Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Herramienta didáctica interactiva con Arduino utilizando lógica difusa para la enseñanza de sistemas de ecuaciones lineales en Excel

An interactive didactic tool using Arduino and fuzzy logic for teaching systems of linear equations in Excel

Hernández-Miramontes, B.V.*, Serranos-Pérez, E., Soberanes-Martín, A.

Universidad Autónoma del Estado de México; Centro Universitario Valle de Chalco; C.P 56615. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-1093-5717*, https://orcid.org/0000-0003-4012-9709, https://orcid.org/0000-0002-1101-8279.

breen_vianey.71@outlook.com*; eserranop_s@uaemex.mx; asoberanesm@uaemex.mx

Innovación tecnológica: Combina tecnologías para procesar y visualizar en tiempo real sistemas de ecuaciones lineales, con gestión de la incertidumbre y gráficos dinámicos.

Área de aplicación industrial: Industria de la educación.

Recibido: 17 mayo 2025
Aceptado: 12 junio 2026

Abstract

The teaching of systems of linear equations in engineering presents challenges due to the complexity of these concepts and their limited connection to practical applications. To address this issue, this study proposes an interactive interface that integrates Arduino, fuzzy logic, and Excel to enhance understanding through dynamic and visual learning experiences. Accordingly, an interactive didactic tool was developed in which an Arduino microcontroller captures analog signals from potentiometers in real time and transmits them to Excel through Data Streamer and VBA macros. These signals are used to plot two lines in parallel with a zero-order type-1 Sugeno fuzzy logic system, which processes and stabilizes the readings, managing the uncertainty inherent in low-cost hardware.

The interface allows students to visualize variations in the x and y parameters of linear equations by physically manipulating the potentiometers. The results show that the system enabled real-time representation of variations in the linear equation parameters while maintaining a latency below 100 ms during data transmission and visualization. Furthermore, validation performed in

MATLAB demonstrated agreement between the values calculated by the fuzzy system and those obtained in Excel: a digital input of 195, a scaled value of 0.95308 V, and an output of 33.27°. Fuzzy logic improves signal stability by reducing fluctuations and provides reliable results for real-time representation.

Keywords: Educational Technology, Teaching material, Mathematics, Educational Informatics.

Resumen

La enseñanza de los sistemas de ecuaciones lineales en ingeniería presenta dificultades debido a su complejidad conceptual, además de su limitada relación con aplicaciones prácticas. Este trabajo propone una interfaz interactiva que integra Arduino, lógica difusa y Excel para fortalecer la comprensión mediante experiencias visuales y dinámicas. Por tal motivo, se desarrolló una herramienta didáctica interactiva con Arduino que captura en tiempo real las señales analógicas de potenciómetros y las envía a Excel mediante *Data Streamer* y macros en VBA. Dichas señales permiten graficar dos rectas paralelamente en un sistema de lógica difusa Sugeno de orden 0 y tipo 1, el cual procesa y estabiliza las lecturas, controlando la incertidumbre propia del hardware de bajo costo.

La interfaz permite visualizar la variación de los parámetros X y Y de las ecuaciones lineales al manipular físicamente los potenciómetros. Los resultados muestran que el sistema permitió representar en tiempo real la variación de los parámetros de las ecuaciones lineales, manteniendo una latencia inferior a 100 ms durante la transmisión y la visualización de los datos. Asimismo, la validación realizada en MATLAB muestra una coincidencia entre los valores calculados por el sistema difuso y los obtenidos en Excel: una entrada digital de 195, un valor escalado de 0.95308 V y una salida de 33.27°. La lógica difusa permite mejorar la estabilidad de las señales, reduciendo las variaciones, y proporciona resultados confiables para su representación en tiempo real.

Palabras clave: Tecnología educacional; material didáctico; matemáticas; informática educativa.

1. Introducción

El objetivo del presente trabajo describe el diseño de una interfaz interactiva para la visualización de conceptos para la enseñanza del álgebra lineal, la cual busca graficar datos de entrada en tiempo real, convirtiéndolos en coordenadas generadas a través del manejo de potenciómetros de bajo costo, por medio de estos se permite el desplazamiento de dos rectas, permitiendo la ubicación espacial dentro de un plano cartesiano ubicando las coordenadas de X y Y en un sistema de ecuaciones lineales. Si bien, dichas rectas se encuentran unidas entre sí en un plano cartesiano en Excel. Cada recta se representa mediante una ecuación de la forma $y = mx + b$. Al tener dos segmentos (rectas unidas), el punto de unión y la orientación final constituyen un sistema en el que las coordenadas (x, y) dependen de los ángulos de entrada. Por ello, se eligió trabajar con un modelo de dos grados de libertad para relacionarlo directamente con sistemas de ecuaciones $2x2$, lo que facilita su visualización en un plano bidimensional antes de escalar a sistemas de mayor complejidad.

Según Díaz Barriga & Hernández Rojas (2002) para lograr un aprendizaje significativo, es imperativo que el estudiante interactúe directamente con el objeto de estudio, lo que permite que los nuevos conceptos de sistemas de ecuaciones se anclen en estructuras cognitivas previas mediante la manipulación física y la observación de resultados en tiempo real.

1.1 Problemática de la enseñanza del álgebra lineal

La enseñanza del álgebra lineal resulta esencial para la formación inicial, ya que es uno de los cursos básicos de las carreras de Ingeniería en sistemas computacionales e Ingeniería en cómputo. Esta materia es primordial, dado que está estrechamente relacionada con otras asignaturas de semestres posteriores, como Investigación de Operaciones (Secretaría de Educación Pública, 2016). Álgebra Superior (Becerril Vilchis et al., 2019). Diversas investigaciones en los últimos años han reportado que el aprendizaje del álgebra lineal continúa representando desafíos para los estudiantes de ingeniería, debido al carácter complejo de sus conceptos y las dificultades para relacionar las representaciones algebraicas, gráficas y matriciales. Una revisión sistemática sobre sus dificultades de aprendizaje identificó que los principales problemas se centran en la comprensión de conceptos abstractos, la transición entre sus representaciones y la necesidad de incorporar tecnologías educativas que favorezcan la visualización matemática (Piñón Jiménez & Córdova Esparza, 2023).

En particular, los sistemas de ecuaciones lineales son uno de los contenidos que generan mayores dificultades conceptuales (Tashtoush et al., 2023) encontraron que los estudiantes presentan bajos niveles de comprensión conceptual respecto a los sistemas de ecuaciones lineales, especialmente al establecer relaciones entre conceptos matemáticos y al interpretar múltiples representaciones de una misma solución. Los autores destacan la necesidad de utilizar recursos didácticos que conecten las representaciones algebraicas, gráficas y matriciales para favorecer una comprensión más profunda. De manera similar, Rangel Ruiz et al. (2026) desde la teoría APOS, se menciona que los estudiantes de ingeniería abordan los sistemas de ecuaciones lineales desde una perspectiva teórica, mostrando dificultades para relacionar las representaciones algebraicas, matriciales y geométricas asociadas a los conjuntos solución.

El alcance que se pretende lograr es llegar a estudiantes de nivel superior que cursan programas de formación en ingeniería. El uso de esta interfaz busca fortalecer competencias profesionales transversales, como: a) la capacidad de modelar problemas de ingeniería mediante herramientas matemáticas; y b) el uso de tecnologías de hardware y software para resolver problemas técnicos (Wong et al., 2022). Si bien, como mencionaron Jara Ulloa & Casillas Alcalá (2024) a raíz de la contingencia ocasionada por la Covid-19, el uso de dispositivos móviles y de recursos educativos digitales se incorporó como práctica habitual. Esta situación obligó a los docentes a incorporar tecnologías en sus actividades educativas, lo que generó la necesidad urgente de desarrollar y reforzar sus competencias digitales.

En tal sentido, enseñar a las nuevas generaciones implica que es fundamental que los docentes universitarios integren tecnologías actuales en el proceso de enseñanza, dado que los estudiantes cuentan con un amplio acceso a la tecnología y pueden aprovecharla con fines didácticos (Costa & Rossignoli, 2017). Por otro lado, partiendo de la tecnología se puede mejorar la técnica del

docente en los procesos de enseñanza y el aprendizaje en comparación del tradicional (Gamboa, 2007), como herramienta de apoyo el uso de software en la educación se ha vuelto relevante en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, ya que en cuanto al algebra lineal sigue siendo complejo para los estudiantes, como señala Ponce Silva (2017), el aprendizaje del álgebra lineal en las carreras de ingeniería se ve obstaculizado por la desconexión entre los métodos de enseñanza tradicionales y las aplicaciones prácticas, lo que genera una barrera en la comprensión de sistemas de ecuaciones lineales.

1.2 Fundamentación pedagógica

En el contexto de la educación superior, esta propuesta se alinea con el modelo TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) propuesto por Salas-Rueda (2019), este marco permite que la tecnología (Arduino y Excel) no sea un elemento aislado, sino que se integre con el conocimiento disciplinar del álgebra lineal y con el conocimiento pedagógico, lo que facilita la transición de conceptos abstractos a representaciones gráficas dinámicas. Esta integración es vital para desarrollar competencias profesionales en los estudiantes de ingeniería, como el diseño de instrumentación y la resolución de problemas técnicos, superando el enfoque meramente disciplinar de los niveles educativos previos Zarzar Charur, 2015).

Asimismo, la implementación en el aula universitaria requiere estrategias didácticas específicas que fomenten la participación. Navaridas Nalda (2004) señala que las estrategias que involucran medios tecnológicos permiten una mayor flexibilidad en la enseñanza, mientras que Zarzar Charur (2000) destaca la importancia de la didáctica grupal; en este sentido, el prototipo permite que los estudiantes colaboren en la experimentación y discutan las variaciones de las rectas al manipular los sensores.

1.3 Tecnologías aplicadas a la enseñanza del álgebra lineal

Las instituciones educativas en el área de ingeniería buscan mejorar la enseñanza y aprendizaje del álgebra lineal y han optado por utilizar software para enseñar conceptos matemáticos.

El departamento de Teoría Económica y Economía Matemática de la UNED (Universidad Nacional de Educación a Distancia), llevó a cabo el análisis y la representación gráfica de funciones matemáticas con Excel (Palencia González & García Llamas, 2017). En esa misma línea tecnológica, Ruiz Ledezma et al. (2022) describen un dispositivo digital interdisciplinar que integra Arduino, NetLogo, Microsoft Excel y GeoGebra para la recolección y el modelado en tiempo real de datos físicos, así como para su interpretación matemática. En conjunto, con esta propuesta ambos demuestran la versatilidad de Arduino como puente entre lo físico y el modelado matemático y subrayan el valor de las hojas de cálculo como entornos accesibles para la enseñanza. Mientras que el trabajo de Ruiz Ledezma et al. (2022) se orienta al tratamiento de conceptos de física mediante simulación y modelado en NetLogo y GeoGebra, la herramienta didáctica amplía este enfoque al integrar la lógica difusa como mecanismo de estabilización de los datos. De este modo, ambas propuestas coinciden en su propósito didáctico de acercar las tecnologías a los contextos educativos y de promover la conexión entre teoría y práctica. La integración de recursos visuales e interactivos, como señalan Jiménez y Lahuerta (2022), mejora la comprensión y la retención de conceptos abstractos.

1.4 Integración tecnológica: Arduino, Excel y lógica difusa

Se empleó la plataforma Arduino para capturar en tiempo real las señales analógicas generadas por los potenciómetros y transmitirlas mediante la comunicación USB (*Universal Serial Bus*), utilizando el complemento *Data Streamer* y la hoja de cálculo de Excel para su análisis y visualización. Dichas señales, al convertirse en digitales, generan incertidumbre en el hardware, lo que provoca variaciones en los datos y afecta su precisión y estabilidad al momento de su captura, lo que complica su representación en gráficos de dispersión y en macros de VBA (*Visual Basic for Applications*).

Para mitigar la incertidumbre y el ruido en la captura de señales analógicas provenientes de los potenciómetros, se implementó un sistema de inferencia difusa (Fuzzy Inference System, FIS) basado en el modelo Sugeno de orden cero. A diferencia de las funciones triangulares de membresía, se optó por funciones trapezoidales de membresía (Du & Sun, 2008). Diseñadas en el entorno de *MATLAB*, debido a que su estructura, compuesta por límite, soporte y núcleo, ofrece una región de meseta que permite controlar rangos de datos más amplios. Lo que este diseño facilita es una amplia determinación de los grados de pertenencia en comparación con la función triangular (Du & Sun, 2008) especialmente tras realizar un escalamiento de la señal en el rango de 0 a 0.5 (Morales Luna, 2002). Cabe destacar que la lógica difusa es una herramienta esencial para el tratamiento de variables que no poseen límites precisos, lo que permite un procesamiento de datos más cercano al razonamiento humano que al de la lógica binaria tradicional (Zadeh, 1965).

De igual forma, se reportó un trabajo centrado en la resolución de problemas de álgebra lineal con Excel, sin conocimientos avanzados de la hoja de cálculo. En este sentido, se destaca cómo Excel puede resolver problemas de álgebra lineal, más allá de su aplicación en tablas y en estadística. Sin herramientas avanzadas, permite resolver sistemas, y es útil para docentes y estudiantes en un contexto didáctico a nivel universitario (Rasúa López, 2003).

Ahora bien, autores como Aguirre Manríquez et al. (2022) han utilizado potenciómetros rotativos clasificados como A, B, C y W en experimentos electrónicos, donde A (50KΩ), B (10KΩ), C (10KΩ) y W (20KΩ) se trabajaron en conjunto con Arduino Uno, Proteus y MATLAB, con el objetivo de lograr una función de ajuste polinomial mediante ecuaciones para sus representaciones gráficas, obteniendo como resultado la simulación en Proteus de las funciones A-logarítmico, B-lineal, C-antilogarítmico y W-logarítmico-antilogarítmico. En donde, a modo de conclusión, los autores recomiendan realizar ajustes de curva para mejorar la señal de control en sistemas electrónicos.

En este caso, la manipulación física de potenciómetros permite que conceptos abstractos, como las pendientes de una recta o la intersección de un sistema de ecuaciones, se transformen en experiencias tangibles y visuales en tiempo real. La literatura reciente respalda esta integración; por ejemplo, el uso de hojas de cálculo se ha demostrado una herramienta accesible y potente para la modelación de fenómenos físicos y la resolución de problemas matemáticos, sin requerir software especializado de alto costo (Palencia González & García Llamas, 2017; Rasúa López 2003)

1.5 Aportación de la propuesta

En comparación con la propuesta anterior, se observan diferencias importantes respecto de los estudios (Palencia & García, 2017; Ruiz

et al., 2022; Rasúa, 2003) que emplean Excel para el aprendizaje del álgebra lineal. En este trabajo se integra Arduino porque ofrece una integración educativa y una integración directa con Excel, ya que cuenta con el complemento Data Streamer, lo cual facilita su implementación. Además, cuenta con una amplia comunidad para resolver dudas y bibliotecas para principiantes, en contraste con una tarjeta como la STM32, que requiere un conocimiento más técnico. Esto permite al estudiante adquirir una experiencia práctica e interdisciplinaria, en comparación con los enfoques basados únicamente en software, y le brinda un contexto de aplicación.

La interfaz interactiva pretende reforzar los conocimientos teóricos, como la ubicación espacial en un plano cartesiano, y brindar a los estudiantes de ingeniería una experiencia educativa enriquecedora. De acuerdo con Aspiazu Hidalgo et al. (2024) las asignaturas del área de matemáticas requieren recursos educativos tecnológicamente innovadores y de fácil acceso. Al integrar la tecnología con conceptos matemáticos fundamentales. Ahora bien, como se indica actualmente, la educación superior ha enfrentado diversos desafíos en la enseñanza del álgebra lineal, principalmente porque gran parte de los estudiantes la percibe como una materia difícil y abstracta. Esta situación ha impulsado el desarrollo de propuestas innovadoras orientadas a mejorar la comprensión y el interés por los contenidos esenciales de la asignatura.

La integración de herramientas tecnológicas en la enseñanza del álgebra lineal no es solo una cuestión de actualización técnica, sino que responde a la necesidad de superar la comprensión de conceptos abstractos que caracteriza a esta disciplina. Desde una perspectiva pedagógica, esta propuesta se fundamenta en el constructivismo, que sostiene que el conocimiento se construye activamente cuando el estudiante interactúa con el objeto de estudio (Piaget, 1977; Schunk, 2012). Es importante señalar que el alcance del presente trabajo se centra en el diseño, la implementación y la validación técnica de una herramienta didáctica interactiva basada en Arduino, Excel y lógica difusa para la visualización de sistemas de ecuaciones lineales. Si bien la propuesta se fundamenta en principios pedagógicos orientados al aprendizaje y a la interacción con conceptos matemáticos, en esta etapa no se realizó una evaluación educativa formal con los estudiantes. Por tanto, los resultados reportados corresponden a la funcionalidad técnica, la estabilidad y la viabilidad de la herramienta como recurso de apoyo para la enseñanza, quedando como trabajo futuro la evaluación de su impacto en la comprensión conceptual, el aprendizaje y el desarrollo de competencias en estudiantes de ingeniería.

2. Validación técnica del sistema

El presente trabajo utiliza la lógica difusa para controlar la incertidumbre y la inestabilidad propias de los potenciómetros de bajo costo empleados para convertir la señal analógica en digital. Estos dispositivos generan variaciones constantes en las señales analógicas, lo que dificulta la precisión y la estabilidad de los datos al graficarlos en Excel. Por lo tanto, la lógica difusa permite visualizar datos de lecturas inestables al aplicar reglas de inferencia y considerar variaciones continuas entre valores, evitando saltos bruscos y ofreciendo resultados confiables. Ahora bien, se define como una investigación de desarrollo tecnológico con un enfoque descriptivo. Siguiendo la ruta cuantitativa para la validación técnica Hernández Sampieri et al. (2014), la metodología se dividió en tres fases:

Fase 1: Diseño y construcción del hardware basado en la plataforma de hardware abierto Arduino.

Fase 2: Programación del sistema de inferencia difusa de tipo Sugeno en MATLAB para la estabilización de señales.
Fase 3: Desarrollo de la interfaz de visualización dinámica en Microsoft Excel mediante la herramienta *Data Streamer* para la recepción de datos en tiempo real.

2.1 Fase 1. Diseño y construcción del hardware

Si bien, para su funcionamiento, las pruebas se realizaron en un sistema operativo de Windows 11, haciendo uso de Microsoft Office 365 para el uso de Excel; además, su complemento *Data Streamer* y en cuando a Matlab su versión fue R2024b, utilizando el complemento *Fuzzy Logic Toolbox* eso en cuanto a la parte de software, si bien para el desarrollo del gabinete se realizó el diseño en Tinkercad se muestra en la figura 1.

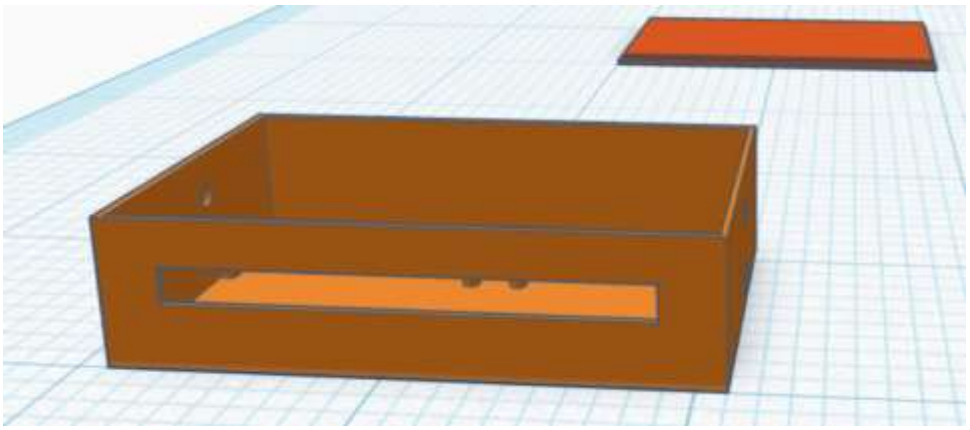


Figura 1. Diseño de gabinete para el dispositivo.
Elaboración propia.

Posteriormente, se optó por hacer uso de una tarjeta Arduino como se muestra en la figura 2 la cual es de hardware abierto, lo que facilita el acceso y el uso en la electrónica y la computación para el desarrollo de sistemas (Vidal Silva et al., 2019). Posteriormente, se desarrolló el diseño del diagrama de conectividad entre Arduino y los potenciómetros, como se muestra en la figura 3.

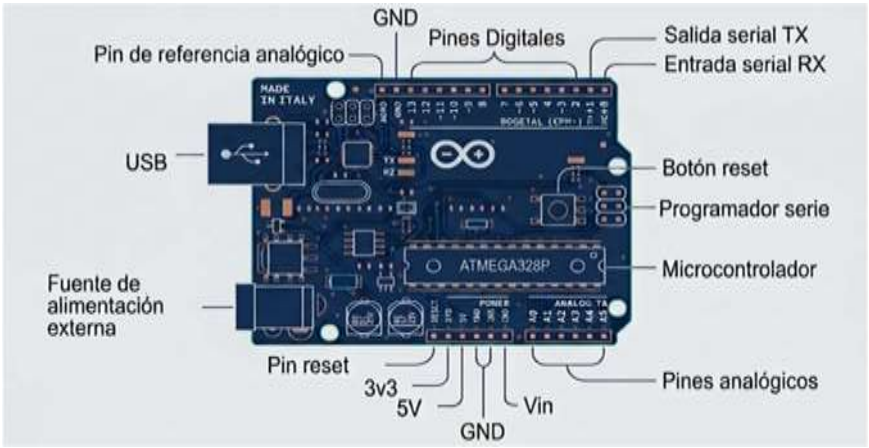


Figura 2. Diagrama esquemático de su arquitectura basado en Lineros et al. (2018). Generada por Nano Banana 2 de Gemini IA (2026). Elaboración propia.

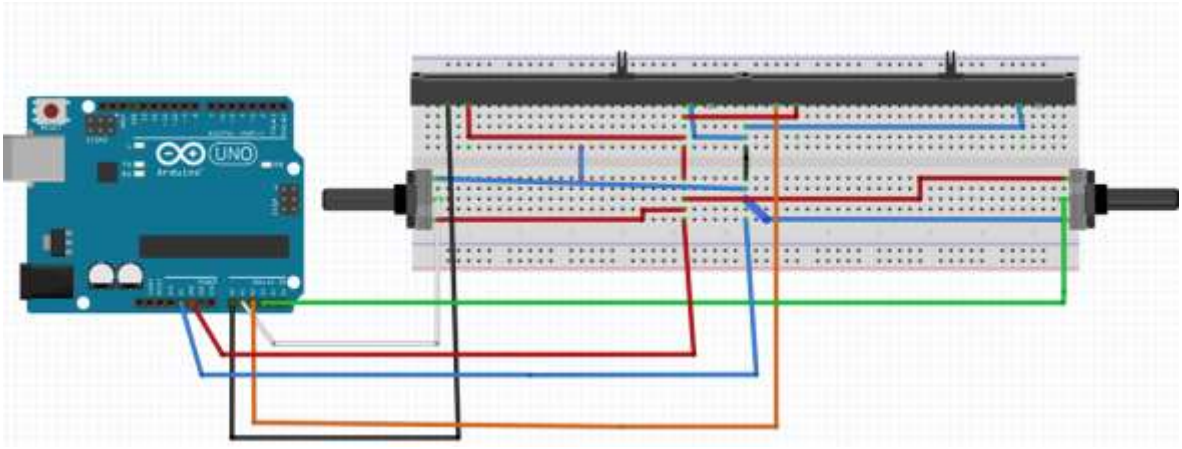


Figura 3. Hardware construido.
Elaboración propia.

2.2 Fase 2. Programación del sistema de inferencia difusa

En la fase de programación, se definieron las variables del sistema difuso en MATLAB y en Excel. A continuación, se describen las variables de entrada y de salida.

Variable de entrada: Se denominó “Voltaje” y cuenta con 10 funciones de membresía del tipo trapezoidal, en función del voltaje de la señal analógica. Los parámetros de cada una de las funciones de membresía se presentan en la tabla 1 y se identifican como a, b, c y d.

Tabla 1. Variable de entrada “Voltaje” y sus funciones de membresía.

	a	b	c	d
V1	0	0.1	0.4	0.5
V2	0.4	0.5	0.9	1
V3	0.9	1	1.4	1.5
V4	1.4	1.5	1.9	2
V5	1.9	2	2.4	2.5
V6	2.4	2.5	2.9	3
V7	2.9	3	3.4	3.5
V8	3.4	3.5	3.9	4
V9	3.9	4	4.4	4.5
V10	4.4	4.5	5	5.5

Elaboración propia.

Variable de salida: Se definió con el nombre de “Angulo” y cuenta con 10 constantes que definen las regiones de interés al manipular el sistema, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Variable de salida y sus constantes.

A1	0
A2	20
A3	45
A4	60
A5	70
A6	90
A7	135
A8	215
A9	270
A10	315

Elaboración propia.

Con las variables de entrada y salida, se crearon las funciones de membresía en el rango de 0 a 1, como se observa en la figura 4.

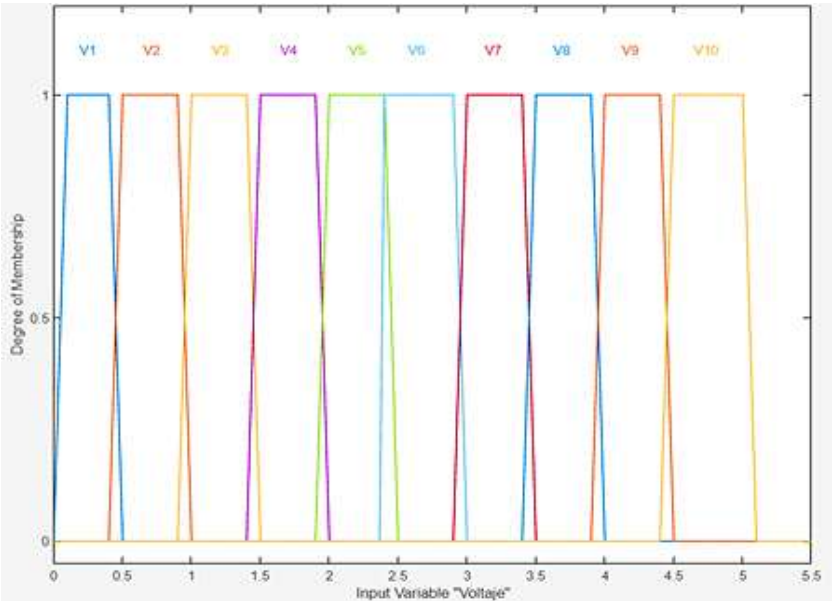


Figura 4. Funciones de membresía. Elaboración propia.

Una vez definidas las funciones de membresía de la entrada y las constantes que determinan la salida, se procedió a definir las reglas de inferencia, en las que se describe la relación entre la variable de entrada y la variable de salida, como se observa en la tabla 3. Este sistema difuso se implementó en cada uno de los cuatro potenciómetros para mejorar la visualización de los datos en el gráfico de Excel.

Tabla 3. Reglas de inferencia.

Si voltaje es **V1** entonces la salida es **A1**
Si voltaje es **V2** entonces la salida es **A2**
Si voltaje es **V3** entonces la salida es **A3**
Si voltaje es **V4** entonces la salida es **A4**
Si voltaje es **V5** entonces la salida es **A5**
Si voltaje es **V6** entonces la salida es **A6**
Si voltaje es **V7** entonces la salida es **A7**
Si voltaje es **V8** entonces la salida es **A8**
Si voltaje es **V9** entonces la salida es **A9**
Si voltaje es **V10** entonces la salida es **A10**

Ahora bien, para poder contar con la interfaz interactiva se basó en un modelo matemático de tipo difuso en Excel, el cual permite procesar señales analógicas mediante funciones de membresía y de reglas de inferencia, el cual genera salida de señales estables, procesando señales analógicas a digitales, estabilizando las señales con el objetivo de que se pueda situar correctamente la coordenada o punto dentro del plano cartesiano sin tener incertidumbre a la hora de posicionar la recta para graficar. Como tal no resuelve sistemas de ecuaciones lineales, solo actúa como un mecanismo de transformación y estabilización de parámetros que después son utilizados en la representación algebraica y gráfica de dichos sistemas lineales, es decir, se obtiene una salida difusa que da como resultado un coeficiente del sistema ejemplo: $m = f_{\text{difuso}}(V_1), b = f_{\text{difuso}}(V_2)$ lo que quiere decir que los valores matemáticos de la recta (pendiente m y ordenada b) se obtienen a través de voltajes, pero no de forma directa, sino mediante un “proceso inteligente” es decir difuso por lo tanto V_1 y V_2 representan

el voltajes que provienen de los potenciómetros (perilla o sliders) al girar un potenciómetro el voltaje cambia, ese voltaje puede ir de 0 a 5 volts. Ahora bien, para construir una recta, $y = mx + b$, donde m, es qué tan inclinada está la recta y b representa dónde corta al eje y. En tal sentido, el problema al girar los potenciómetros es que el voltaje que reciben no es preciso, presenta ruido (incertidumbre) y varía poco, aunque no se manipulen los potenciómetros. No se podría hacer algo tan simple como $m = (V_1)$, porque la recta estaría "temblando" (término coloquial para describir el ruido de las señales analógicas) al hacerlo. Por lo tanto, la función $f_{\text{difuso}}(\cdot)$ actuando como un mecanismo de "filtro inteligente" que interpreta el voltaje en términos coloquiales nombrando las variables como "bajo", "medio" y "alto" para posteriormente aplicar las reglas, como lo son si el voltaje es "bajo" la pendiente "pequeña", si es "medio" la pendiente es "moderada" y si es "alto" la pendiente es "grande" lo que da resultado y evita saltos bruscos al posicionar la recta. La primera parte de la fórmula $m = f_{\text{difuso}}(V_1)$ (función de inferencia difusa) significa que la pendiente m no se obtiene directamente del voltaje, sino interpretarlo y suavizarlo, mientras que la segunda parte $b = f_{\text{difuso}}(V_2)$ significa que el punto donde la recta cruza el eje y también se obtiene mediante ese mismo proceso inteligente. Y esto con el propósito de mostrar una representación interactiva de enseñanza en el área de matemáticas y la búsqueda de recursos interactivos en el área de alumnos de nivel superior en específico las áreas de ingeniería con el fin de relacionar la electrónica como Arduino y potenciómetros con las matemáticas como Matlab que al pasar su modelo difuso a Excel lo hace accesible sin necesidad de pagar una licencia y así el alumno podrá visualizar la representación de dos rectas. Lo cual permitió demostrar la viabilidad técnica de la integración entre Arduino y Microsoft Excel, como en el diseño de una interfaz interactiva para la representación dinámica de sistemas de ecuaciones lineales 2×2.

2.3 Fase 3. Desarrollo de la interfaz

Una vez desarrollado el modelo a seguir para visualizar las rectas, se procedió a conectar el hardware y la tarjeta Arduino al equipo de cómputo mediante el puerto USB, como se muestra en la figura 5. Se inició y configuró la comunicación serial mediante el complemento *Data Streamer* de Microsoft Excel. Permitiendo recibir en tiempo real las señales analógicas captadas por los potenciómetros y convertirlas en datos que se almacenan automáticamente en una hoja de cálculo. Por lo tanto, se estableció la conexión entre Arduino y Excel mediante el canal serial, lo que permitió la transmisión continua de los valores de las cuatro entradas analógicas del sistema. En conjunto, estos elementos constituyen la base para la adquisición, el procesamiento y la visualización de datos, lo que permite representar gráficamente el comportamiento de las rectas generadas mediante la manipulación de los potenciómetros. La Figura 6 muestra el proceso de comunicación entre la tarjeta Arduino y la hoja de cálculo utilizada para la recepción de datos en tiempo real.



Figura 5. Flujo de comunicación entre Arduino, *Data Streamer*, Excel y el sistema de lógica difusa para la visualización de datos en tiempo real. Elaboración propia.

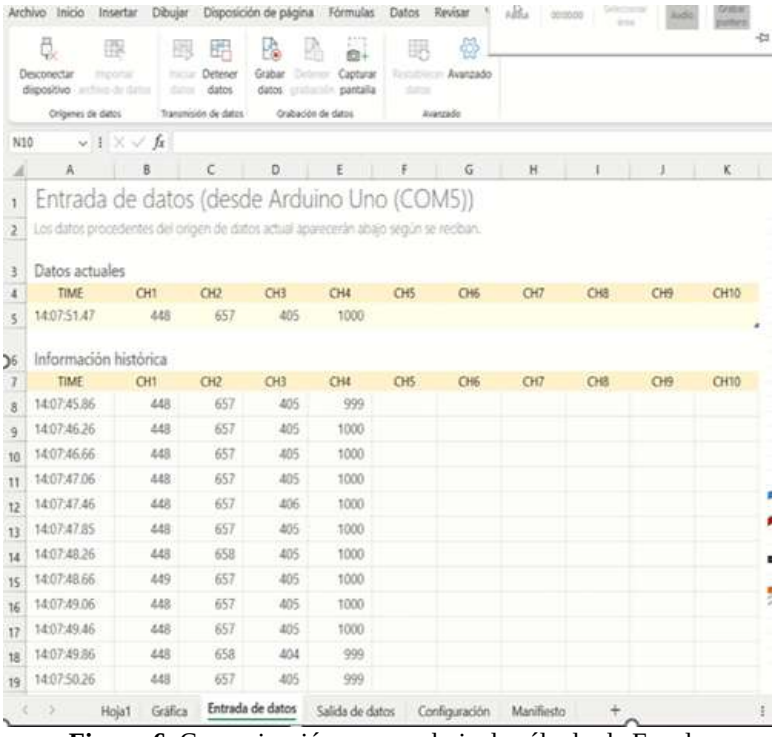


Figura 6. Comunicación con una hoja de cálculo de Excel.
Elaboración propia.

Una vez que todo estuvo conectado, se habilitó la comunicación con Excel mediante el analizador de datos. Los datos que se requieren recopilar son los que arrojan los potenciómetros al manipularlos, para convertirlos de analógicos a digitales y poder visualizarlos en Excel, interpretándose mediante el conjunto de líneas que se mueven en el plano cartesiano. Y esto se pretende al tomar cada entrada de los potenciómetros denominados CH; por lo tanto, al tener cuatro entradas, se obtienen CH1, CH2, CH3 y CH4. En la hoja de cálculo, mediante el transmisor de datos (*Data Streamer*), se capturan las cuatro señales de entrada que envía la tarjeta Arduino.

3. Métodos experimentales

En relación con los resultados de la construcción de la interfaz interactiva, al

establecer la conexión entre Arduino y Excel para la visualización de los datos en tiempo real, se midió el voltaje de entrada de los cuatro potenciómetros conectados al sistema. Cada uno de los potenciómetros generó una señal analógica que posteriormente se convirtió en digital a través del conversor analógico-digital (ADC) de la placa Arduino Uno R3, el cual cuenta con una resolución de 10 bits. Esta resolución permite convertir la señal analógica en valores digitales comprendidos entre 0 y 1023, donde 0 corresponde a 0 voltios y 1023 a 5 voltios, lo que cubre todo el rango de voltaje de entrada.

Para optimizar la interpretación de estos valores digitales, se implementó un proceso de escalamiento que consiste en agrupar los datos en rangos. Este escalamiento permitió transformar los valores digitales en un rango de 0 a 5 voltios, lo cual resulta intuitivo y adecuado para el análisis y la visualización de los datos. Para verificar y ajustar el funcionamiento del sistema de lógica difusa implementado, se utilizó la aplicación "*Fuzzy Logic Designer*" de MATLAB para simular y validar el sistema difuso (MathWorks, n.d.). Esta interfaz permitió simular y analizar la inferencia difusa a partir de los datos de entrada, asegurando que el sistema mostrara señales de salida estables ante incertidumbres o variaciones en las señales de los potenciómetros.

Como ejemplo práctico, al girar el potenciómetro situado en la primera posición se obtuvo una entrada digital de 197. Este valor se escaló a 0.95308 Volts, lo que se interpreta como un dato de salida con 3.28 grados. Al implementar el sistema difuso en MATLAB, el valor de salida obtenido es cercano al valor simulado, como se muestra en la figura 7. Este análisis comparativo validó el funcionamiento adecuado del sistema difuso y su capacidad para regular con precisión las señales de entrada.

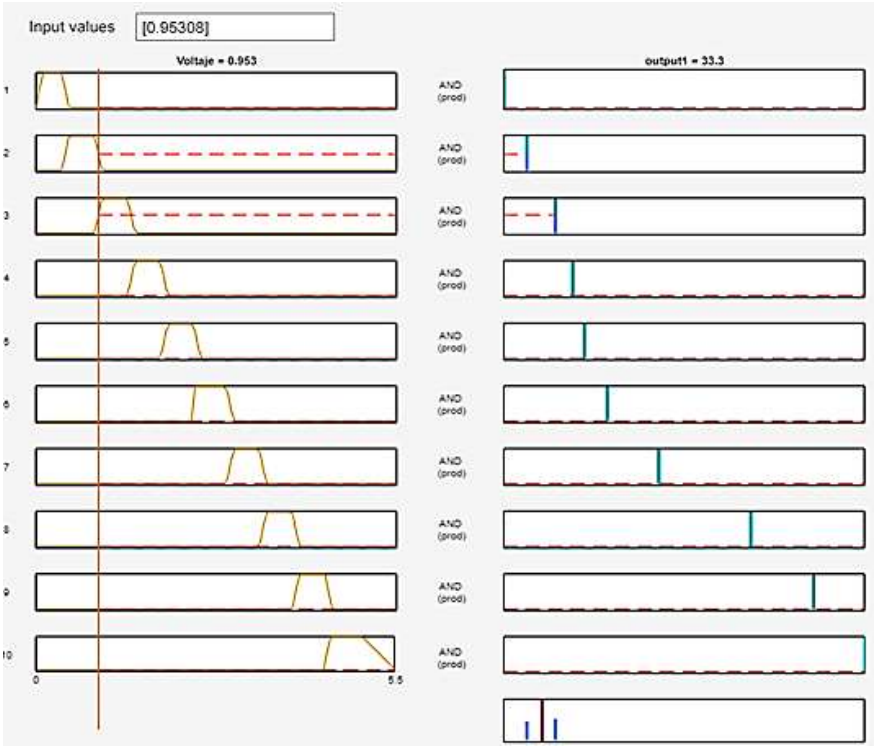


Figura 7. Verificación en el entorno de Matlab.
Elaboración propia.

Se conectó la tarjeta Arduino R3 a la hoja de cálculo mediante un complemento de Excel, cuyo transmisor de datos, Data Streamer, captura las cuatro señales de entrada provenientes de los potenciómetros que la tarjeta Arduino envía. Los datos se capturan y se almacenan en las celdas para generar un gráfico que permite visualizar en tiempo real el movimiento de las rectas en el plano cartesiano, dentro de los cuatro cuadrantes que lo componen, y controlar el ángulo y la longitud de cada recta.

4. Discusión de Resultados

Como resultado de la implementación del sistema de lógica difusa de Sugeno de orden 0 y tipo 1, se logró estabilizar el gráfico generado en Excel, lo que mejoró la visualización de los datos. El sistema permitió gestionar las señales analógicas, que, por su naturaleza, son inestables, y, al estabilizarlas, se visualizaron con exactitud los resultados obtenidos. La integración de Arduino y Excel en la interfaz didáctica ha permitido obtener datos en tiempo real con precisión y estabilidad.

4.1 Resultados obtenidos

Como se visualiza en la figura 8, en el dispositivo terminado se incorporan los diferentes componentes utilizados para el desarrollo de la interfaz. Se utilizó una caja de MDF (Medium Density Fibreboard) para montar los componentes electrónicos, para su estabilidad y facilidad de manejo. En la misma se integraron dos potenciómetros de perilla de 10 kΩ, colocados en los laterales de la caja, que permiten controlar el ángulo de cada recta, además de dos potenciómetros deslizables de 10 kΩ en la parte frontal, que permiten ajustar la longitud de cada recta. Estos potenciómetros se colocaron sobre dos placas fenólicas perforadas, lo que proporcionó una base sólida para su ubicación y conexión. Para la conexión y comunicación con una hoja de cálculo de Excel, se conectaron las entradas analógicas, el voltaje y la alimentación, y se puede monitorear en tiempo real las señales generadas por los potenciómetros.

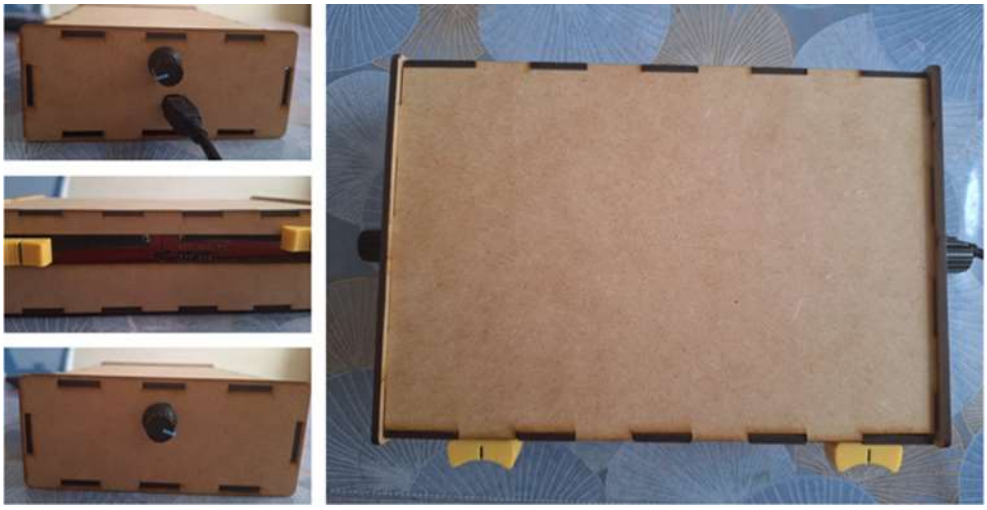


Figura 8. Dispositivo construido.
Elaboración propia.

Posteriormente, una vez terminado el dispositivo se genera un gráfico que permite visualizar el movimiento de las rectas en tiempo real, desplazarlas y posicionarlas en el plano cartesiano, así como ajustar el ángulo y la longitud de cada recta, lo que facilita su

representación espacial en dicho plano, ubicando las coordenadas. Los datos se capturan y se almacenan en las celdas de Excel con los potenciómetros, si bien, el uso de la lógica difusa mediante un sistema Sugeno no solo ha mejorado la visualización y el análisis de las señales analógicas provenientes de los potenciómetros, sino que también ha demostrado ser una solución eficiente para manejar las variaciones de estos componentes.

Partiendo del proceso de resultados, se capturan y almacenan las coordenadas resultantes de un sistema de ecuaciones lineales 2x2, en el que se registran los valores de X y Y, que representan dos rectas en el plano cartesiano, cuyos parámetros se controlan mediante los potenciómetros.

Cada recta responde al modelo algebraico: $y = m_1x + b_1$ y $y = m_2x + b_2$ donde la pendiente (m) y la ordenada al origen (b) varían en tiempo real a partir de señales analógicas procesadas por Arduino y estabilizadas mediante lógica difusa. Con el propósito de visualizarlos en un gráfico y crear una recta mediante la unión de dos puntos, se obtuvieron las coordenadas polares a partir de los valores de voltaje de entrada de los potenciómetros, utilizando la fórmula radianes = (180π) × grados. Seguido de la elaboración de una macro en VBA (Visual Basic for Applications) que, al activarse mediante el botón denominado “Marcar punto” ubicado en la macro de Excel, guarda las coordenadas recibidas en las celdas correspondientes de la hoja de cálculo, como se visualiza en la figura 9.

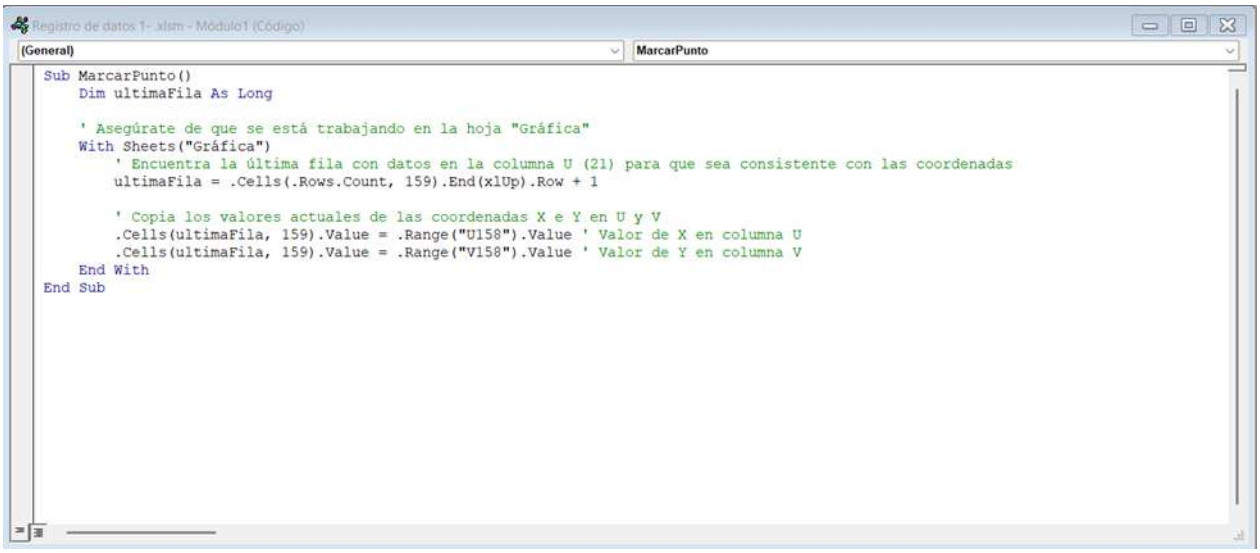


Figura 9. Macro en VBA (Visual Basic for Applications).
Elaboración propia.

Si bien en la figura 10 se observa, en el plano cartesiano (lado izquierdo), la representación de dos rectas construidas a partir de datos de entrada obtenidos al manipular los potenciómetros. Se identifican tres puntos: $P1(29.12,48.97)$, $P2(-86.05,-40.51)$y $P3(-10.37,-53.86)$, provenientes de la adquisición de señales mediante Arduino y su procesamiento en Excel. A partir de estos puntos, se construyen las rectas. La primera recta se obtiene con los puntos $P1$y $P2$; mediante la fórmula de la pendiente $m = \frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}$, la cual se calcula $m_1 \approx 0.78$, y sustituyendo uno de los puntos en la ecuación $y = mx + b$, se determina la ordenada al origen $b_1 \approx 26.2$, obteniéndose así la

ecuación $y = 0.78x + 26.2$, La segunda recta se construye a partir de los puntos $P2$y $P3$, resultando en una pendiente $m_2 \approx -0.176$y una ordenada al origen $b_2 \approx -55.6$, lo que da lugar a la ecuación $y = -0.176x - 55.6$.

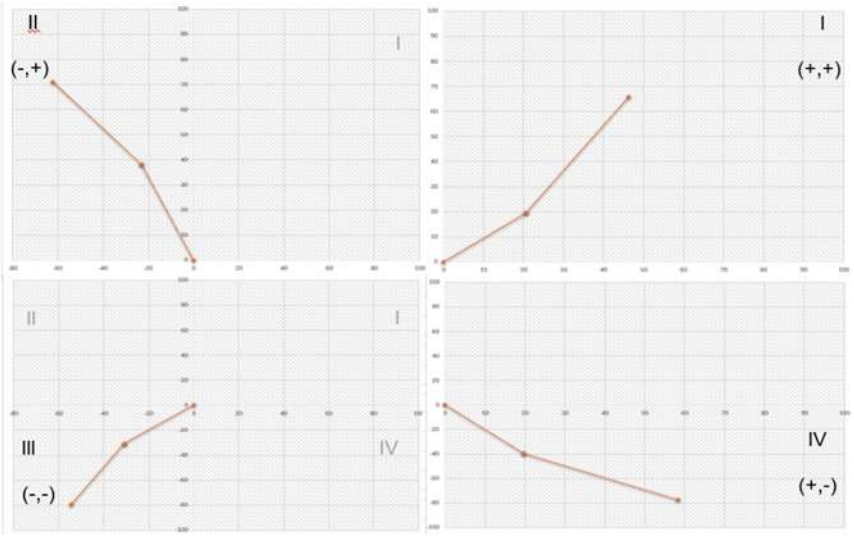


Figura 10. Gráfico del plano cartesiano.
Elaboración propia.

Una vez obtenidas ambas ecuaciones, se reescriben en su forma estándar como $y - 0.78x = 26.2$y $y + 0.176x = -55.6$, lo cual permite identificar los coeficientes de las variables. A partir de esta estructura, el sistema puede expresarse en forma matricial como $AX = B$, donde la matriz A está conformada por los coeficientes $(-0.78,1)$y $(0.176, 1)$, el vector $X = (x, y)^T$representa el punto de intersección de las rectas, y el vector $B = (26.2, -55.6)^T$contiene los términos independientes. La formulación de los datos permite establecer una conexión directa entre la representación gráfica y el modelo algebraico. Al resolver el sistema, ya sea de manera analítica o interpretando la intersección en la gráfica, se obtiene el punto aproximado $(x, y) \approx (-86, -40)$, el cual coincide con el punto $P2$. Este resultado resalta, ya que demuestra que uno de los puntos generados por la interfaz corresponde a la solución del sistema de ecuaciones, lo que, valida la coherencia entre los datos obtenidos, la construcción de las rectas y su intersección.

Los resultados evidencian la viabilidad técnica de la integración Arduino–Excel mediante la validación de la precisión del sistema en tres escenarios clave. En primer lugar, en el caso de un sistema determinado, el ajuste de los potenciómetros a valores como $(x = 2, y = 3)$, por mencionar algunos, permitió que la interfaz gráfica representara la intersección exacta sin variaciones, debido al filtrado implementado mediante lógica difusa. En segundo lugar, en un escenario inconsistente en el que las pendientes se configuraron como rectas paralelas, el sistema gestionó de forma estable la ausencia de un punto de intersección. Finalmente, la prueba de latencia confirmó que la transmisión a través de *Data Streamer* mantuvo la actualización de las gráficas en tiempo real, con un retraso imperceptible inferior a 100 ms, lo cual es crítico para mantener la atención del estudiante durante la interacción física.

4.2 Interpretación de los resultados

En este sentido, el proceso completo que inicia con la generación de datos mediante Arduino como se visualiza en la figura 11 continúa con la construcción de rectas en Excel y termina con la identificación visual del punto de intersección siendo equivalente a la resolución de un sistema de ecuaciones lineales en su forma matricial $AX = B$. Mostrando que la interfaz interactiva desarrollada no solo permite la visualización de relaciones matemáticas, sino también muestra el proceso integrando la experimentación, la representación gráfica y el álgebra lineal.

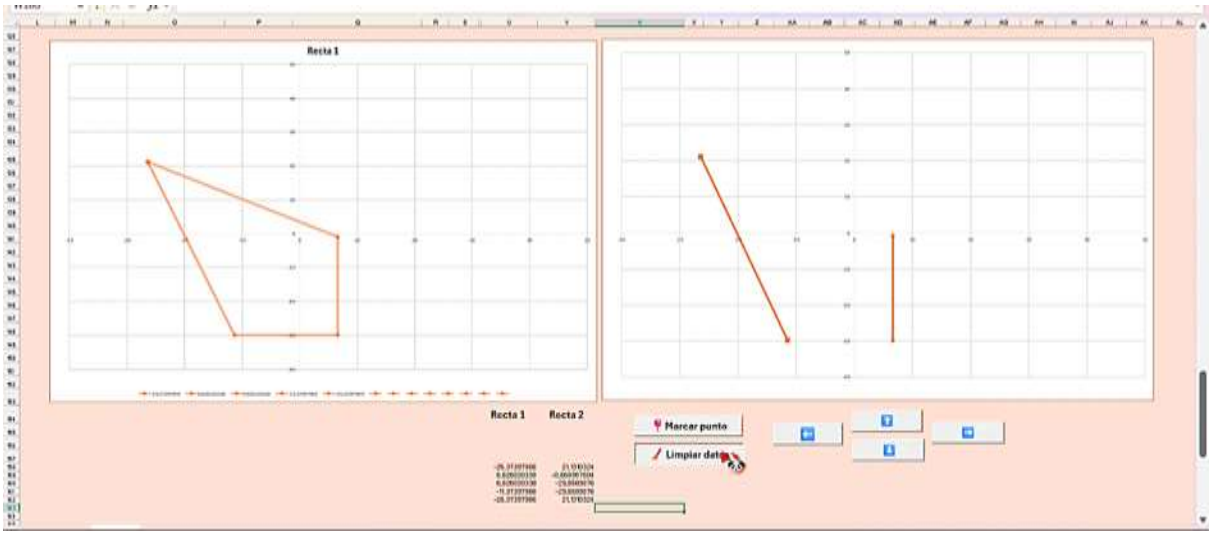


Figura 11. Representación matricial con las coordenadas de X y Y.
Elaboración propia.

En relación con lo anterior, se observó que al manipular los potenciómetros de perilla se controlan los grados de posicionamiento dentro del plano, mientras que los potenciómetros deslizables controlan la distancia y, en función de las coordenadas, se obtuvieron valores inestables que modifican constantemente los datos. Dado que se trata de elementos de hardware de bajo costo, su precisión es limitada. Esto provoca que la interpretación de los datos sea inestable, por lo que las rectas del plano presentan variaciones y dificultan el posicionamiento en un punto exacto.

Por lo tanto, se requirió estabilizar las señales de los potenciómetros mediante el sistema difuso realizado anteriormente para mejorar la visualización de los datos. El sistema de lógica difusa permite manipular información, como en el caso de las señales de potenciómetros. Para modelar la inferencia de los datos de entrada, se ha implementado un sistema Sugeno (Morales Luna, 2002) de orden 0 y tipo 1, utilizando un método de inferencia basado en reglas de tipo condicional, que pueden interpretarse como “si-entonces” para el modelado de sistemas complejos, dando como resultado una salida numérica precisa, en lugar de un sistema difuso, el cual se opera en Matlab. Este sistema de inferencia difusa permite interpretar y gestionar la incertidumbre de los datos, ofreciendo un enfoque preciso y flexible para resolver problemas complejos en el ámbito de la ingeniería y la electrónica. La implementación de la interfaz interactiva basada en la lógica difusa y en elementos electrónicos de bajo costo, como los potenciómetros, placas y demás materiales para su construcción, obtuvo un valor total aproximado de $150.00 MXN. Ha

demostrado ser una solución efectiva y accesible para estabilizar señales analógicas y gestionar la incertidumbre inherente a este tipo de hardware.

Ahora bien, el diseño de un sistema difuso Sugeno de tipo 1 y orden 0 en Excel permitió interpretar y controlar los datos de entrada, lo que mejora la precisión y la confiabilidad de las mediciones. Este enfoque no solo optimiza la representación gráfica en tiempo real en Excel, sino que también permite integrar la lógica difusa con Arduino, lo que facilita el análisis y la visualización de datos sin necesidad de software adicional, como MATLAB, una vez validados los parámetros. La estabilidad alcanzada en las señales y la capacidad de observar en tiempo real el comportamiento de las variables. Además, esta propuesta destaca la importancia de aplicar enfoques innovadores para superar las limitaciones de los componentes económicos y ofrecer una alternativa eficiente y accesible para el desarrollo de sistemas electrónicos confiables. La lógica difusa no solo amplía las posibilidades de interpretación de datos, sino que también permite establecer parámetros precisos mediante reglas bien definidas y ofrecer soluciones adaptativas a problemas complejos.

4.3 Comparación con trabajos previos

La efectividad de esta interfaz como recurso didáctico coincide con lo expuesto por Palencia González & García Llamas (2017) quienes afirman que la representación gráfica en Excel reduce la carga cognitiva en el aprendizaje de funciones. Sin embargo, nuestra propuesta añade un componente táctil (háptico) que, según el enfoque de Ruiz Ledezma et al. (2022), es fundamental en el modelo STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) para cerrar la brecha entre la teoría matemática y la aplicación física.

A diferencia de los métodos tradicionales de enseñanza basados en software estático, la inclusión de lógica difusa permite una estabilización del aprendizaje refiriéndose a estabilizar las rectas para el posicionamiento de los puntos a graficar para la representación del sistema de ecuaciones, similar a la estabilización de señales descrita por Castañeda Barbarán (2020). Mientras que el hardware de bajo costo suele introducir ruido en la entrada de datos que confunde al alumno, al no contar con datos estables, el sistema Sugeno de orden 0 permite que el estudiante se enfoque en la variación matemática y no en los errores del dispositivo. Esto respalda la tesis de Jara Ulloa & Casillas Alcalá (2024) sobre la importancia de integrar recursos digitales robustos y confiables para evitar la frustración en estudiantes de ingeniería. Si bien los resultados coinciden con la propuesta de Ponce Silva (2017) sobre la necesidad de una interfaz que facilite la visualización y enfatice el rol del docente como facilitador, el diseño de la interfaz automatiza parte de esa facilitación al permitir que el estudiante manipule variables físicas y vea el resultado gráfico de inmediato, reduciendo así la brecha de abstracción identificada entre los estudiantes de ingeniería.

En comparación con los trabajos mencionados anteriormente que utilizan GeoGebra o NetLogo, la aportación de este manuscrito no se limita a la visualización digital de conceptos matemáticos, sino que incorpora una interacción física directa. Ya que el estudiante no solo observa la variación de una recta, sino que modifica físicamente los parámetros del sistema por medio de los potenciómetros, observa el desplazamiento de las rectas en tiempo real y relaciona los datos obtenidos para obtener una representación algebraica. Esta diferencia técnica permite conectar la abstracción matemática con una experiencia tangible de interacción, medición y visualización.

Ahora bien, con respecto a los trabajos basados en Arduino, la diferencia arraigada en la forma de abordar la incertidumbre. Diversas propuestas utilizan Arduino para capturar datos y enviarlos a plataformas de visualización; sin embargo, en este manuscrito se integra un sistema de inferencia difusa Sugeno de orden 0 y tipo 1 para estabilizar las señales analógicas generadas por potenciómetros de bajo costo. Lo que permite reducir las variaciones en los datos de entrada y mejorar la certeza de la representación gráfica. En consecuencia, la herramienta no solo captura datos, sino que también los interpreta, los filtra y los convierte en parámetros para construir rectas y representar un sistema de ecuaciones lineales. De igual forma, en comparación con estudios que hacen uso de la lógica difusa en contextos de ingeniería o control de señales, la aportación de este trabajo consiste en usar dicho enfoque en un contexto didáctico de álgebra lineal. Ya que la lógica difusa no se utiliza únicamente como técnica de control, sino también como estabilizador de datos para favorecer la visualización matemática. Así, el sistema Sugeno actúa como un puente entre la señal inestable y la representación algebraica de rectas en el plano cartesiano.

Por tanto, la aportación específica del manuscrito consiste en el diseño y validación técnica de una herramienta didáctica interactiva que integra Arduino, Excel, Data Streamer, macros en VBA y lógica difusa con un sistema Sugeno para representar sistemas de ecuaciones lineales en tiempo real. A diferencia de los trabajos previos que hacen uso de software matemático, simuladores digitales o la simple adquisición de datos, esta propuesta articula hardware de bajo costo, procesamiento difuso de señales y visualización algebraica gráfica en una sola interfaz. Tal integración permite la manipulación física de variables que se transforman en coordenadas, rectas, intersecciones y representaciones matriciales, lo cual es el principal aporte técnico y didáctico del manuscrito.

4.4 Implicaciones didácticas y limitaciones

En conjunto, las herramientas empleadas son accesibles y, además de ser tecnologías avanzadas y modelos de lógica difusa, representan un avance considerable en la enseñanza y las prácticas de la ingeniería. Dicho enfoque mejora la calidad de los datos obtenidos, además de capacitar a los estudiantes para afrontar retos del mundo laboral y cotidiano real con soluciones innovadoras, fomentando el desarrollo de habilidades en áreas como lo son: análisis de datos, robótica y automatización.

No obstante, es importante mencionar que los resultados obtenidos se deben exclusivamente a la validación técnica del sistema. Si bien, la herramienta fue diseñada con fines educativos y se sustenta en principios pedagógicos, en dicha investigación no se realizó una evaluación formal con estudiantes. Por ello, no es posible mostrar mejoras en el aprendizaje, la comprensión conceptual o desarrollo de competencias. Como trabajo futuro, se recomienda realizar estudios experimentales con fines pedagógicos permitan evaluar el impacto didáctico de la herramienta en contextos reales de enseñanza.

5. Conclusiones

El presente trabajo permitió demostrar la viabilidad de integrar Arduino, Microsoft Excel y la lógica difusa de Sugeno en una herramienta interactiva para la representación dinámica de sistemas de ecuaciones lineales 2×2. La propuesta desarrollada permitió capturar datos en tiempo real a través de potenciómetros, procesarlos mediante un sistema de inferencia difusa y representarlos gráficamente en un plano cartesiano, lo que

facilitó la visualización de rectas y de sus puntos de intersección.

Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de lógica difusa permite estabilizar las señales analógicas provenientes de hardware de bajo costo, reduciendo las fluctuaciones con la incertidumbre de los potenciómetros y mejorando la representación gráfica. Asimismo, al comparar los resultados obtenidos en Excel con los verificados en MATLAB, se encontró que coincidían. Confirmando que el sistema funciona de manera estable.

Desde una perspectiva práctica, la propuesta ofrece una alternativa de bajo costo para el desarrollo de recursos tecnológicos aplicados a la enseñanza de las matemáticas y la ingeniería. Además, demuestra que herramientas ampliamente disponibles, como Excel, pueden utilizarse como plataformas de visualización y procesamiento, sin requerir software especializado, una vez validado el modelo difuso.

Si bien el alcance se limitó al diseño, la implementación y la validación técnica del sistema. Por lo tanto, no se evaluó experimentalmente su impacto en el aprendizaje, la comprensión conceptual o el desarrollo de competencias en estudiantes. Como trabajo futuro, se recomienda realizar estudios con grupos de estudiantes que permitan analizar la efectividad pedagógica de la herramienta y comparar sus resultados con los de otras estrategias de enseñanza empleadas en álgebra lineal.

Como líneas de trabajo futuras, se propone realizar estudios experimentales con estudiantes de ingeniería para analizar la efectividad pedagógica de la herramienta en contextos reales de enseñanza. También, se plantea agregar a la interfaz sistemas de ecuaciones lineales 3×3, así como ejercicios de mayor complejidad, con el fin de evaluar la robustez del sistema haciendo uso de distintos tipos y marcas de sensores. Lo cual permitirá fortalecer la validez educativa y la tecnológica de la propuesta.

6. Agradecimientos

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de manutención para estudios de posgrado.

7. Referencias

[1] Díaz Barriga, A. F., & Hernández Rojas, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista* (McGraw Hill, Ed.; Tercera). McGraw-Hill. https://es.scribd.com/document/561472490/Estrategias-Docentes-Para-Un-Aprendizaje-Significativo-Una-Interpretacion-Constructivista

[2] Secretaría de Educación Pública. (2016). *Álgebra Lineal.* Secretaría Académica, de Investigación e Innovación. TecNM.

[3] Becerril Vilchis, F., Campero Carmona, A. C., & López Solís, F. (2019). *Programa de estudios álgebra lineal*. UAEMEX.

[4] Piñón Jiménez, A., & Córdova Esparza, D. M. (2023). *Systematic Review: State of Knowledge on Learning Difficulties and Teaching Strategies in Linear Algebra.* International Congress on Education and Technology in Sciences. https://doi.org/DOI:10.19153/cleiej.28.2.11

[5] Tashtoush, M., Wardat, Y., Al-Shannaq, M., AlAli, R., Saleh, S., & AL-Saud, K. (2023). *Conceptual Understanding for Systems of Linear Equations: Difficulties and Challenges.* Information Sciences Letters, 12(12), 2491–2503.

https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18576/isl/121210

[6] Rangel Ruiz, L., Roa Fuentes, S., & García Torres, E. (2026). *La teoría APOE y la Enseñanza del Álgebra Lineal: Comprensión de los Sistemas de Ecuaciones Lineales y su Conjunto de Solución en Estudiantes de Ingeniería.* Innovaciencia, 14(1). https://doi.org/10.15649/2346075X.5861

[7] Wong, Jacqueline., Papageorgiou, E., Klaassen, R., Van der Wal, N., Menschaart, L., & Cabo, A. J. (2022). *Research on mathematical competencies in engineering education: where are we now? Sefi 2022* - 50th Annual Conference of the European Society for Engineering Education, Proceedings, 1815–1828. https://doi.org/10.5821/conference-9788412322262.13100

[8] Jara Ulloa, F. J., & Casillas Alcalá, M. T. (2024). *Efecto del uso e integración de dispositivos móviles y recursos educativos digitales en Matemáticas con estudiantes de Ingeniería.* European Public & Social Innovation Review, 10, 1–15. https://doi.org/https://doi.org/10.31637/epsir-2025-298

[9] Costa, V. A., & Rossignoli, R. (2017). *Enseñanza del algebra lineal en una facultad de ingeniería: Aspectos metodológicos y didácticos.* Revista Educación En Ingeniería, 12(23), 49. https://doi.org/https://doi.org/10.26507/rei.v12n23.734

[10] Gamboa, R. (2007). *"Uso de la tecnología en la enseñanza de las matemáticas."* CORE, 3, 11–44. https://core.ac.uk/outputs/333874981/?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1

[11] Ponce Silva, N. E. (2017). *La enseñanza y aprendizaje del álgebra lineal para estudiantes de la carrera de ingeniería civil de la universidad laica "eloy alfaro" de manabí.* REFCALE: Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa. ISSN 1390-9010, 5(3), 29–38. https://refcale.uleam.edu.ec/index.php/refcale/article/view/1537

[12] Salas-Rueda, R. A. (2019). *Modelo TPACK: ¿Medio para innovar el proceso educativo considerando la ciencia de datos y el aprendizaje automático?* Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento, 7(19), 51–66. https://doi.org/10.22201/ENESL.20078064E.2018.19.67511

[13] Zarzar Charur, C. (2015). *Instrumentación didáctica por competencias* (Primera edición). Grupo Editorial Patria. https://books.google.es/books?id=2UTJDgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

[14] Navaridas Nalda, F. (2004). *Estrategias didácticas en el aula universitaria. In Universidad de La Rioja.* Universidad de La Rioja. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=59764&info=resumen&idioma=SPA

[15] Zarzar Charur, C. (2000). *La Didáctica Grupal* (1.a edición). Editorial Progreso, S.A. de C.V. https://books.google.com.mx/books?id=V3T4etphMm4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

[16] Palencia González, F. J., & García Llamas, M. C. (2017). *Análisis y representación gráfica de funciones matemáticas con Excel.* Anales de ASEPUMA, (25).

[18] Ruiz Ledezma, E. R., Acosta-Magallanes, F., & Valero-Cázarez, D. M. S. (2022). *Aproximación Interdisciplinar STEM con Recursos Tecnológicos para el Tratamiento de Conceptos de Física y Matemáticas.* Cultura Científica y Tecnológica, 19(2), E13–E22. https://doi.org/10.20983/CULCYT.2022.2.2E.2

[19] Jimenez, A., & Lahuerta, A. (2022). *Analysis of the relationship between students' proficiency level and their ability to identify figurative language*. Ibérica, (43), 179–204. https://doi.org/10.17398/2340-2784.43.179

[20] Du, C. J., & Sun, D. W. (2008). *Object Classification Methods.* Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation, 81–107. https://doi.org/10.1016/B978-012373642-0.50007-7

[21] Morales Luna, G. (2002). *Introducción a la lógica difusa.* Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Del IPN (CINVESTAV).

[22] Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy sets.* Information and Control, 8(3), 338–353. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X

[23] Rasúa López, M. (2003). *Microsoft Excel en la solución de problemas de Algebra Lineal. Pedagogía Universitaria*, 8(3), 26+. https://link.gale.com/apps/doc/A146892136/IFME?u=anon~8d08459a&amp

[24] Aguirre Manríquez, I. V, García Guzmán, M. Á., Razón González, J. P., & Cano Lara, M. (2022). *Basic operation of rotary potentiometer A, B, C and W. Journal of Innovative Engineering*, 6(19), 1–5. https://doi.org/10.35429/JOIE.2022.19.6.1.5

[25] Aspiazu Hidalgo, S. F., Macay García, D. C., Castro Villacreses, V. H., Blacio Medina, S. L., & López Polo, J. R. (2024). *El Acceso a Materiales Educativos Actualizados Sobre Tecnología en el Ámbito de la Educación.* Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 8(5), 1437–1459. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I5.13610

[26] Piaget, Jean. (1977). *La explicación en las ciencias.* 22. https://es.scribd.com/document/258182732/Piaget-Jean-Et-Al-1977-La-Explicacion-en-Las-Ciencias

[27] Schunk, D. H. (2012). *Teorías del aprendizaje: Una perspectiva educativa* (6.a edición). Pearson Educación de México. https://hdl.handle.net/20.500.14330/PER01000366815

[28] Hernández Sampieri, R., Fernádez Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). *Metodología de la investigación. In Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw Hill España. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA

[29] Vidal Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., & Olmos, C. J. (2019). *Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software*. Information Technologic, 30(6), 377–386. https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377

[30] MathWorks. (n.d.). *Analyze fuzzy system using Fuzzy Logic Designer*. MathWorks Documentation. Retrieved April 9, 2026, from https://la.mathworks.com/help/fuzzy/analyze-fuzzy-system-using-fuzzy-logic-designer.html

[31] Castañeda Barbarán, M. del C. (2020). *Implementación del Algoritmo de Control Lógica Difusa en robot detector de obstáculo utilizando la robótica con tecnología ARDUINO*. Emprendimiento Científico Tecnológico, 1(2020). https://orcid.org/0000-0002-7130-9131