



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Recurso educativo para la visualización dinámica e interactiva de operaciones con vectores en la asignatura de física, controlados mediante una tarjeta ESP32

Educational resource for the dynamic and interactive visualization of vector operations in the physics subject, controlled by means of an ESP32 board

Serrano-Pérez, E.*, Soberanes-Martín, A., Hernández-Hernández, M.

Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco; C.P. 566615, México.
eserranop_s@uaemex.mx*; asoberanesm@uaemex.mx; mhernandezh@uaemex.mx

Innovación tecnológica: Manipulación dinámica, interactiva y en tiempo real de operaciones con vectores en una hoja de cálculo con una tarjeta ESP32.

Área de aplicación industrial: Enseñanza mediante la hoja de cálculo, aulas y laboratorios de educación de la física.

Recibido: 12 diciembre 2024

Aceptado: 08 mayo 2025

Abstract

Physics is perceived as one of the most difficult subjects to learn, particularly the operations of vector addition and subtraction are two of the topics students find more difficult. It is necessary to develop educational resources that help their learning, whether face-to-face, online, or remote modalities. Educational resources must be developed both individually and collectively, with interactive features that appeal to an increasingly digital student community. The educational process is enhanced by the simultaneous visualization of the information it manipulates, using a graphical and numerical interface, so that the user receives feedback on the vector operations he/she performs in real time. The development of an educational resource is presented that allows the dynamic and interactive visualization of two-dimensional vector operations within a spreadsheet environment. The manipulation of the magnitudes and directions of two vectors is performed based on the readings of two physical Joysticks with an ESP32 card. Using graphics that are automatically updated in real time, the magnitudes, directions and senses of the vectors are displayed, which are

added and subtracted to obtain a resulting vector. The resulting vector angle is sent to a micro servomotor that positions its axis with respect to the X-coordinated axis in order to provide the student with feedback in the physical world of the operations performed in the virtual environment, the product of multiple mathematical operations performed. The different functionalities provided by the spreadsheet for editing graphics facilitate the identification of the multiple details required during the study of vectors, such as their magnitude, direction and sense. In this way, a tangible educational resource was obtained that facilitates the manipulation of vectors interactively, in tune with a graphic and numerical visualization system that provides the user with complete information on the characteristics of the vectors and the results of performing the different operations carried out between them. In addition, the system obtained is adaptable to allow addressing topics related to vectors, such as statics, where the representation of force systems with vectors is required, or the manipulation of real and virtual educational robots, since the calculation of angles and positions in a workspace is frequently required, situations that will be explored in future communications.

Keywords: Spreadsheet, Vectors, Interactivity, Microcontroller.

Resumen

La asignatura de física es percibida como una de las más complicadas de aprender, en particular las operaciones de suma y resta de vectores son dos de las temáticas que más se le dificultan a los estudiantes. Se requiere la generación de recursos educativos que favorezcan su aprendizaje ya sea en modalidad presencial, en línea o a distancia. Es necesario que los recursos educativos puedan construirse tanto de forma individual como colectiva, con características interactivas atractivas para una comunidad estudiantil cada vez más digitalizada. El proceso educativo se favorece de la visualización simultánea de la información que manipula, mediante una interfaz gráfica y numérica, a fin de que el usuario reciba retroalimentación sobre las operaciones con vectores que realiza en tiempo real. Se presenta el desarrollo de un recurso educativo que permite la visualización dinámica e interactiva de operaciones con vectores en dos dimensiones dentro del ambiente de una hoja de cálculo. La manipulación de las magnitudes y direcciones de dos vectores se realiza a partir de las lecturas de dos Joysticks físicos con una tarjeta ESP32. Mediante gráficos que se actualizan automáticamente y en tiempo real, se visualizan las magnitudes, direcciones y sentidos de los vectores, que se suman y se restan para obtener un vector resultante. El ángulo del vector resultante se envía a un micro servomotor que ubica su eje con respecto al eje coordenado X con el objetivo de retroalimentar al estudiante con una respuesta en el mundo físico de las operaciones que se realizan en el ambiente virtual, producto de múltiples operaciones matemáticas efectuadas. Las distintas funcionalidades que provee la hoja de cálculo para la edición de los gráficos facilitan la identificación de los múltiples detalles que se requieren durante el estudio de los vectores, como lo son la magnitud, dirección y sentido de ellos. De esta manera, se obtuvo un recurso educativo tangible que favorece la manipulación de vectores de forma interactiva, en sintonía con un sistema de visualización gráfico y numérico que provee al usuario la información completa de las características de los vectores y los resultados de efectuar las distintas operaciones

que se llevan a cabo entre ellos. Además, el sistema obtenido es adaptable para permitir abordar temáticas relacionadas con vectores, como lo es la estática, donde se requiere la representación de sistemas de fuerzas con vectores, o la manipulación de robots educativos reales y virtuales, ya que frecuentemente se requiere el cálculo de ángulos y posiciones en un espacio de trabajo, situaciones que serán exploradas en siguientes comunicaciones.

Palabras clave: Hoja de cálculo, Vectores, Interactividad, Microcontrolador.

1. Introducción

El uso de las tarjetas con microcontrolador en el ámbito educativo se ha difundido rápidamente entre la comunidad académica. Las tarjetas basadas en Arduino han permitido el desarrollo de múltiples innovaciones en tecnología educativa. El objetivo de tales desarrollos busca mejorar la práctica docente y fortalecer el aprendizaje de los estudiantes a fin de brindar un contexto de aplicación de la teoría. En la actualidad, las tarjetas basadas en Arduino se pueden comunicar con hojas de cálculo (Çoban & Erol, 2021), así como con software más especializado como Matlab (Teng et al., 2024) o Labview (Wu et al., 2024). Particularmente la hoja de texto y hoja de cálculo son utilizadas con distintos propósitos durante las primeras etapas de formación de los estudiantes y su uso continúa hasta las etapas de especialización y el ejercicio profesional.

Con la reciente incorporación del complemento para transmisión de datos en serie de Excel, se agiliza la comunicación entre una computadora personal y diversos dispositivos de hardware mediante comunicación serial. En particular, la tarjeta ESP32 se ha popularizado entre la comunidad estudiantil ya que cuenta una gran capacidad de procesamiento y conectividad (Lamprecht et al., 2021) a bajo costo, lo que le permite considerarse como una tarjeta de desarrollo atractiva para la implementación de múltiples tecnologías educativas accesibles tanto para docentes como estudiantes. Este contexto es particularmente atractivo para asignaturas como la física, ya que situaciones como la pandemia de COVID-19 han acelerado

la necesidad de contar con recursos educativos que sean accesibles para los estudiantes y favorezcan la revisión de conceptos teóricos en el marco de una aplicación real. Se considera importante que el estudiante consolide los conceptos teóricos mediante un sentido práctico de aplicación en una problemática del mundo real, a fin de que el estudiante no pierda el enfoque y mejore la atención en la temática que se estudia. En este sentido, la hoja de cálculo es una importante herramienta educativa que puede ser utilizada de forma individual en ambientes educativos presenciales, en línea (Sabaruddin et al., 2024) e incluso a distancia (Pratidhina et al., 2020). Para el caso particular de la Física, generalmente se inicia con el estudio de magnitudes escalares y vectoriales, abundando en las características de los vectores y ejecutando algunos ejercicios para el cálculo de la magnitud y ángulo de la resultante a partir de dos vectores. Los conceptos de magnitud, dirección y componente llegan a representar las mayores dificultades para la comunidad estudiantil, e incluso la representación gráfica que involucra el uso de los cuadrantes en el plano cartesiano llega a convertirse en un obstáculo para la visualización numérica de los resultados (Zavala & Barniol, 2010). De esta manera, la temática de vectores, al ser uno de las áreas de la física, se percibe como difícil ya que implica la construcción de dibujos o gráficos que representen la situación en estudio (Angell et al., 2004). Es posible iniciar su estudio mediante fórmulas de aplicación numérica, como el caso de las operaciones aritméticas entre ellos, sin embargo, es fundamental su representación mediante el

plano coordinado, a fin de verificar resultados numéricos a través de la visualización e interpretación de su representación gráfica. El proceso de graficación también añade complejidad, debido a que existen diversos métodos con características particulares en su implementación (Hawkins et al., 2009). Las herramientas computacionales actuales, pueden facilitar la representación y visualización de los diversos métodos de operaciones aritméticas con vectores. Por ejemplo, la hoja de cálculo permite el almacenamiento de los datos, la graficación y ajuste automático de resultados. Además, con la adición de un componente para comunicación de dispositivos seriales, es posible trasladar los resultados numéricos hacia la operación de dispositivos en el mundo real, como pueden ser prototipos mecatrónicos o robótica educativa que requiere de representación vectorial en su funcionamiento, brindando al estudiante un contexto completo de aplicación en la vida real desde una perspectiva tecnológica y computacional.

De esta manera, la hoja de cálculo se visualiza como una importante herramienta de desarrollo que permite realizar operaciones tanto simples como complejas, así como almacenar las operaciones en pequeñas celdas que se pueden consultar a simple vista. La presentación de los resultados es inmediata, se pueden consultar, acceder y recuperar únicamente ubicando la referencia de la coordenada donde se realizaron los cálculos. Además, se facilita la representación numérica en forma de gráficos que se actualizan rápidamente en cuanto se realiza alguna modificación al contenido de las celdas. Esta situación es particularmente útil para la representación de distintos fenómenos físicos como el análisis de los vectores utilizando la hoja de cálculo (Razzak & Uddin, 2023). Dentro de la hoja de cálculo también se incluyen elementos de control virtual como “sliders” para modificar y definir los valores de las celdas, lo que permite incrementar el nivel de interactividad entre el usuario y la hoja de cálculo, agilizando la manipulación numérica

de los datos (Mergel, 2022). La interacción con los objetos multimedia es importante, ya que le permite al estudiante explorar el comportamiento y las reacciones de los objetos virtuales como parte de un proceso de retroalimentación mediante información visual y/o sensorial. Este proceso le permite al usuario identificar sus errores y efectuar acciones correctivas para eventualmente consolidar el conocimiento (Schulmeister, 2003). Esta experiencia educativa añade un enfoque digital mediante la integración de componentes electrónicos, mecánicos y herramientas de visualización gráfica, que le permiten al estudiante elevar el nivel de interacción con el recurso educativo. La temática en cuestión se ha focalizado en la suma y resta de dos vectores utilizando tanto el método del paralelogramo como del triángulo. Se trata de dos de las operaciones que con mayor frecuencia se dificultan para los estudiantes (Wutchana et al., 2015; Zhao, 2024), por lo que, al contar con una herramienta de visualización gráfica e interactiva, se cuenta con una herramienta de guía y verificación de resultados; además, se favorece el entendimiento de las operaciones que se realizan de forma abstracta a través del cálculo numérico. Este proceso es comúnmente llevado a cabo por parte del profesor mediante el pizarrón y el estudiante con lápiz, papel y un juego de geometría. El objetivo que persigue el recurso educativo desarrollado es favorecer el aprendizaje de una comunidad estudiantil que cada vez se encuentra más digitalizada, la cual requiere herramientas educativas interactivas que provean retroalimentación visual y sensorial en favor de una consolidación gradual del conocimiento.

2. Materiales y Métodos

Se han utilizado dos Joysticks para la manipulación en tiempo real de dos vectores en el plano cartesiano. Cada uno de los Joysticks está constituido internamente por dos resistores variables, los cuales modifican su valor de resistencia dependiendo de la posición en la que

se encuentran en un determinado instante de tiempo. Inicialmente al no ejercer ninguna fuerza sobre las palancas del Joystick, se obtiene una posición intermedia, ya que cuenta con un sistema interno de muelles que reposicionan la palanca a la posición central, cuando se deja de ejercer alguna acción sobre el Joystick. Al ejercer fuerza sobre el Joystick, se modifica la posición de cada uno de los potenciómetros embebidos en el mismo, por lo que es posible obtener un valor de resistencia tanto para el eje coordenado X como para el eje coordenado Y. Dicho valor corresponde con la posición final que define el usuario mediante la acción manual que realiza. La estructura del Joystick cuenta con pines de alimentación, por lo que es posible obtener dos señales analógicas de voltaje para cada uno de los ejes, en representación de las posiciones para cada uno de los ejes. La tarjeta ESP32 cuenta con un pin

de alimentación de 3.3 volts. De esta manera, la señal analógica que va del rango de los 0 a los 3.3 volts, es convertida a un número entero en el rango de 0 a 4095 por medio de la tarjeta ESP32 y el convertido analógico-digital. Se agregó un micro servomotor, que permite representar y visualizar físicamente el ángulo del vector resultante de la operación suma, que se obtiene a partir de la manipulación de dos vectores mediante los Joysticks. El servomotor utilizado al ser de bajo costo, únicamente permite obtener posiciones que van de 0 a 180 grados (Zhang & An, 2021). El servomotor es un dispositivo comúnmente utilizado en el desarrollo de sistemas de control para robots y dispositivos mecatrónicos (Luna & Chong, 2020; Chen et al., 2024; Emmanuel et al., 2021; Priandana et al., 2021). El diagrama de conexión eléctrica se observa en la Figura 1.

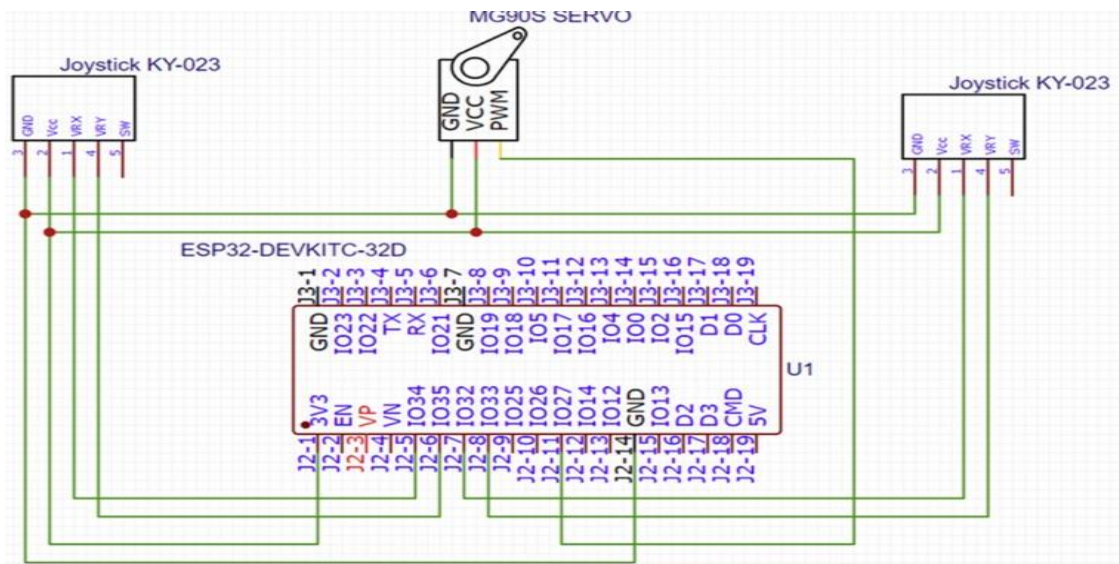


Figura 1. Diagrama de conexión eléctrica de los componentes del sistema.

La programación de la tarjeta ESP32 se realizó utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado Arduino y la librería “ESP32Servo.h”. Se declaró el pin 27 como señal de control para el servomotor. Se declararon las variables $x1$, $y1$, $x2$ y $x3$ para almacenar las lecturas de las señales analógicas provenientes de los Joysticks. Se habilitó mediante código, la comunicación serial con una velocidad de

transferencia de 9600 bits/segundo. El programa requirió la lectura de las 4 señales analógicas que representan los ejes coordenados horizontales (abscisas) y verticales (ordenadas) de cada uno de los 2 Joysticks. Es importante señalar que el complemento de Excel utilizado para la lectura de dispositivos seriales, requiere que los datos de entrada sean empaquetados en forma tabular separados por coma, tal y como

se observa en el extracto del código de programación en lenguaje Arduino de la Figura 2.

```
void loop() {
  valorx1 = analogRead(34);
  valory1 = analogRead(35);
  valorx2 = analogRead(32);
  valory2 = analogRead(33);

  Serial.print(valorx1);
  Serial.print(",");
  Serial.print(valory1);
  Serial.print(",");
  Serial.print(valorx2);
  Serial.print(",");
  Serial.print(valory2);
  Serial.print(",");
  Serial.println();
  delay(50);
}
```

Figura 2. Extracto del código de programación que permite la lectura de las 4 señales analógicas de los 2 Joysticks e imprime en formato serial con valores separados por coma.

La definición del código de programación referente a las lecturas de las señales analógicas se realizó utilizando los pines 32, 33, 34 y 35, en sintonía con la conexión física del diagrama de conexión eléctrica que se mostró en la Figura 1. De esta manera, en cada ciclo de ejecución se imprime en formato serial, un renglón que consta de los 4 valores de los 2 Joysticks separados por una coma. La cadena de valores se puede leer con el complemento de Excel, una vez que se selecciona la tarjeta ESP32 conectada a un puerto serie (en este caso COM6). Con este proceso se inicia la transferencia de datos a través del icono “Start Data”, como se observa en la Figura 3.

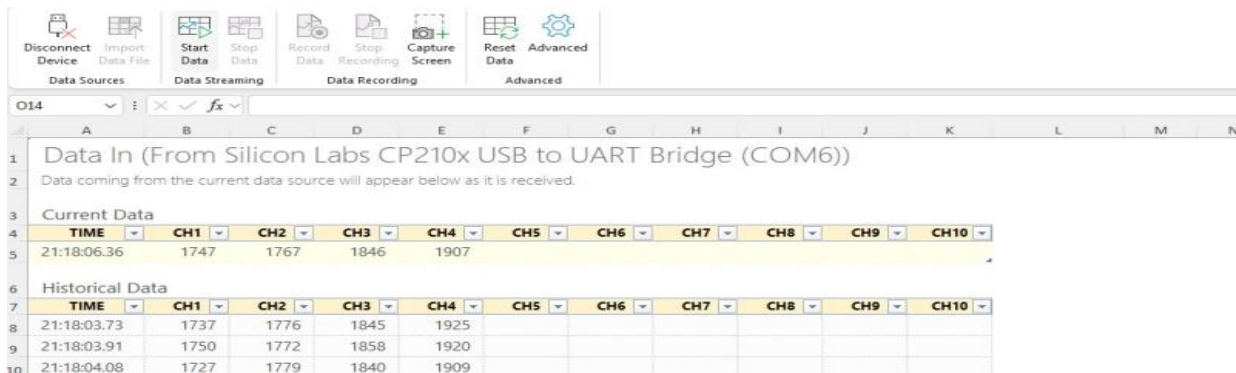


Figura 3. Selección de dispositivo a través del puerto serial y habilitación de la transferencia de datos entre la tarjeta ESP32 y la hoja de cálculo con el complemento “Data streamer” de Excel.

El complemento de Excel también cuenta con una hoja que permite la salida de datos hacia el dispositivo serial, en este caso la tarjeta ESP32, como se observa en la Figura 4.

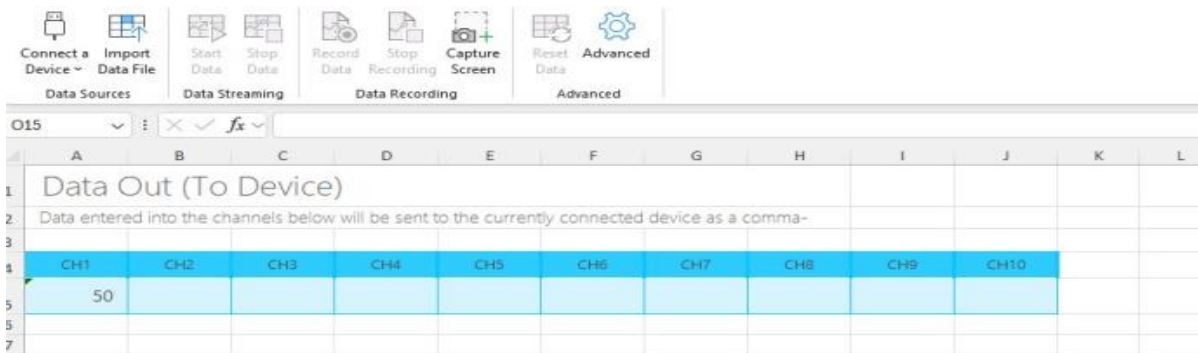


Figura 4. Valor de salida del ángulo de la resultante en Excel hacia la tarjeta ESP32 con el complemento “Data streamer”.

De esta manera, se requirió declarar una función en lenguaje Arduino para recibir el dato serial que proviene de Excel y enviarlo como salida física a través del pin 27, que corresponde con la señal de control al servomotor. En este caso, el valor de salida corresponde con el valor calculado del ángulo del vector resultante de la suma de vectores, sin embargo, se puede seleccionar cualquier otro valor de interés, con la única precaución de no superar el límite físico permisible del servomotor.

El gráfico que permite la representación visual de los vectores cuenta con cuatro cuadrantes, de tal manera que es posible utilizar valores tanto negativos como positivos en el eje coordenado X como el eje coordenado Y. La tarjeta ESP32 se ha utilizado para capturar las cuatro señales analógicas de los dos Joysticks y enviarlas en formato serie hacia la hoja de cálculo. En la hoja de cálculo, se realizó un escalamiento para representar la posición del Joystick que va de 0 a 4095 con valores que van de -5 a 5 tanto para eje coordenado X como para el eje coordenado Y, tal y como se observa en la Figura 5.

AV	AW	AX	AY	AZ	BA
DATOS DESDE LA TARJETA ESP32					
	X1	y1	x2	y2	
	1902.00	0.00	1812.00	1893.00	
Escalamiento -5 A 5					
	-0.36	5.00	-0.58	0.38	

Figura 5. Captura de datos que se envían desde la tarjeta ESP32 hacia la hoja de cálculo y su escalamiento.

Es importante señalar que dada la posición en la cual se ubicaron los Joysticks en una placa de cartón, fue necesario invertir el signo de la señal del eje coordenado Y para cada uno de ellos. Otra particularidad encontrada es que, al ser dispositivos de muy bajo costo, no son muy exactos y se obtiene una relación no-lineal de resistencia-posición. Por ejemplo, al capturar los datos en la posición inicial de los Joysticks

se obtiene una ligera desviación en la posición central que debería corresponder con la posición intermedia de la escala. Una vez que se realizó el escalamiento con el objetivo de delimitar las magnitudes en la representación vectorial, se utilizaron los datos de los componentes tanto para el eje coordenado X como el eje coordenado Y, para representar los dos vectores de trabajo en un plano cartesiano. Los componentes del vector que se manipulan físicamente a través de los dos Joysticks permiten modificar tanto la magnitud como la dirección de cada uno de los vectores.

3. Resultados y discusión

La primera operación que se ejecuta y visualiza en tiempo real tanto de forma numérica como a través de un gráfico en la hoja de cálculo, es la suma de vectores. El método del paralelogramo requiere la representación de segmentos paralelos de cada uno de los vectores, donde la diagonal es la resultante (Bueche & Hecht, 1991). La función de línea punteada de la hoja de cálculo es bastante útil para una efectiva visualización de este procedimiento de generación de segmentos paralelos a los vectores. El uso de colores también favorece la identificación de la relación que existe entre el segmento paralelo y el vector. Además, el uso de la terminación en punta de flecha de los vectores es particularmente útil para diferenciar si se trata de un segmento o de un vector donde la punta indica el sentido. Otra característica importante es que las celdas almacenan la información de los puntos de las coordenadas del origen y final de cada uno de los elementos que conforman el gráfico, ya sea de segmentos paralelos o de los vectores entre sí. De esta manera, se puede consultar rápida y visualmente la información numérica que da origen a la representación gráfica de la operación entre los vectores, tal y como se observa en la Figura 6.

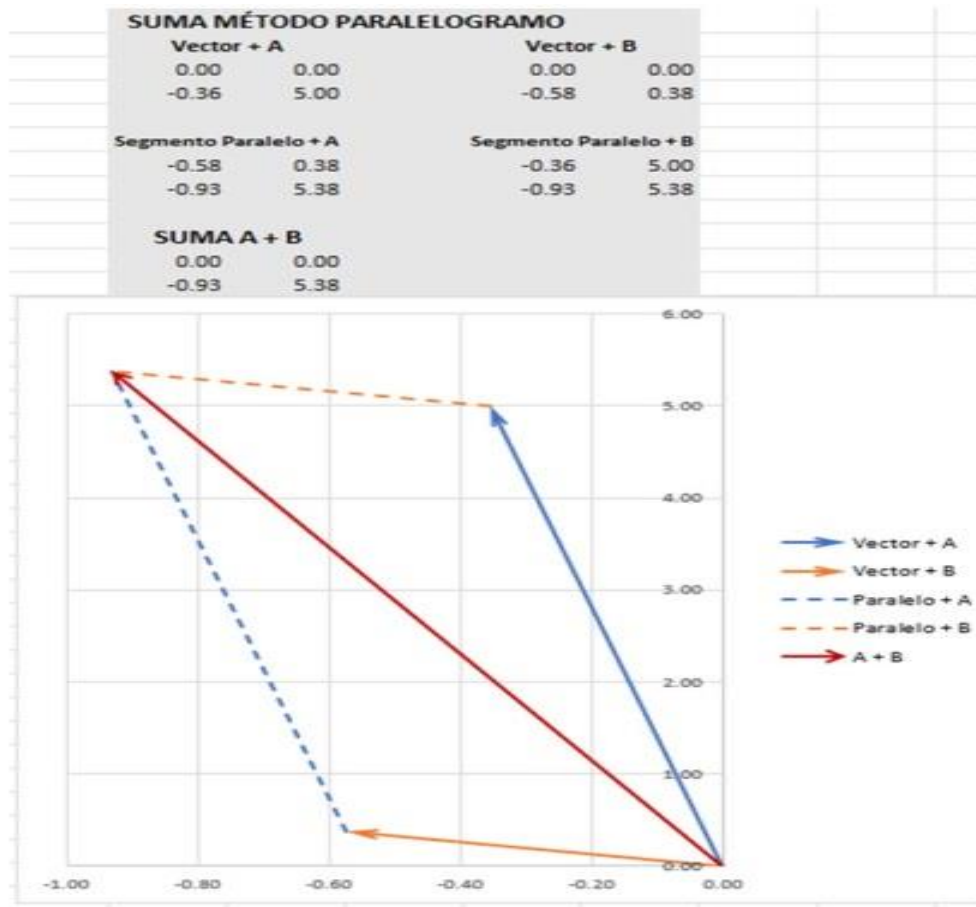


Figura 6. Suma de vectores mediante el método del paralelogramo.

El segundo método utilizado en la suma de dos vectores es del triángulo, donde se requiere un procedimiento denominado como “punta-cola” (Bueche & Hecht, 1991). En este caso se requiere que el origen del segundo vector se coloque en la punta de la flecha del primer vector tal y como se observa en la Figura 7.

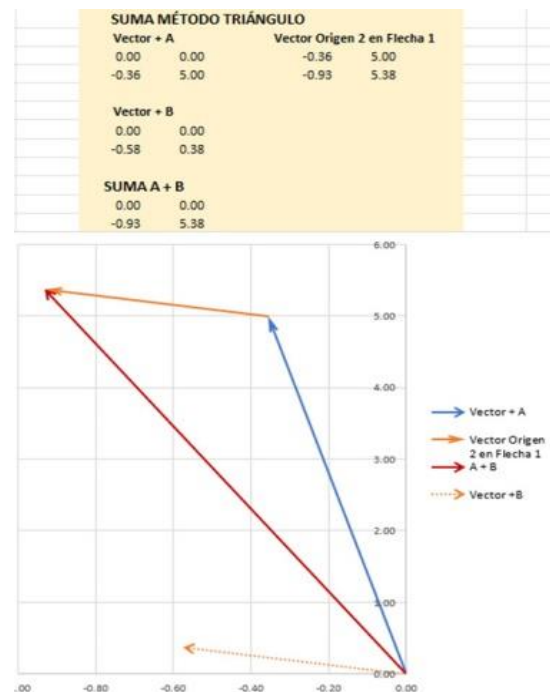


Figura 7. Suma de vectores mediante el método del triángulo.

En el gráfico generado se seleccionó inicialmente el vector +A y se colocó posteriormente el vector +B; sin embargo, es posible seleccionar primero el vector +B y posteriormente colocar el vector +A en la punta de la flecha del vector +B, de esta manera se obtendría el mismo resultado.

La segunda operación que aborda el recurso educativo es la resta de dos vectores, utilizando tanto el método del paralelogramo como el método del triángulo. En el caso particular que se tiene una operación de sustracción se presenta el caso de que es necesario invertir el sentido del vector que se resta, pero conservando la magnitud de este. Para facilitar el proceso de representación e interpretación de dicha operación, se ha colocado la mayor cantidad de detalles posibles mediante las distintas funcionalidades que otorgan los gráficos elaborados dentro la hoja de cálculo. El uso de distintos colores y estilos de línea, facilitan la identificación de la mayor cantidad de detalles visuales que favorecen la interpretación geométrica de los vectores y sus operaciones. En el caso de la resta de vectores, utilizando tanto el método del paralelogramo como del método del triángulo, resulta bastante útil interpretar la resta “A - B” como “+A + (-B)” a fin de clarificar el procedimiento y observar detalles que se requieren para el procedimiento de cálculo y su representación gráfica. En el caso del método del paralelogramo se agregó el vector +B con el objetivo de visualizar explícitamente que el vector -B tiene la misma magnitud, pero con un sentido contrario, tal y como se observa en la Figura 8.

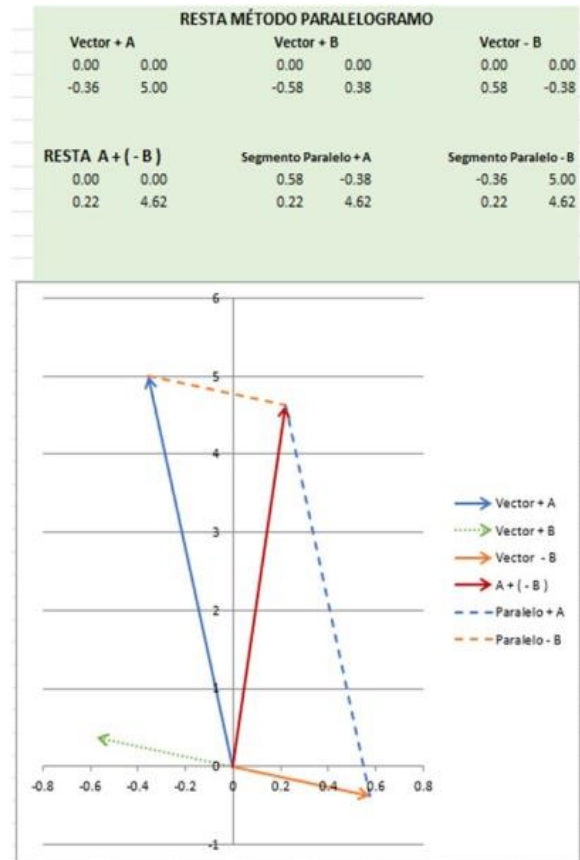


Figura 8. Resta de vectores utilizando el método del paralelogramo.

En el caso de la resta de vectores con el método del triángulo también se ha agregado tanto el vector +B como el vector -B con el objetivo de visualizar explícitamente el origen de los datos y del procedimiento que se lleva a cabo, tal y como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Resta de vectores utilizando el método del triángulo.

Otro tema de interés, además de calcular el vector resultante al realizar operaciones de suma o resta de vectores, es la obtención del ángulo resultante. Este proceso se puede llevar a cabo al efectuar la operación de arco tangente del cociente de la componente rectangular del vector en el eje coordenado “Y” con la componente rectangular del eje coordenado “X” (Giancoli & Olguín, 2006). Para la implementación en la hoja de cálculo de Excel se recomienda utilizar la función “ATAN2” en conjunto con la función “DEGREES” con la finalidad de obtener valores de ángulos positivos, dado que existe una analogía con la lectura de ángulos utilizando el transportador y la mayoría de los estudiantes han tenido una experiencia previa con su uso. El resultado obtenido del ángulo del vector resultante se envía a la tarjeta ESP32, con el objetivo de

controlar la posición del eje del servomotor, donde el usuario visualiza y percibe el resultado de efectuar la operación con los vectores que manipula a través de los Joysticks con sus manos. El programa en lenguaje Arduino para la programación de la tarjeta ESP32 requirió el uso de la librería para servomotores (Harrington & Bennett, 2024) a fin de agilizar el proceso de control para el ángulo que se calcula con el vector resultante. De esta manera, el programa requiere la lectura de las cuatro señales analógicas de los Joysticks, la conversión analógico digital y la impresión en formato serial con valores separados por coma para ser enviados a la hoja de cálculo. Una vez que se realizan los cálculos en la hoja de cálculo, el valor de ángulo correspondiente al vector resultante, se envía a través de la celda de salida de datos. Se puede asignar el valor del ángulo de la resultante de los vectores ya sea para la operación de suma o de resta; sin embargo, se debe tener en cuenta que el servomotor elegido no puede ubicar físicamente su eje más allá de 180 grados sobre el eje coordenado “X”. El programa en lenguaje Arduino requiere también la declaración de la lectura de valor del ángulo en formato serial y finalmente mediante la librería se envía el ángulo obtenido al micro servomotor. Este proceso se realiza de forma cíclica mientras se mantenga comunicación entre la tarjeta ESP32 y la hoja de cálculo. El recurso educativo interactivo permite la manipulación y visualización del cálculo de la resultante, así como el ángulo con respecto al eje coordenado de referencia “X”, en forma dinámica y en tiempo real. A partir del movimiento de los Joysticks es posible modificar tanto la magnitud como el ángulo de los dos vectores, con la finalidad de observar y percibir en el mundo físico, el ángulo de la resultante de vectores mediante la posición del eje del micro servomotor, tal y como se observa en la Figura 10.

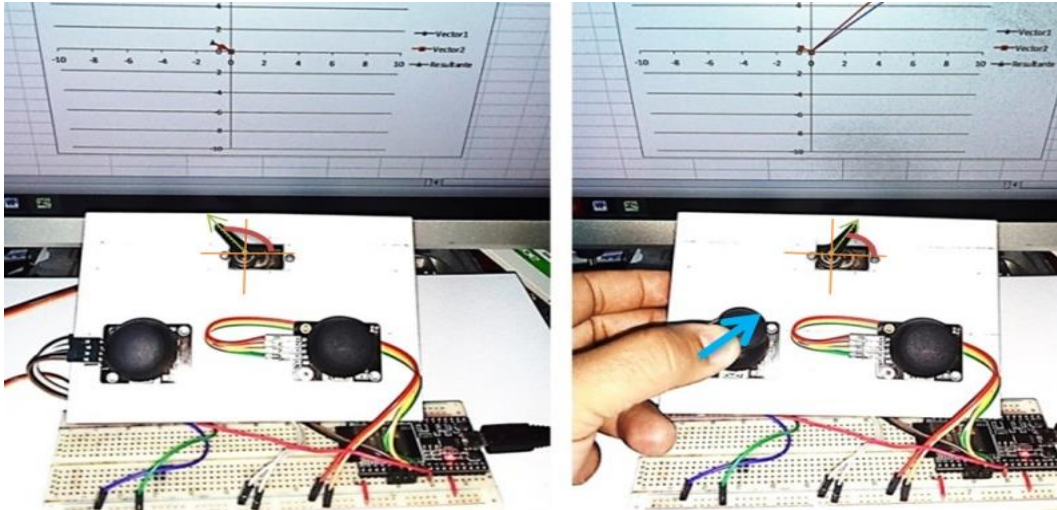


Figura 10. Representación del ángulo del vector resultante en una suma de vectores con un servomotor.

Los cálculos de la resultante y el ángulo se llevan a cabo mediante las celdas de hoja de cálculo en forma dinámica, delegando únicamente las funciones de entrada y salida de datos a la tarjeta ESP32. En este caso las entradas son las mediciones de las componentes en el eje coordenado “X” y en el eje coordenado “Y” de cada uno de los Joysticks. La salida corresponde con el ángulo del vector resultante que se envía como instrucción de control hacia el micro servomotor.

4. Conclusiones

Se desarrolló un recurso educativo que permite la visualización gráfica y en tiempo real de operaciones de suma y resta de vectores utilizando una tarjeta ESP32 con dos Joysticks y un micro servomotor. Con la integración de los componentes, se obtuvo un sistema de adquisición de datos para la representación dinámica e interactiva de las operaciones algebraicas con vectores. En particular, se ha mostró la suma y resta de dos vectores en dos dimensiones con gráficos de Excel que se manipulan y actualizan dinámicamente. El control de la magnitud y dirección de cada uno de los dos vectores se realizó mediante la manipulación física de dos Joysticks utilizando la medición de las componentes para cada uno de los dispositivos. Se verificó que los resultados de las operaciones se visualizan de

forma gráfica en la hoja de cálculo, aprovechando las múltiples funciones con las que cuenta para la representación, como lo son distintos estilos, colores y anchos de línea; además, de la colocación de punta de flecha y un sistema automático de auto escala de los ejes que facilitan la lectura visual de los procedimientos y los resultados. Este proceso permite mostrar al usuario los múltiples detalles que se deben tomar en cuenta durante el abordaje de la temática de operaciones con vectores. Se visualiza que el sistema es flexible para ser modificado con el objetivo de ser adaptado en diversas unidades de estudio y agregar temáticas consecuentes; por ejemplo, en unidades como estática donde se abordan temáticas relacionadas con la representación de fuerzas mediante diagramas de cuerpo libre.

Dadas las bondades identificadas al utilizar la hoja de cálculo en conjunto con la tarjeta ESP32 y la generación de gráficos en tiempo real, se planea próximamente abordar en siguientes investigaciones más temáticas en el ámbito de las matemáticas, la física y desarrollos de robótica educativa, con el objetivo de promover el aprendizaje con el uso de ambientes virtuales, ya sea en forma presencial, a distancia o en línea y que puedan ser llevados a cabo por el estudiante en forma individual o en grupo

mediante la implementación de sistemas electrónicos de bajo costo.

5. Agradecimientos

Se reconoce el apoyo de SECIHTI a través del programa SNII y el programa de becas posdoctorales por México.

6. Referencias

1. Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. *Science education*, 88(5), 683-706.
2. Bueche, F. J., Hecht, E., & Castellanos, J. H. P. (1991). *Física general*. McGraw-Hill.
3. Chen, C., Lv, Z., Wu, S., Li, K., Chen, Z., & Huang, Z. (2024). Design of control system for six-degree-of-freedom robotic arm. *Journal of Physics: Conference Series*, 2724(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2724/1/012006>
4. Çoban, A., & Erol, M. (2021). Teaching kinematics via arduino based STEM education material. *Physics Education*, 57(1), 015010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac342d>
5. Emmanuel, P. J., Nagasuresh, M., Mary, X. A., Roshini, R., & Stanley, P. K. (2021, June). Mobile application based assistive bot for intralogistics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1937, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
6. Giancoli, D. C., & Olguín, V. C. (2006). *Física: Principios con aplicaciones*.
7. Harrington, K., & Bennett, J. (2024). *ESP32Servo | Arduino Documentation*. <https://docs.arduino.cc/libraries/esp32servo/>
8. Hawkins, J. M., Thompson, J. R., & Wittmann, M. C. (2009, November). Students consistency of graphical vector addition method on 2-D vector addition tasks. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1179, No. 1, pp. 161-164). American Institute of Physics.
9. Lamprecht, P., Haller-Seeber, S., & Piater, J. (2021). A Block-based IDE Extension for the ESP32. En W. Lepuschitz, M. Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh, & D. Obdržálek (Eds.), *Robotics in Education* (pp. 304-310). Springer International Publishing.
10. Luna, A., & Chong, M. (2020, July). A PBL approach for teaching electronics fundamentals by developing robotics projects. In *2020 XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAE)* (pp. 1-7). IEEE.
11. Mergel, D. (2022). *Physics with Excel and Python: Using the Same Data Structure Volume I: Basics, Exercises and Tasks*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82325-2>
12. Pratidhina, E., Dwandaru, W. S. B., & Kuswanto, H. (2020). Exploring Fraunhofer diffraction through Tracker and spreadsheet: An alternative lab activity for distance learning. *Revista Mexicana de Física E*, 17(2 Jul-Dec), 285-290. <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.17.285>
13. Priandana, K., Margaretha, F., Sinaga, D. A. D., & Kusumoputro, B. (2021, October). Development of Mobile Robot Education Kit Prototype for Elementary School Students. In *2021 International Conference on Computer System, Information Technology, and Electrical Engineering (COSITE)* (pp. 198-203). IEEE.
14. Razzak, A., & Uddin, Z. (2023). GUI of vector analysis on spreadsheets for students and teachers. *Revista Mexicana de Física E*, 20(1 Jan-Jun), 010208 1-3. <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.20.010208>

15. Sabaruddin, Pratidhina, E., Kuswanto, H., & Alkiram, S. (2024). Visualization of non-linear continuous wave dispersion effects on fiber grating with spreadsheets in online learning. *Revista Mexicana de Física E*, 21(2 Jul-Dec), 020203 1-5. <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.21.020203>
16. Schulmeister, R. (2003). Taxonomy of multimedia component interactivity. A contribution to the current metadata debate. *Studies in Communication Sciences. Studi di scienze della comunicazione. Special Issue*, 61-80.
17. Teng, L., Tang, Y. M., Wu, R. P. H., Tsui, G. C. P., Tsang, Y. P., & Tang, C. Y. (2024). Exploring the efficacy of collaborative learning in a remote robotics laboratory: A comparative analysis of performance and pedagogical approaches. *Smart Learning Environments*, 11(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00305-w>
18. Wu, B., Xu, Y., Zhou, G., & Fan, Y. (2024). Computer-Based Experiment for the Motion of Spring Oscillator on a Linear Air Track Using Ultrasonic Sensor. *Sensors*, 24(14). <https://doi.org/10.3390/s24144441>
19. Wutchana, U., Bunrangsri, K., & Emarat, N. (2015). Teaching Basic Vector Concepts: A Worksheet for the Recovery of Students' Vector Understanding. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 7(1), 18-28. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v7i1.43>
20. Zavala, G., & Barniol, P. (2010). Students' Understanding of the Concepts of Vector Components and Vector Products. *AIP Conference Proceedings*, 1289(1), 341-344. <https://doi.org/10.1063/1.3515240>
21. Zhang, Y., & An, M. (2021). *Structure and software architecture design of an extremely low-cost quadruped robot for education*. 1931(1), 012007.
22. Zhao, Y. (2024). From Tiles to Worksheet: Exploring Concreteness Fading in Learning Vector Addition. *Education Sciences*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/educsci14070730>