fidelidad de la señal debido a la cuantización y a la limitada resolución del sistema. Sin embargo, el prototipo propuesto logra extender significativamente el rango de operación hasta 100 kHz, superando el límite de 10 kHz reportado en dicho estudio, lo que representa una mejora relevante en términos de capacidad funcional dentro de soluciones de bajo costo.

En cuanto al desempeño del sistema de comunicación, la latencia observada entre la interacción del usuario y la respuesta del dispositivo se mantiene dentro de un rango aceptable para aplicaciones educativas. Aunque no se trata de un sistema de control en tiempo real estricto, la capacidad de respuesta obtenida permite una interacción fluida y perceptiblemente inmediata desde la perspectiva del usuario. La reducción de latencia frente a esquemas tradicionales de comunicación, como HTTP polling, respalda la elección del protocolo WebSocket como mecanismo eficiente para la transmisión de datos en sistemas IoT distribuidos. No obstante, la dependencia de condiciones estables de conectividad WiFi introduce una limitación operativa que podría afectar el desempeño en entornos con infraestructura de red deficiente. En la Tabla 2 se presenta una comparación entre el prototipo desarrollado y otros generadores de funciones reportados en la literatura, así como con un equipo comercial de referencia, lo que permite contextualizar su desempeño dentro del estado del arte.



Tabla 2

Comparación del prototipo con generadores reportados en la literatura y equipos comerciales

Característica	Este trabajo	Daruwala et al. (2019)	Xu et al. (2011) – FPGA	Tektronix AFG3102 (comercial)
Rango de frecuencia	10 Hz – 100 kHz	1 Hz – 10 kHz	Hasta varios MHz	1 μ Hz – 100 MHz
Amplitud máxima	3,3 Vpp	10 Vpp	Variable	\pm 10 Vpp
Control remoto (IoT)	Sí (WebSocket)	No	No	Parcial (LAN propietaria)
Costo estimado	~\$50.000 COP (~12 USD)	~15 USD	N/D (prototipo académico)	>2.000 USD
Resolución DAC	8 bits	8 bits	Alta (FPGA)	14 bits
Plataforma de control	RP2040 + ESP8266	Arduino	FPGA FLEX 10K	DSP dedicado

El análisis comparativo evidencia que, si bien el sistema propuesto presenta limitaciones en resolución y amplitud frente a equipos comerciales, ofrece ventajas significativas en términos de accesibilidad económica y capacidad de integración con tecnologías de conectividad. A diferencia de los trabajos de Daruwala et al. (2019) y Xu et al. (2011), el presente sistema incorpora de manera nativa un esquema de control remoto a través de internet basado en WebSocket y soportado sobre infraestructura en la nube, lo que amplía considerablemente su aplicabilidad en entornos de laboratorio remoto y educación virtual. Asimismo, la incorporación de funcionalidades como el registro de uso por usuario y dispositivo introduce un valor añadido desde la perspectiva pedagógica, permitiendo el seguimiento de actividades y facilitando procesos de supervisión académica, característica que no suele estar presente ni en prototipos experimentales ni en equipos comerciales convencionales.

No obstante, las limitaciones identificadas deben ser consideradas en función del contexto de aplicación. La resolución de 8 bits del DAC restringe la fidelidad de la señal a frecuencias elevadas, donde los efectos de cuantización y distorsión se vuelven más notorios. Del mismo modo, la amplitud máxima de 3,3 Vpp, determinada por el nivel lógico del microcontrolador RP2040, limita su uso en aplicaciones que requieren señales de mayor potencia. En este sentido, futuras mejoras del sistema podrían orientarse a la incorporación de

un convertidor digital-analógico de mayor resolución (12 o 16 bits), así como al diseño de una etapa de amplificación analógica que permita ampliar el rango de amplitud de salida. Adicionalmente, la implementación de funcionalidades avanzadas, como modulación en amplitud (AM), modulación en frecuencia (FM) o generación de señales arbitrarias, permitiría extender significativamente las capacidades del prototipo y su utilidad en entornos académicos más exigentes.

5. Conclusiones

El prototipo desarrollado demuestra la viabilidad de implementar un generador de funciones de bajo costo capaz de producir señales sinusoidales, cuadradas y de diente de sierra con control remoto a través de internet, mediante la integración de una aplicación web, una infraestructura en la nube y módulos embebidos. Esta arquitectura permite su utilización en entornos educativos y de laboratorio remoto, facilitando la interacción con hardware real desde cualquier ubicación.

Los resultados experimentales evidencian que el sistema presenta un desempeño adecuado dentro del rango de operación de 10 Hz a 100 kHz, con errores de frecuencia inferiores al 0,12 % y de amplitud menores al 0,7 %, lo que confirma la precisión aceptable del convertidor digital-analógico basado en red R-2R de 8 bits para aplicaciones didácticas. No obstante, a frecuencias elevadas

se observa un incremento en la distorsión armónica, atribuible a las limitaciones de resolución del DAC y a la naturaleza del proceso de conversión digital-analógica.

El sistema propuesto destaca frente a trabajos previos por la integración de conectividad IoT mediante el uso de WebSocket sobre infraestructura en la nube, lo que permite la comunicación en tiempo real entre la interfaz de usuario y el dispositivo. Asimismo, su costo de fabricación cercano a los 12 USD lo posiciona como una alternativa altamente accesible frente a equipos comerciales, aunque presenta limitaciones en resolución (8 bits) y amplitud máxima (3,3 Vpp), lo que restringe su uso en aplicaciones que requieren mayor fidelidad o niveles de señal más elevados.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron en la conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original y revisión y edición del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores manifiestan no tener conflictos de interés.

6. Referencias bibliográficas

- Barrio Andrés, M. (2022). *Internet de las cosas* (3.ª ed.). Editorial Reus.
- Burke, C. T. (1930). The standard-signal method of measuring receiver characteristics. *The General Radio Experimenter*, 4(10), 1–8. https://www.ietlabs.com/pdf/GR_Experimenter/1930/GenRad_Experimenter_March_1930.pdf
- Batavale, P., & Daruwala, R. D. (2019, del 6 al 8 de julio). Remotely configurable low cost arbitrary function generator [conferencia]. *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Kanpur, India. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT45670.2019.8944488>
- Li, W.-G. (2020, del 7 al 8 de noviembre). Laboratory management system based on Internet of Things [Conferencia]. En *Proceedings of the 2020 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS)*, Sanya, China. <https://doi.org/10.1109/ICRIS52159.2020.00082>
- Li, Y., Wang, M., & Wu, M. (2019, del 18 al 20 de setiembre). Design of electromagnetic signal generator based on field programmable gate array [conferencia]. En *International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM)*, Qingdao, China. <https://doi.org/10.1109/iWEM.2019.8887897>
- Molina-Ríos, J., Zea-Ordóñez, M., Contento-Segarra, M., & García-Zerda, F. (2018). Comparación de metodologías en aplicaciones web. *3C Tecnología*, 7(1), 1–19. <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2018.v7n1e25.1-19>
- National Instruments. (5 de junio de 2025). *Generar una señal: Tipos de generadores de funciones, consideraciones de DAC y otra terminología común*. <https://www.ni.com/es/shop/electronic-test-instrumentation/waveform-generators/generating-signals-function-generators.html>
- Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2016). *Discrete-time signal processing* (3rd ed.). Pearson Education. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292038155_A24581738/preview-9781292038155_A24581738.pdf
- Ott, H. W. (2009). *Electromagnetic compatibility engineering*. John Wiley & Sons. <https://daskalakispiros.com/files/Ebooks/Electromagnetic%20Compatibility%20Engineering.pdf>
- Prasad, S. S., & Sanyal, S. K. (2007, del 13 al 14 de julio). Design of arbitrary waveform



- generator based on direct digital synthesis technique using Code Composer Studio platform [conferencia]. En *International Symposium on Signals, Circuits and Systems*, Iasi, Romania <https://doi.org/10.1109/ISSCS.2007.4292709>
- Raspberry Pi Ltd. (2024). *RP2040 datasheet: A microcontroller by Raspberry Pi* (pp. 92–100). Raspberry Pi. <https://pip-assets.raspberrypi.com/categories/814-rp2040/documents/RP-008371-DS-1-rp2040-datasheet.pdf?disposition=inline>
- Tan, B.-L., Lee, W.-K., Mok, K.-M., & Goh, H.-G. (2018, del 8 al 9 de noviembre). Clock gating implementation on commercial field programmable gate array (FPGA) [conferencia]. En *4th International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE)*, Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/ICEESE.2018.8703530>
- Vince, T. (2020). IoT implementation in remote measuring laboratory VMLab analyses. *Journal of Universal Computer Science*, 26(11), 1402–1421. <https://doi.org/10.3897/jucs.2020.074>
- Wheeler, H. A. (1930). Constant-amplitude oscillator for measuring transmission-line properties. *The General Radio Experimenter*, 5(2), 1–4.
- Xu, M., Hu, J., & Gao, Y. (2011, del 30 al 31 de julio). FPGA-based design and implementation of arbitrary waveform generator [conferencia]. *2011 International Conference on Control, Automation and Systems Engineering (CASE)*, Singapur. <https://doi.org/10.1109/ICCASE.2011.5997708>